



Tiskový výstup

Fyziologie – teorie k praktickým cvičením

Jana Hrušková, Juraj Jakubík, Michal Hendrych,
Richard Paštěka, Jana Svačinová, Ksenia Budinskaya,
Veronika Kujalová, Veronika Vejtasová, Zuzana Nováková

Autoři: Jana Hrušková, Juraj Jakubík, Michal Hendrych, Richard Paštěka, Jana Svačinová, Ksenia Budinskaya, Veronika Kujalová, Veronika Vejtasová, Zuzana Nováková

Knihu recenzovali:

Doc. MUDr. Jitka Švíglerová, Ph.D.

Prof. MUDr. Michal Javorka, Ph.D.

Vytvořeno ve spolupráci se Servisním střediskem pro e-learning na MU

Fakulta informatiky Masarykovy univerzity, Brno 2021

Tiskový výstup publikace vydané na Elportále MU (<http://elportal.cz/>)

© 2021 Masarykova univerzita

ISSN 1802-128X

OBSAH

1	Poznámky ke cvičení	4
2	Srdeční ozvy	5
3	EKG	8
4	Ergometrie	10
5	Palpační vyšetření tepu	14
6	Měření krevního tlaku	18
7	Matematický model funkce aorty	22
8	Funkční zkoušky arterií	26
9	Funkční zkoušky žil	30
10	Rychlost pulzové vlny	34
11	Určování fází srdeční systoly pomocí polygrafického záznamu	37
12	Sedimentace červených krvinek (suspenní stabilita krve)	41
13	Osmotická rezistence erytrocytů	45
14	Stanovení počtu erytrocytů	48
15	Určení krevní skupiny sklíčkovou metodou	49
16	Stanovení koncentrace hemoglobinu	54
17	Tělesná kompozice – Antropometrické vyšetření	58
18	Tělesná kompozice – měření tělesného tuku	62
19	kompozice – měření svalové hmoty	65
20	Stanovení energetického výdeje nepřímou kalorimetrií	66
21	Stanovení energetického výdeje výpočtem	70

22	Sestavení jídelního lístku. Zásady správné výživy	72
23	Zorné pole - Perimetrie	79
24	vyšetření zrakové ostrosti a barvocitu	82
25	Rozsah slepé skvrny	86
26	Akomodace a Scheinerův pokus	88
27	Astigmatismus	96
28	časová a prostorová sumace u kosterního svalu	100
29	Reflexy u člověka	105
30	Reakční doba	111
31	Stabilometrie	113
32	Elektrookulografie	121
33	Registrace reflexu achillovy šlachy	126
34	Elektroencefalografie	130
35	Pneumotachografie	133
36	Pneumografie	137
37	Spirometrie	142
38	Vyšetření citlivosti dechového centra na hyperkapnii	148

POZNÁMKY KE CVIČENÍ

Tato část zahrnuje teoretické základy jako podklad pro správné pochopení prováděných úkolů včetně napsání závěrečných komentářů s diskusí nad výsledky. Shrnuje vybrané fyziologické jevy a jejich klinické návaznosti spojené s daným cvičením. Studentovi slouží k základní orientaci ve cvičení.

1 SRDEČNÍ OZVY

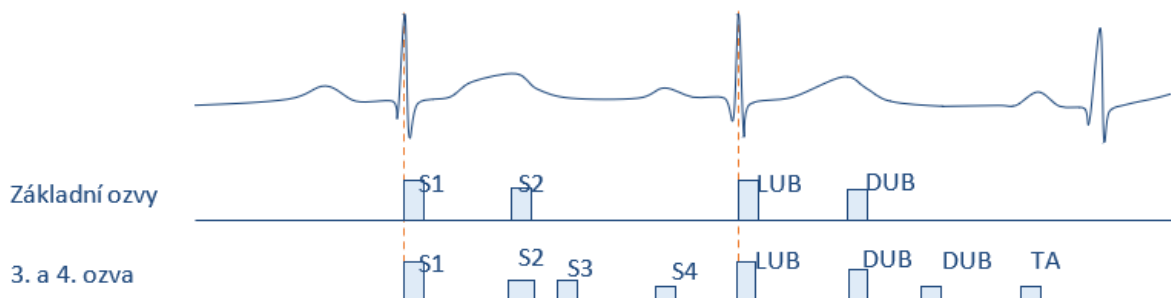
1.1 Poznámky ke cvičení

K základnímu klinickému vyšetření srdce prováděnému při každém celkovém vyšetření pacienta se řadí vyšetření zevních projevů činnosti srdce. Auskultační metoda bývá první formou vyšetření u praktického lékaře při podezření na srdeční patologii.

1.2 Základní rozdělení ozev

Srdeční ozvy reflektují turbulence vytvářené při uzavírání srdečních chlopní. Cípaté chlopně (mitrální, trikuspidální) se uzavírají na konci plnicí fáze diastoly komor (kmit R na EKG). Protože se mitrální a trikuspidální chlopeň uzavírají téměř ve stejnou chvíli, jsou při poslechové metodě fonendoskopem slyšitelné jako jedna ozva (první ozva srdeční S1). Poloměsíčitě chlopně (aortální, pulmonální) se uzavírají na konci vypuzovací fáze systoly komor (přibližně konec vlny T, Obrázek 1-1). Stejně jako cípaté chlopně dochází k jejich uzavření téměř ve stejný čas, a proto jsou fyziologicky slyšitelné jako jedna ozva (druhá ozva srdeční S2).

U mladých jedinců a dětí se mohou vyskytovat fyziologicky také 3. a 4. srdeční ozva (S3 a S4, Obrázek 1-1). Tyto ozvy jsou slyšitelné v čase komorové diastoly. Ozva S3 značí oscilaci komorových stěn při časně diastole jako důsledek rychlého plnění komor, ozva S4 značí kontrakci síní. Obě tyto ozvy jsou vůči S1 a S2 ozvám slabší. Na jejich spolehlivější detekci je vhodné použít zvonkovou část fonendoskopu a zaměřit se na vhodná poslechová místa na hrudníku.

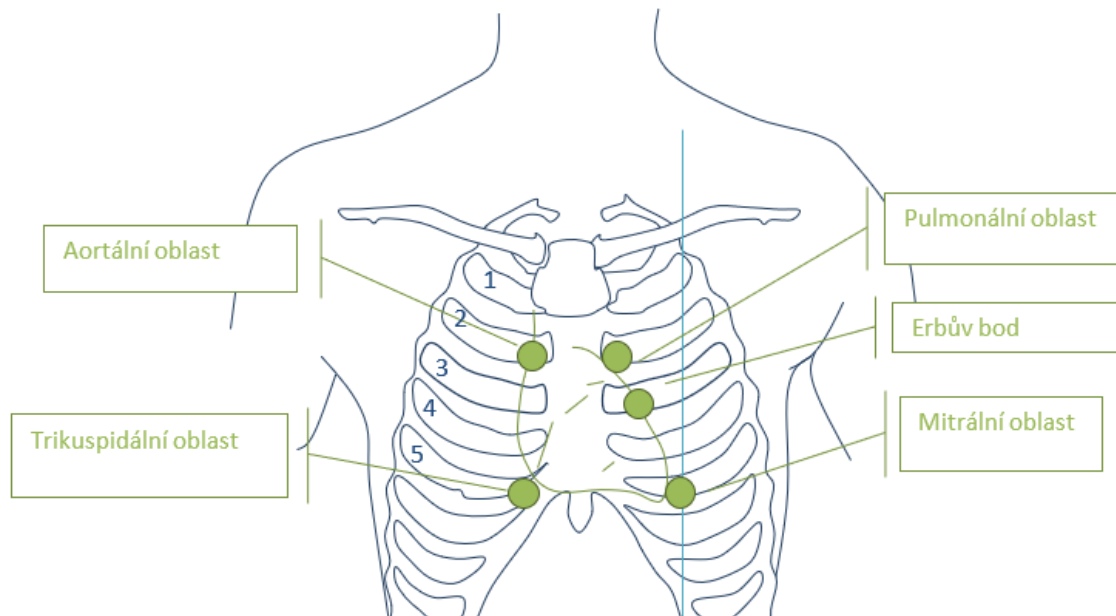


Obrázek 1-1 Schéma časového umístění ozev vůči signálu EKG.

Komentář: S1 ozva odpovídá uzavření cípatých chlopní, často popisována také jako LUB. S2 ozva odpovídá uzavření poloměsíčitých chlopní, často popisována jako DUB. V případě mladých jedinců (věk <40 let), dětí a některých sportovců mohou být v průběhu diastoly komor velice slabě slyšitelné také 3. a 4. ozva.

Poslechová místa

Při auskultačním vyšetření jsou standardně definována místa vhodná k poslechu jednotlivých srdečních ozev. I když jsou základní ozvy slyšitelné ze všech poslechových míst, k spolehlivému rozlišení levostranných a pravostranných ozev je potřeba zvolit vhodné poslechové místo (Obrázek 1-2).



Obrázek 1-2 Poslechová místa na hrudníku

Komentář: Aortální chlopeň–2.mezižebří parasternálně vpravo, Pulmonální chlopeň–2.mezižebří parasternálně vlevo, Mitrální chlopeň–5.mezižebří medioklavikulárně vlevo, Trikuspidální chlopeň–5.mezižebří parasternálně vpravo, Erbův bod–3.mezižebří parasternálně vlevo.

Ozva S1 je nejlépe detekovatelná přímo nad srdečními komorami:

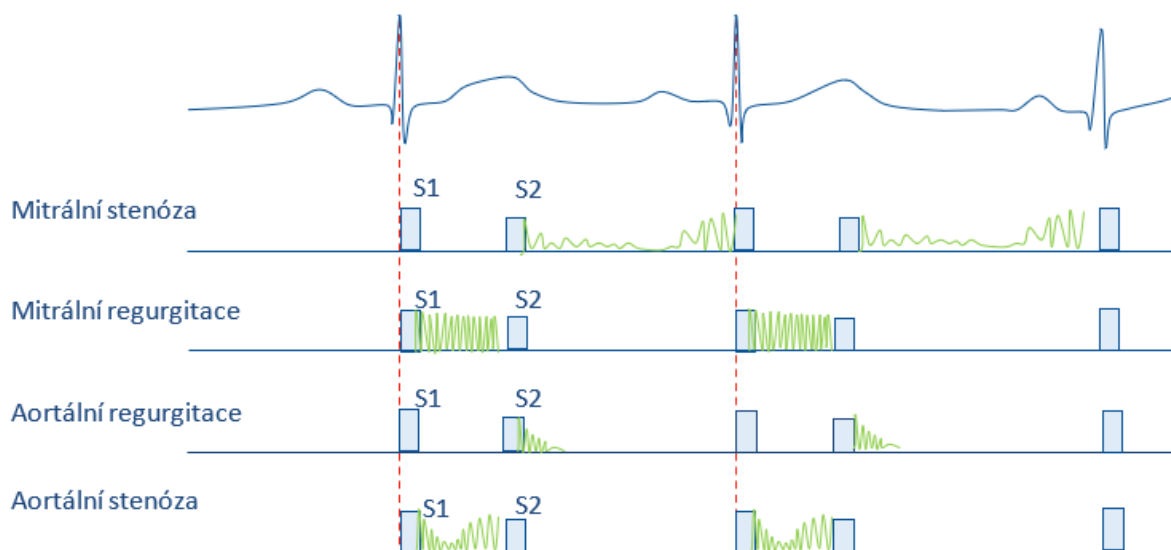
- Mitrální chlopeň – 4. - 5. mezižebří v medioklavikulární čáře vlevo (oblast hrotu srdečního)
- Trikuspidální chlopeň – 4. - 5. mezižebří parasternálně vpravo

Ozva S2 je nejlépe detekovatelná ve výtokových částech srdce, a proto nejsou poslechová místa přímo nad chlopní ale po směru výtoku krve ze srdce, tj. do „kříže“:

- Aortální chlopeň – 2. mezižebří parasternálně vpravo
- Pulmonální chlopeň – 2. mezižebří parasternálně vlevo

Dalším místem možného poslechu je tzv. Erbův bod (*punctum quintum*, 3. mezižebří parasternálně vlevo). Jedná se o centrální auskultační bod srdce, ve kterém jsou slyšitelné prakticky všechny poslechové fenomény.

Jednotlivá poslechová místa jsou kromě zpřesnění určení ozev jednotlivých chlopní potřebná k určení chlopenních patologií (Obrázek 1-3, Tabulka 1-1).



Obrázek 1-3 Schéma časového umístění šelestů vůči signálu EKG v případě vybraných chlopenních vad.

Tabulka 1-1 Základní rozdělení šelestů a jejich vhodné poslechové pozice.

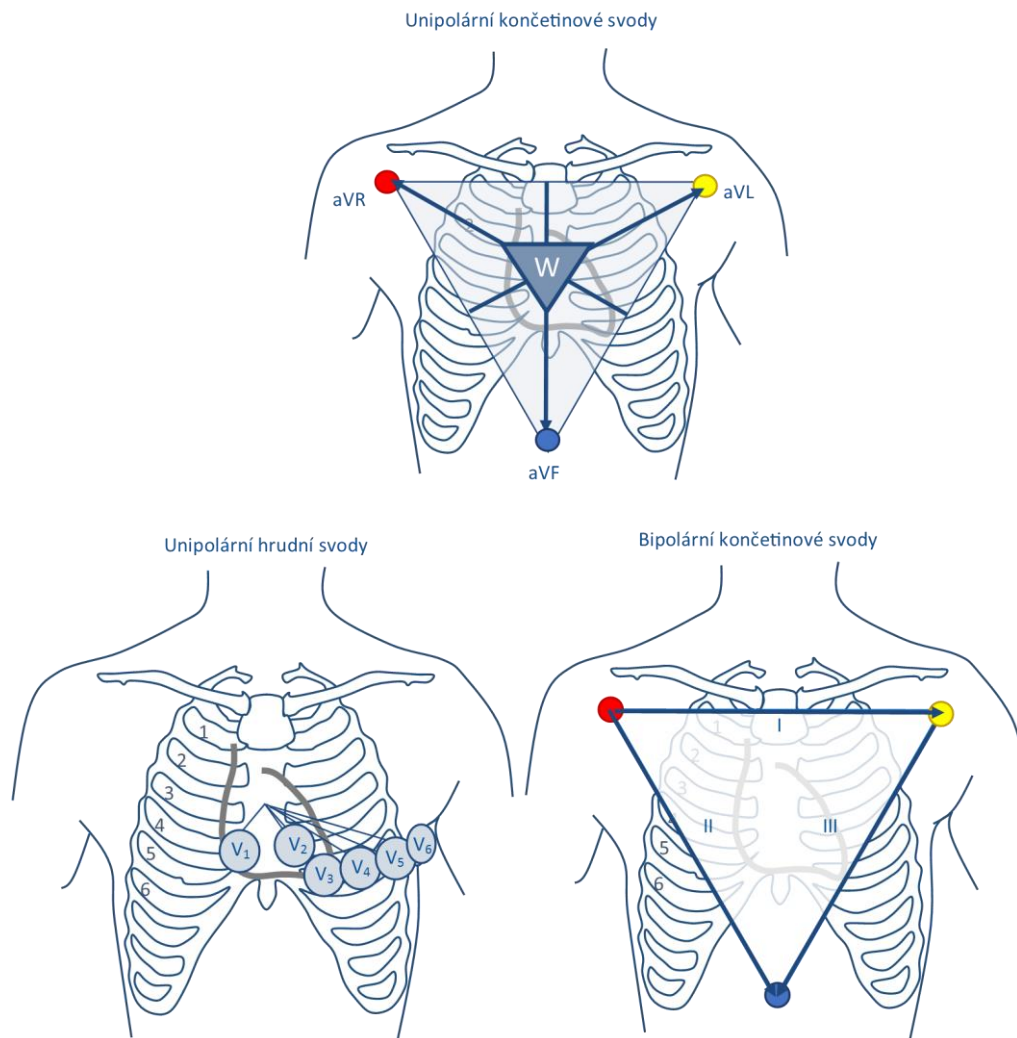
Pozice	Šelesty	Patologické nálezy
Aortální oblast	Systolické šelesty	Aortální stenóza
Pulmonální oblast	Systolické šelesty	Pulmonální stenóza
Erbův bod	Diastolické i systolické šelesty	Aortální a pulmonální regurgitace
Trikuspidální oblast	Holosystolické* šelesty a diastolické šelesty	Trikuspidální regurgitace, trikuspidální stenóza, síňové a komorové defekty
Mitrální oblast	Holosystolické* šelesty a diastolické šelesty	Mitrální regurgitace, mitrální stenóza

*trvajících po celou dobu systoly

2 EKG

2.1 Poznámky ke cvičení

K synchronizované práci srdce je nezbytné, aby správně pracoval systém, který tuto synchronicitu zajišťuje – převodní systém srdeční. Tento systém zajišťuje jak vznik vzruchu, tak jeho vedení po srdci.



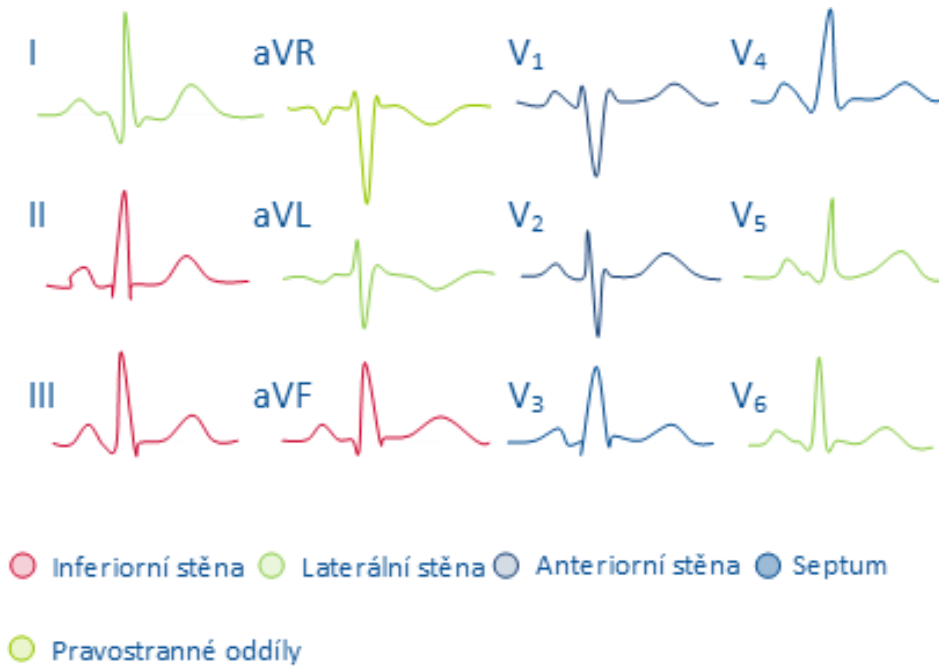
Obrázek 2-1 Zapojení jednotlivých EKG svodů.

Komentář: Unipolární hrudní svody snímají potenciály vůči centrální Wilsonově svorce (centrální – uprostřed rovnostranného Einthovenova trojúhelníku, pomyslně také uprostřed srdce)

K registraci srdečních vzruchů slouží metoda snímání elektrických potenciálů srdce – elektrokardiografie. Snímání probíhá ze svodů (standardně je jich 12) pomocí elektrod umístěných na typických místech na povrchu těla – nejčastěji na končetinách a hrudníku. Existují i jiná místa pro umístění svodů, ty jsou však většinou užívána pro speciální účely jako je 24hodinové ambulantní monitorování EKG (tzv. holterovo), ergometrie (zátěžové vyšetření) nebo monitorace EKG u pacientů na jednotce intenzivní péče.

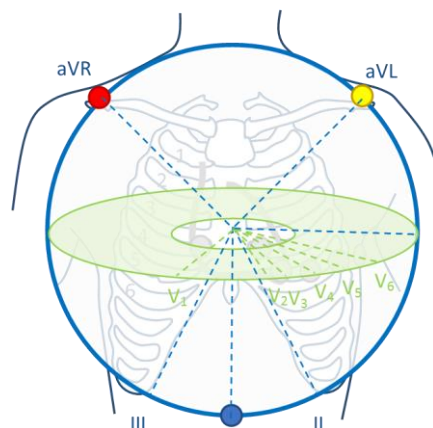
Zapojení svodů

Standardní končetinové bipolární EKG svody s označením I, II a III (Einthovenovy) registrují vždy rozdíl potenciálu mezi dvěma elektrodami Einthovenova trojúhelníku. Unipolární hrudní svody registrují potenciálový rozdíl mezi jednotlivě uloženými elektrodami vzhledem k tzv. centrální (Wilsonově) svorce a jsou označovány jako V1, V2, V3, V4, V5, V6. Končetinové unipolární (augmentované) svody jsou podle Goldbergerova zapojení označeny aVR, aVL a aVF (Obrázek 2-1). Výstupem z měření na elektrokardiografu jsou křivky elektrické aktivity srdce (Obrázek 2-2).



Obrázek 2-2 Dvanácti svodový záznam EKG se zvýrazněním anatomického původu vzniku jednotlivých křivek

Ty nás informují o postupu vlny depolarizace a repolarizace jednotlivými částmi srdce ve dvou základních rovinách – končetinové svody snímají s těmito změnami související potenciálové rozdíly (napětí) ve frontální rovině (modrý kruh), hrudní svody v transverzální rovině (zelený kruh) – viz Obrázek 2-3.



Obrázek 2-3 Končetinové svody v jednotlivých rovinách.

3 ERGOMETRIE

3.1 Poznámky ke cvičení

Ergometrie je metoda zabývající se stanovením výkonu a práce. Test je součástí komplexu zkoušek hodnotících reakce a adaptace organismu na zátěž. Využívá se v kardiologii, ve sportovní a rehabilitační medicíně. Pomocí ergometrie se zjišťují maximální hranice kardiovaskulárních a respiračních parametrů a počítají se příslušné kapacity a rezervy. Obecně člověka v maximálním výkonu může limitovat neschopnost srdce vyvinout dostatečný srdeční výdej (nedostatečná trénovanost, zhoršený koronární oběh, prodělaný infarkt), snížení funkce a kapacity plic nebo poškození či nedostatečná trénovanost pohybového aparátu.

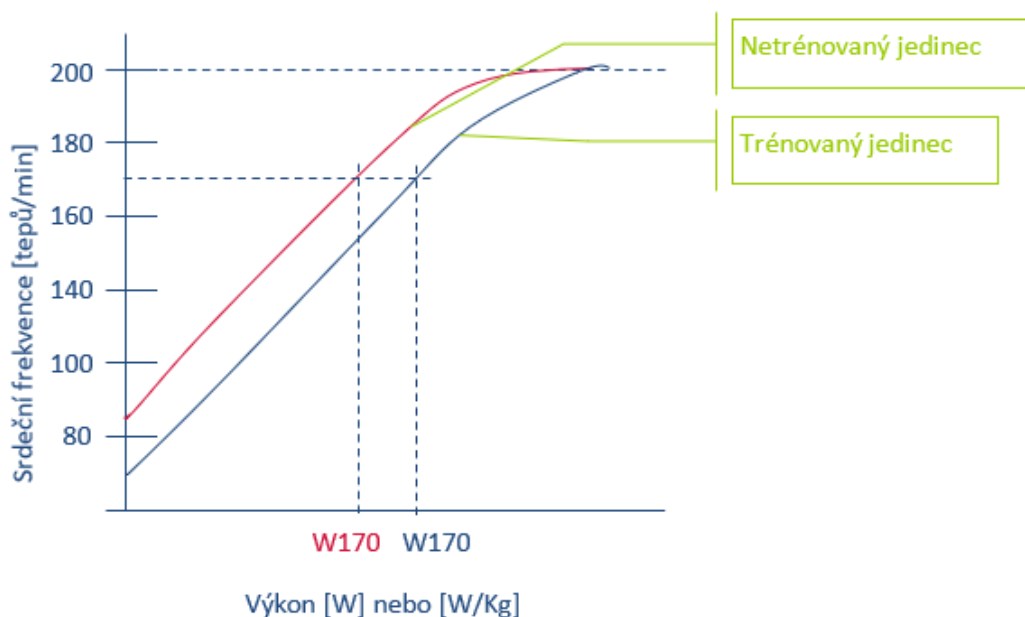
Ve cvičeních se budeme zabývat jen změnami srdeční frekvence během zátěže. Srdeční frekvence roste lineárně se zvyšujícím se výkonem během zátěže až do její maximální hodnoty, na které se nárůst zastaví. Maximální hodnota srdeční frekvence je závislá především na věku. Ovšem především ve vyšším věku jsou přítomné výrazně interindividuální rozdíly. Tabulka je proto jen orientační (Tabulka 3-1).

Tabulka 3-1 Orientační hodnoty maximální tepové frekvence podle věkových kategorií.

Věk (roky)	Do 30	31–40	41–50	51–60	61–70
Maximální srdeční frekvence	195/min	185/min	182/min	170/min	162/min

Důsledkem dlouhodobého tréninku není zvýšení maximální srdeční frekvence, ale naopak snížení klidové srdeční frekvence. Trénovaní jedinci mají nízkou klidovou srdeční frekvenci, třeba až 55 tepů/min. To jim umožní zvýšit chronotropní rezervu, která je definovaná jako podíl maximální a klidové srdeční frekvence. Netrénovaný třicátník má rezervu $190/75 = 2,53$, zatímco trénovaný například $190/55 = 3,45$.

Ze srdeční frekvence se hodnotí index W170. Je to výkon, při kterém je dosažena srdeční frekvence 170 tepů/min.



Obrázek 3-1 Vizualizace určení ergometrického výkonu dosaženého při srdeční frekvenci 170/min (index W170) z naměřených dat u netrénovaného a trénovaného jedince.

Komentář: Očekávatelný rozdíl způsobený odlišnou sportovní zdatností spočívá jak v rozdílné iniciální tepové frekvenci (na začátku měření), tak v rychlosti dosažení hranice maximální tepové frekvence jako jednoho z kritérií indikujícího ukončení měření.

Vyšetřovací fáze

1. **přípravná fáze:** příprava osoby na test, připojení k přístrojům
2. **klidová fáze:** záznam klidových hodnot
3. **zahřívací fáze:** aplikace nízké zátěže s cílem zvýšit prokrvení tkání, zlepšit pohyblivost kloubů
4. **fáze zátěže:** vystavení vyšetřované osoby regulované fyzické práci
5. **fáze zklidnění:** zátěž o nízké intenzitě s cílem urychlit odbourávání zplodin metabolismu, pomáhá návratu srdeční frekvence do klidu, pomáhá redukovat závratě a kolapsy z důvodu pozátěžové hypotenze
6. **fáze zotavení:** sledování uklidnění po zátěži

Typy protokolů

Zátěž může probíhat pomocí různých typů ergometru či v jejich kombinaci. Zátěž může být jednostupňová, vícestupňová s přestávkami nebo bez nich, případně s kontinuálně se zvyšující zátěží. Do speciálních ergometrů patří veslařský trenažér, který zatěžuje horní polovinu těla. U pacientů s omezenou mobilitou dolních končetin (paraplegici, pacienti po amputaci dolní končetiny, kvadruplegici s nižší úrovní míšního poškození apod.) se využívá rumpálový rotoped, což je rotoped pro ruce.



Obrázek 3-2 Různé typy měřících protokolů pro zátěžová vyšetření.

Komentář: V případě vyšetření v rámci sportovní medicíny nebo na podkladě kardiologické indikace je v dnešní době majoritně využíván, a také odbornými společnostmi doporučován, protokol s kontinuálním nárůstem zátěže (rampa).

Indikace k vyšetření

- Základní lékařské vyšetření sportovců
- Indikace preventivně kardiologická
- Indikace diferenciálně diagnostická
- Posudkové indikace
- Indikace farmakoterapeutická

Kontraindikace

- Vyšetření je velmi nebezpečné podstoupit, pokud pacient trpí závažnými poruchami srdečního rytmu, při nestabilní angině pectoris či při zúžení aorty.
- Ergometrie nemůže být prováděna, probíhá-li u pacienta akutní zánětlivé onemocnění.
- Je nutné vyšetření odložit, pokud pacient hlásí před začátkem příznaky jako je dušnost, točení hlavy, bolest na hrudi.
- Vyšetření také nemůže být prováděno, pokud pacient není schopen absolvovat fyzickou zátěž, ať už z důvodů akutních (zranění nebo náhlé onemocnění), či chronických (plicní problémy nebo jiná svalová či kloubní patologie).
- Dalším důvodem k neprovedení vyšetření je, pokud se pacient trpící onemocněním s proměnlivým průběhem nachází ve fázi zhoršení stavu. Příkladem může být diabetes mellitus, astma bronchiale, arteriální hypertenze.

Komplikace

- K nejvýraznějším, a také nejzávažnějším rizikům ergometrie, patří zejména vznik akutního infarktu myokardu (0,05 %), případně maligní arytmie. Riziko je přirozeně vyšší u pacientů trpících ischemickou srdeční poruchou či zvláště v časně fázi infarktu myokardu.
- Riziko náhlé smrti je přibližně 0,01 %.

- Dalším rizikem je případné svalové či kloubní zranění vycházející z nadměrné zátěže. Toto riziko hrozí zejména u pacientů důchodového věku.
- Může docházet i k drobnějším komplikacím jako jsou závratě, slabost či přetrvávající únava.

Indikace k ukončení zátěžového testu

- Typické projevy anginy pectoris
- Dyspnoe, zvláště s nálezem vlhkých fenoménů při auskultaci hrudních orgánů
- Ischemické známky na EKG, zvláště typické ischemické ST deprese progredující se zvyšováním zátěže
- Vzestup systolického krevního tlaku nad 240 mmHg nebo diastolického krevního tlaku nad 120 mmHg
- Výskyt těchto změn na EKG: salvy předčasných stahů, polymorfní předčasné stahy, předčasné stahy s pevnou vazbou na normální komplexy, různé formy náhle vzniklé tachykardie, fibrilace, blokáda vzniklá v souvislosti se zátěží.

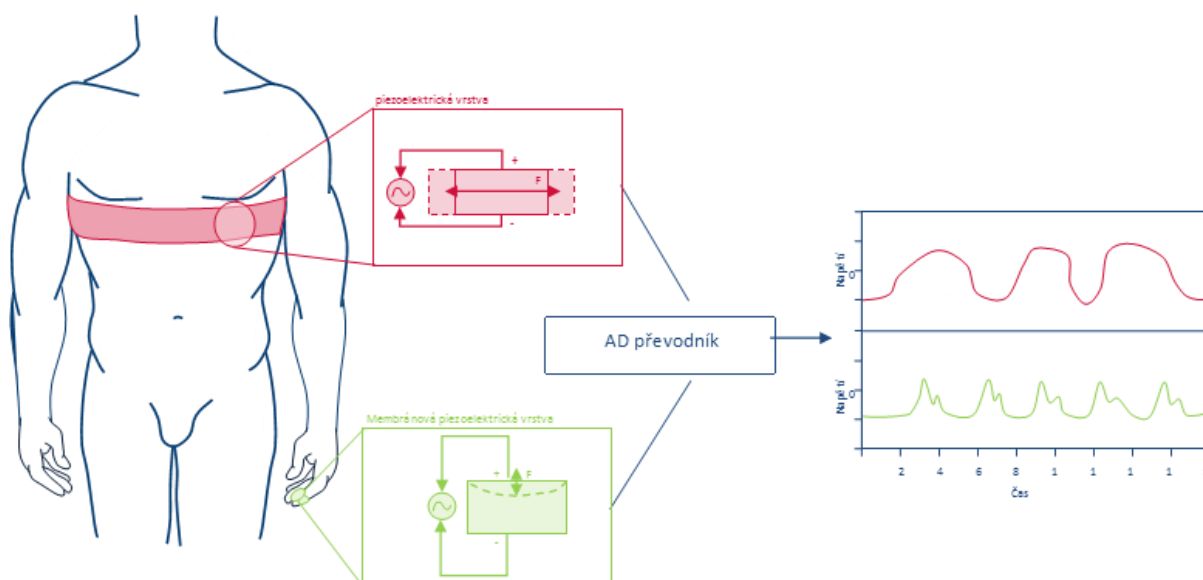
4 PALPAČNÍ VYŠETŘENÍ TĚPU

4.1 Poznámky ke cvičení

Vznik tepu a jeho měření

Tep (pulsus) je mechanickým projevem srdeční činnosti. Při vypuzovací (ejekční) fázi srdeční systoly dojde k vypuzení systolického (tepového) objemu krve do cévního řečiště. Aorta se tímto objemem (cca 70 ml) roztáhne díky vysokému zastoupení elastických vláken v její cévní stěně. Vzniká tak vlna, která se šíří stěnou navazujících arterií až do periferních částí krevního oběhu.

Na tepnách (a. carotis, a. radialis, a. brachialis, a. femoralis, a. poplitea a dalších) tuto vlnu označujeme jako tepovou = tep, který vyšetřujeme palpací. Palpační vyšetření arteriálního tepu se standardně provádí na a. radialis.



Obrázek 4-1 Princip snímání pohybu hrudníku a tepu pomocí piezoelektrických senzorů.

Záznam dechových pohybů umožňuje respirační pás. Ten pracuje na piezoelektrickém principu, tzn. využívá jev, kdy deformací vhodného materiálu vzniká elektrické napětí. V případě respiračního pásu jde tedy o piezoelektrický převodník, který převádí změny obvodu hrudníku při nádechu a výdechu na elektrický signál. Prstový snímač pulzu funguje rovněž na tomto principu (v obou případech, Obrázek 4-1). Mechanickými podněty jsou v tomto případě nepatrné změny objemu prstu ruky.

Změny tepové frekvence

Změna polohy těla:

- Ortostatická reakce – při náhlé změně polohy těla z lehu do stoji dochází v důsledku gravitace k městnání krve v žilním systému dolní části těla. Tím se sníží návrat krve do srdce a

zprostředkovaně také krevní tlak (proto se u citlivějších jedinců po tomto manévru může objevit závrať). Reflexní odpovědí organismu (baroreflex) je snaha opětovně navýšit krevní tlak tak, aby byl zabezpečen dostatečný přívod krve především do mozku. Mechanismy, kterými je tak učiněno, jsou především periferní vazokonstrikce spolu se zvýšením srdeční frekvence a kontraktility myokardu.

- Klinostatická reakce – při náhlé změně polohy těla ze stoje do lehu dochází naopak k rovnoměrné redistribuci krve v celém těle, což zvýší žilní návrat i náplň srdce a myokard tak vypuzuje krev do oběhu pod vyšším tlakem (Frank-Starlingův mechanismus). Reflexní odpovědí organismu (baroreflex) je snaha tento tlak opětovně snížit především pomocí periferní vazodilatace a snížení srdeční frekvence.

Sportovní zátěž:

- Při fyzické zátěži dochází k aktivaci sympatického nervového systému (současně s inhibicí parasympatiku), což vede k nárůstu tepové frekvence a tím i srdečního výdeje. Účelem je zabezpečit dostatečnou dodávku kyslíku a živin pracujícím svalům, a rovněž odvádění oxidu uhličitého a odpadních látek jejich metabolismu. Zvýšená tepová frekvence přetrvává také nějakou dobu po ukončení fyzické zátěže a následně klesá ke klidovým hodnotám. Jak hodnota tepové frekvence, tak rychlost návratu ke klidovým hodnotám je do velké míry závislá na trénovanosti jedince.

Přístup k vyšetření tepu

I. Nalezení palpačního místa

Bříška 2. – 4. prstu umístíme do prohlubně na palcovou stranu dlaňové plochy zápěstí a za aplikace mírného tlaku ucítíme pulzaci na a. radialis. Frekvenci pulzů definujeme jako počet tepů za 1 minutu. Všímáme si rovněž kvality pulzu – jeho pravidelnosti a síly.

II. Hodnocení tepu

Tep je ovlivňován prakticky každým srdečním cyklem, protože je odrazem reakcí srdce na změny jak objemové, tak tlakové. Zhodnocení vlivů, které zkreslují měření tepu, je nezbytnou součástí vyšetření. Při přípravě měření zhodnotíme psychický stav vyšetřovaného, odhadneme tělesnou teplotu a ideálně vyšetřujeme po krátké době klidu, kdy je již tepová frekvence ustálená.

III. Frekvence

Frekvence tepu odráží frekvenci komorových systol. V klidových podmínkách jsou fyziologické hodnoty tepové frekvence vyšší u dětí než dospělých (Tabulka 4-1). Stejně tak se odlišuje TF trénovaných a netrénovaných jedinců. Sportovci většinou mají, následkem adaptace na vyšší tělesnou zátěž, nižší klidovou tepovou frekvenci.

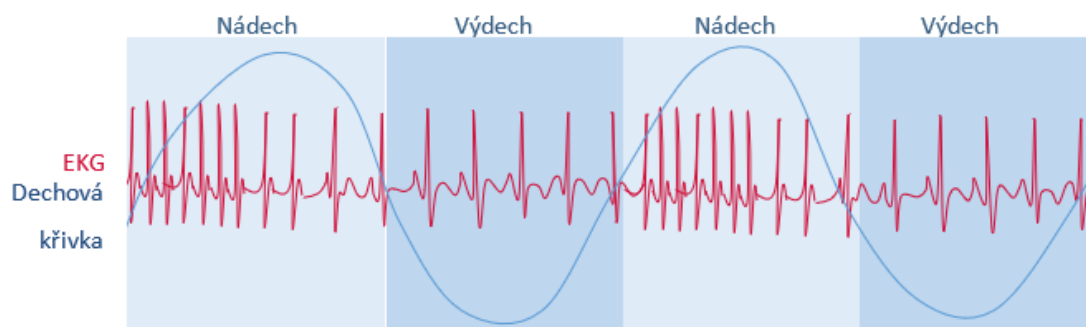
Tabulka 4-1 Tepová frekvence a její odchylky v závislosti na věku

Skupina	Bradykardie (tepů/min)	Normální rozmezí (tepů/min)	Tachykardie (tepů/min)
Dospělý	<60	70-90	>100
Novorozenec	<60	120-140	<210
Kojenec	<60	100-120	<210
Dítě	<60	60-100	/
Těhotná žena	<60	Nárůst až o 20 %	>100

IV. Srdeční akce

Při hodnocení srdeční akce se hodnotí její pravidelnost – pravidelná/nepravidelná. Nepravidelnost se projevuje různě – např. jako nepravidelné pauzy mezi jednotlivými úder, jako občasný předčasný úder nebo naopak úder, který se jednou za čas vynechá. Medicínsky se tato nepravidelnost označuje jako arytmie (starším názvem dysrytmie). Je definována jako porucha vzniku vzruchu nebo porucha vedení vzruchu srdcem. Je vždy známkou patologie. Ale s jedinou výjimkou, kterou představuje tzv. dechová arytmie (také respirační sinusová arytmie; RSA) způsobená reakcí organismu na změny tlaku v hrudníku při nádechu a výdechu (Obrázek 4-2). Na přítomnost dechové arytmie má vliv několik faktorů:

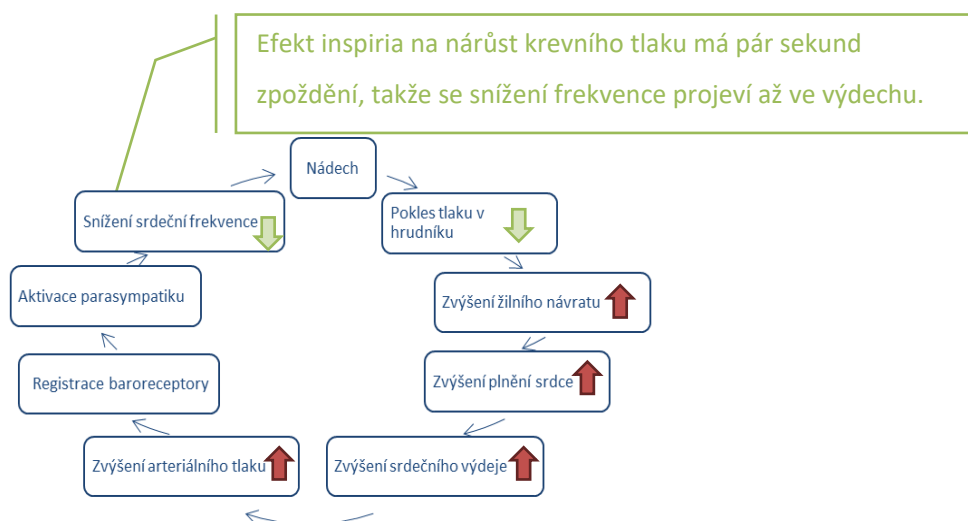
1. Frekvence a hloubka dýchání – rychlé mělké dýchání vede k vymizení RSA, hluboké pomalé dýchání zvýrazňuje RSA.
2. Aktivita autonomního nervového systému – sympato-vagální rovnováha. RSA je pod taktovkou parasympatického nervového systému (n. vagus), takže vysoká aktivita parasympatiku (klid a pohoda) RSA zvýrazňuje. Naopak, jakákoliv aktivita sympatiku RSA potlačuje.
 - a. Sportovní aktivita – RSA je výrazná u mladých a u sportovců, s věkem mizí (s věkem roste aktivita sympatiku a zhoršuje se také odpověď SA uzlu na regulace – SA také stárne).
 - b. Tachykardie – RSA mizí se zvýšením srdeční frekvence (jako důsledek sympatické aktivace) – psychický stres, fyzická zátěž, léky, hormony.
3. Změny funkce srdce – RSA mizí, pokud je poškozená funkce srdce (srdeční selhání, arytmie, ischemie atd.).



Obrázek 4-2 Dechová arytmie – kolísání tepové frekvence (délky R-R intervalu) při střídání nádechu a výdechu.

Mechanismů, které dechovou arytmií způsobují, je několik, není jednoznačné vysvětlení, jde pravděpodobně o sumu všech těchto regulací. Nejznámější vysvětlení jsou dvě:

1. Centrální generátor: dechové a srdeční centra v prodloužené míše jsou blízko sebe. Vzruchy z inspiračních neuronů se promítají do kardiomotorických neuronů.
2. Baroreflex: dýchání ovlivňuje žilní návrat, srdeční výdej a krevní tlak – kolísání krevního tlaku se skrze baroreflex promítá do srdeční frekvence (Obrázek 4-3).



Obrázek 4-3 Mechanismus vzniku respirační arytmie (RSA).

Komentář: Nádech způsobuje tlakové změny v hrudníku, které vedou ke změnám v krevním oběhu. Při objemových změnách dochází k aktivaci regulátorů, které regulují skrze tlak objem tak, aby byl neustále zachován konstantní (baroreceptory). Jejich aktivitou dojde k předání informace do mozkových center, které ovládají srdeční frekvenci (sympatikus/parasympatikus). Než však informace dorazí zpět do srdce (cca 3 sekundy), nachází se už tělo ve výdechu. Proto je paradoxně při výdechu snížena tepová frekvence a při nádechu opět zvýšená (dochází k regulaci s fázovým posunem).

V. Kvalita tepu

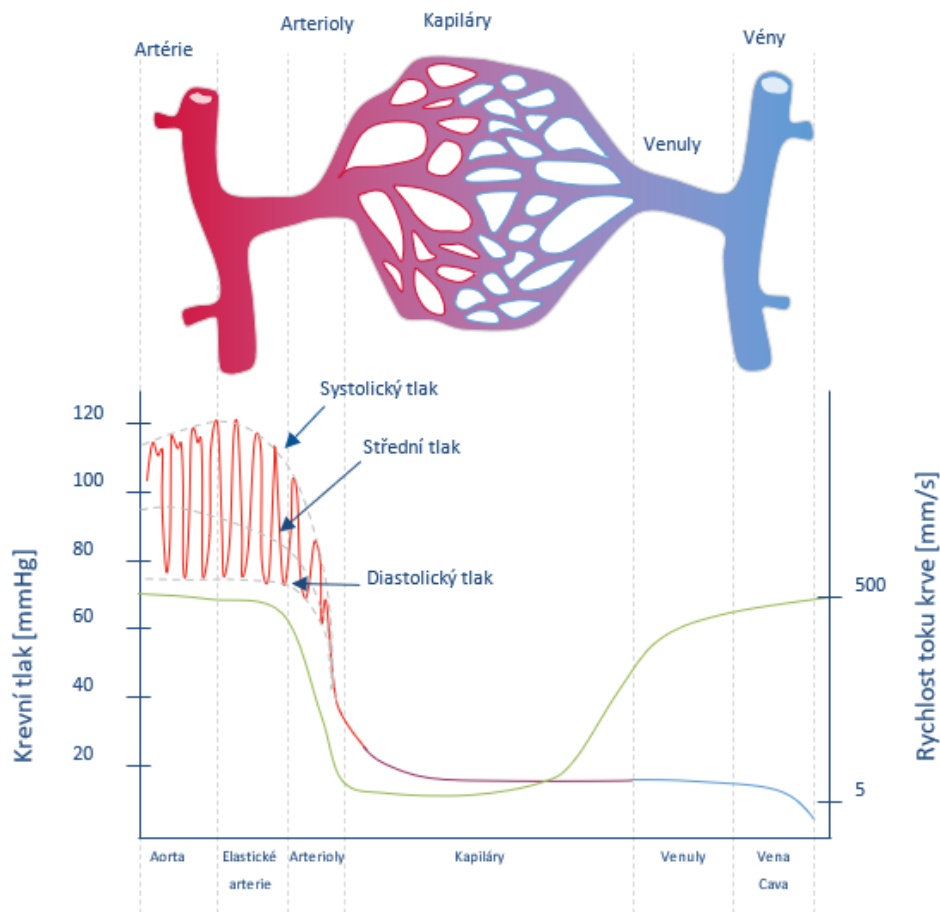
Kvalitou tepu se rozumí jeho pocitová síla (z pohledu vyšetřujícího.) Tvrdý pulz (pulsus durus) se projevuje jako pocitově těžko stlačitelný s výraznějším odporem tepny, pulz je dobře hmatný. Tvrdý pulz lze zaznamenat při hypertenzi. Měkký pulz (pulsus mollis) je naopak špatně hmatný, tepna může být komplikovaně hmatatelná a při měření je potřeba pohmat přizpůsobit náplni tepny tak, aby nedošlo k její úplné kompresi. Tento stav je typický pro hypotenzi. Nitkovitý pulz (pulsus filiformis) je charakteristický pro šokové stavy, tep je výrazně oslaben a doprovázen vyšší frekvencí.

5 MĚŘENÍ KREVNÍHO TLAKU

5.1 Poznámky ke cvičení

Krevní tlak představuje tlak, kterým působí krev na stěnu cévy, kterou protéká. Je vytvářen působením srdce jako krevní pumpy a souvisí se stavbou a funkcí krevních cév. Krevní tlak je různý v různých částech krevního řečiště (Obrázek 5-1).

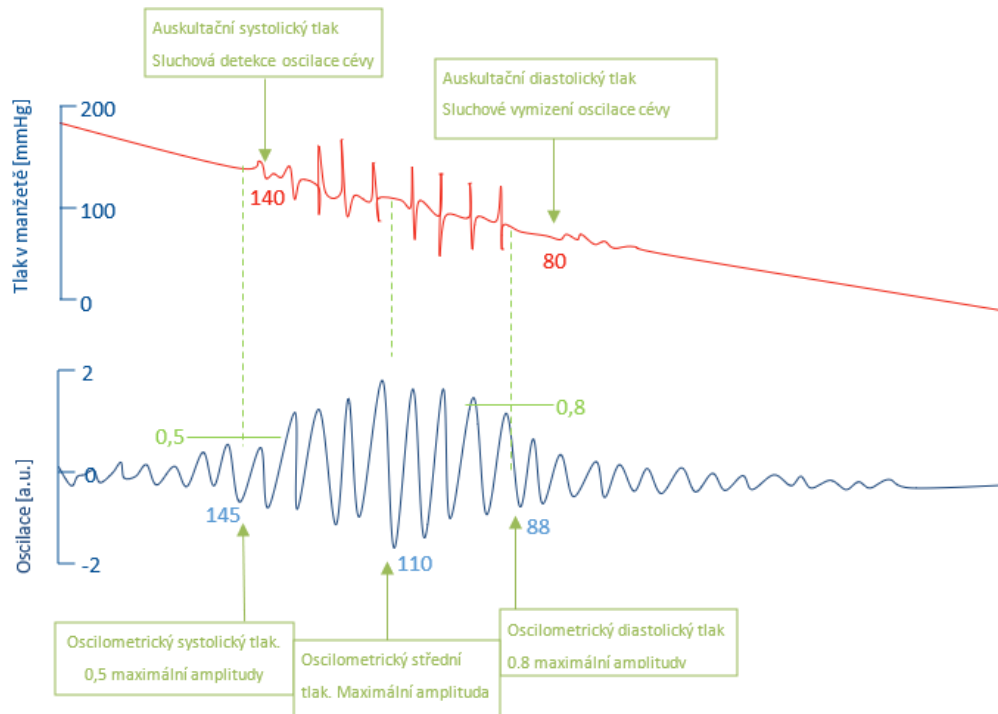
Běžně se tlakem krve míní arteriální (tepenný) krevní tlak, tedy tlak krve ve velkých tepnách. Jedná se o diagnosticky nejdůležitější tlak při určování hypertenze i aktuálního krevního tlaku pacienta. Tlak se zvláště ve velkých cévách mění také v závislosti na čase – nejvyšších hodnot dosahuje ve vypuzovací fázi srdečního cyklu (systolický tlak), nejnižších ve fázi plnění srdečních komor (diastolický tlak).



Obrázek 5-1 Změny krevního tlaku a rychlosti toku krve v různých částech krevního řečiště.

Arteriální krevní tlak je esenciálním parametrem při hodnocení kardiovaskulárního systému. Pro jeho základní stanovení lze použít různé typy přístrojů – auskultační, oscilometrický nebo kombinovaný (Obrázek

5-2). Při nutnosti sledovat kolísání tlaku tep po tepu (průběh tlaku v čase) lze použít také fotopletysmografické měření umožňující získat kontinuální křivku změny tlaku (například při diagnostice ortostatické hypotenze).



Obrázek 5-2 Rozdílné metody měření arteriálního krevního tlaku.

Komentář: Auskultační metoda zaznamenává přímo systolický tlak v okamžiku záchytu zvukových fenoménů vznikajících na podkladě turbulencí ve stěně cévy (to je později, než je skutečný čas počínající oscilace). Diastolický tlak je zaznamenán při vymizení zvukových fenoménů. Není možné z auskultační metody zjistit střední tlak přímo. Oscilometrické měření naopak přímo registruje pouze střední arteriální tlak, a to v okamžiku maximální amplitudy oscilací. Systolický a diastolický tlak je dopočítán pomocí koeficientů (mohou se lišit u různých přístrojů, novější přístroje mají adaptabilní výpočty koeficientů), které bývají blízké 0,5x max. amplitudy u systolického tlaku a 0,8x max. amplitudy u diastolického tlaku.

Pro všechny typy přístrojů platí stejná hodnotící kritéria a tabulky (Tabulka 5-1). Přestože jsou hodnoty krevního tlaku víceméně ustálené, mohou se napříč státy mírně lišit i s ohledem na možnosti měření nebo také doporučení závislých na etnických specifikách ohledně hodnot krevního tlaku.

Tabulka 5-1 Definice a klasifikace krevního tlaku pro měření v ordinaci (zdroj: Doporučení pro diagnostiku a léčbu hypertenze ČSH 2017)

Kategorie	Systolický arteriální tlak	Diastolický arteriální tlak
	[mmHg]	[mmHg]
Optimální	<120	<80
Normální	120-129	80-84
Vysoký normální	130-139	85-89
Hypertenze 1. stupně	140-159	90-99
Hypertenze 2. stupně	160-179	100-109
Hypertenze 3. stupně	≥180	≥110
Izolovaná systolická hypertenze	≥140	<90

V České republice jsou doporučené hodnoty krevního tlaku vytvářeny Českou společností pro hypertenzi (ČSH), která svá doporučení zakládá na doporučeních vydávaných Evropskou kardiologickou společností (ESC). Tato doporučení se neustále vyvíjejí a jsou pravidelně aktualizována, konzultována a upravována pro jednotlivé země, které je využívají.

Tabulka 5-2 Hodnoty krevního tlaku užívané k definici hypertenze při různých typech měření (zdroj: doporučení pro diagnostiku a léčbu hypertenze ČSH 2017).

	Systolický tlak	Diastolický tlak
	[mmHg]	[mmHg]
Měření TK v ordinaci	≥140	≥90
Ambulantní 24hodinové monitorování TK	≥130	≥80
• Průměr v denní době	≥135	≥85
• Průměr v noční době	≥120	≥70
Měření TK doma	≥135	≥85
Automatický měřič TK ve zdravotnickém zařízení bez přítomnosti personálu	≥135	≥85

Jedním ze zásadních faktorů ovlivňujících naměřenou hodnotu TK, který je často podceňován, je poloha měřené osoby. Tabulkové hodnoty používané jako reference jsou měřeny vždy v sedě, s rovnými zády opřenými plně o židli, nohy jsou volně a nejsou položeny přes sebe, měřená ruka leží volně podél těla nebo je opřená o stůl a pacient v průběhu měření nemluví. Tato doporučení jsou důležitou součástí správného měření, protože jsou schopna zásadně pozměnit hodnotu aktuálního tlaku (5-40 mmHg, Tabulka 5-3).

Nestandardně měřený tlak není porovnatelný s předchozími měřeními ani s tabulkami a jeho výpovědní hodnota je značně snižena.

Tabulka 5-3 Možné typy a míra zkreslení aktuální hodnoty TK (zdroj: American Diagnostic Corporation).

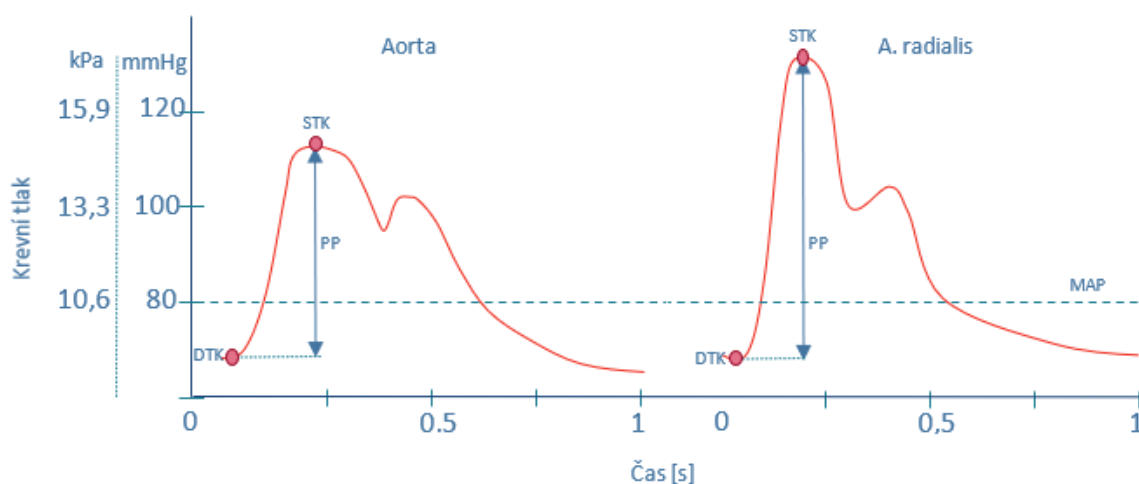
Podhodnocení tlaku (mmHg)	Důvod zkreslení hodnot	Nadhodnocení tlaku (mmHg)
45 30 15		15 30 45
	Příliš úzká manžeta	10-40
40-10	Příliš volná manžeta	10-40
	Záda nejsou opřena o židli	5-15
	Překřížené nohy	5-8
	Měření okamžitě po usednutí	10-20
	Pacient mluví v průběhu měření	10-15
	Plný močový měchýř	10-15
	Bolest	10-30

Dalším faktorem, který ovlivňuje měření, je denní doba. Cirkadiální rytmy přirozeně mění srdeční aktivitu a s ní také krevní tlak. Fyziologicky, v závislosti na hormonální aktivitě melatoninu a kortizolu, dochází k tzv. rannímu vzestupu krevního tlaku okolo 5. – 6. hodiny ráno a nadále stoupá k dennímu maximu. To koreluje s nejvyšší hladinou kortizolu kolem 12. – 15. hodiny odpolední. V podvečer a v noci dochází k přirozenému vzestupu hladiny melatoninu, který je jedním z faktorů, který má vliv na pokles srdeční frekvence i krevního tlaku. Při diagnostice hypertenze je proto vhodné monitorovat krevní tlak 24hodin pomocí holterovského měření.

6 MATEMATICKÝ MODEL FUNKCE AORTY

6.1 Poznámky ke cvičení

Křivku arteriálního krevního tlaku (Obrázek 6-1) lze matematicky rozdělit na konstantní a pulzatilní složku. Konstantní složkou se myslí střední arteriální tlak (MAP, mean arterial pressure), který je hnací silou pro tok krve. Pulzatilní složka nasedající na MAP je střídání systolického a diastolického tlaku jako důsledek pulzatilního charakteru srdeční práce. A délka tlakové křivky (srdeční perioda) je obrácenou hodnotou srdeční frekvence.



Obrázek 6-1 Rozdílný charakter tlakových křivek na různých místech v těle.

Komentář: Systolický tlak od aorty směrem k periférii díky vlastnostem arterií lehce narůstá. STK – systolický krevní tlak, DTK – diastolický krevní tlak, PP – pulzní tlak, MAP – střední arteriální tlak.

Jednotlivé složky krevního tlaku

MAP je definován jako průměrná hodnota krevního tlaku v průběhu tepového cyklu. MAP je určen srdeční frekvencí (HR, heart rate), systolickým objemem (SV, stroke volume) a celkovou cévní periferní rezistencí (TPR, total peripheral resistance). SV a HR tvoří srdeční výdej (CO, cardiac output). Vztah MAP a zmíněných parametrů je podle rovnice:

$$MAP = CO \cdot TPR = HR \cdot SV \cdot TPR$$

CO určuje přítok krve do arterií a je dán činností srdce – srdeční frekvencí, plněním srdce a silou stahu.

TPR zase určuje, jak snadno odtéká krev z arteriálního řečiště. Odpor cév se řídí zákony pro odpor trubice R, který je popsán Hagen-Poiseuilleovým zákonem.

$$R = \frac{8 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot r^4}$$

r – poloměr cévy, η – viskozita, L – délka cévy, R – odpor cév

Zde je vidět, že nejsilnější vliv na odpor má poloměr cévy (systém cév, celkový součtový poloměr). Všechny cévy kladou odpor toku krve (včetně kapilár), ale nejvíce se na jeho změnách podílejí odporové arterie (malé arterie a arterioly), protože mají ve stěně největší podíl hladké svaloviny a jsou schopné výrazně měnit svůj poloměr. Viskozita je ovlivněna hematokritem (lidé se zvýšeným hematokritem mají zvýšený krevní tlak).

Pulzatilní složka krevního tlaku

Pulzatilní složka nasedající na MAP je popsána svojí amplitudou čili pulzovým tlakem (PP, pulse pressure). $PP = STK - DTK$. Velikost pulzové amplitudy v aortě je dána aortální compliance C. C je definovaná jako změna objemu (ΔV) vyvolaná změnou tlaku (ΔP).

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

ΔV je objem krve vypuzený do aorty během jednoho srdečního cyklu, tedy systolický objem SV. ΔP je pulzový tlak (PP) v aortě. Úpravou rovnice dostáváme vztah definující pulzovou amplitudu.

$$C = \frac{SV}{PP} \rightarrow PP = \frac{SV}{C}$$

Z rovnice vyplývá, že velikost pulzací je přímo úměrná systolickému objemu a nepřímo úměrná aortální compliance. To vysvětluje, proč se pulzace krve (zvýšení STK, snížení DTK) zesilují při zvýšené síle stahu srdce nebo při zvýšené tuhosti aorty.

Podstata matematického modelu funkce aorty spočívá ve výpočtu tlakové křivky na základě znalosti HR, SV, TPR a C.

Pružníkové cévy

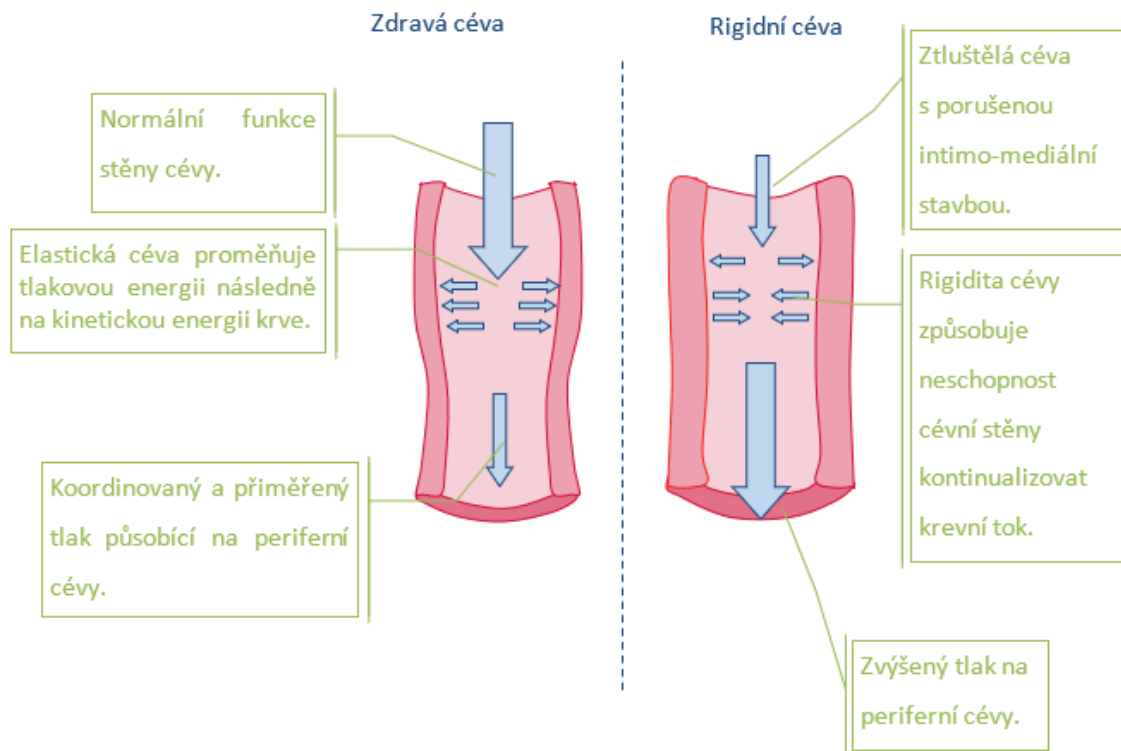
Funkcí aorty jako pružníku je kontinualizace toku krve a tlumení pulzového tlaku.

Aorta patří svojí morfologií mezi velké tepny elastického typu (též pružník) (Obrázek 6-2). Pružníky obsahují ze všech arterií největší podíl elastických vláken. Na podkladě toho má aorta schopnost při každém srdečním stahu absorbovat tlakovou energii krve vypuzené z levé komory a proměnit část této energie na potenciální energii její elastické stěny tím, že se roztáhne. Ve fázi diastoly, kdy dojde k uzavření poloměsíčitých chlopní, se pak tato energie mění zpět na tlakovou a následně na kinetickou energii krve, průměr aorty se zmenší na původní velikost a výsledkem je téměř kontinuální tok krve v průběhu celého srdečního cyklu.

Vliv na zdraví

Skladba cévní stěny má zásadní vliv na její elasticitu. V průběhu života však dochází k postupné změně skladby stěny všech cév. U pružníků dochází zhruba od 25. roku života k postupnému ubývání elastických

vláken. Jde o proces, který doprovází zvýšení rigidity cévy. Dalším faktorem, který narušuje stavbu cévy a tím i její funkci, je porucha metabolismu lipidů, která vede k intimo-mediálnímu ztlustění cévy. Tento proces, přesto že se ve vyšším věku vyskytuje poměrně často, nelze zcela považovat za přirozený proces spojený se stárnutím.



Obrázek 6-2 Funkce pružníků. Zdravá céva má vysoký podíl elastinu, který jí dovoluje efektivně převádět bolusový tok na kontinuální.

Mnoho studií v dnešní době poukazuje na propojení metabolického syndromu, diabetu mellitu II. typu, obezity, dyslipidémie a kouření na zvýšenou rigiditu pružníků a velkých cév. Proč je snížená aortální compliance škodlivá, když na MAP vliv příliš nemá? Zvýšení pulzové amplitudy při neměnném MAP v důsledku vede ke zvýšení STK a lehkému snížení DTK (u pacientů se často DTK příliš nezmění). To zvyšuje energetické nároky srdce, které musí v systole pracovat proti zvýšenému krevnímu tlaku. Rychlý pokles tlaku v diastole znamená snížení hnací síly pro koronární oběh, takže může dojít k narušení dodávky energie srdečnímu svaly. Vysoká tlaková amplituda také mechanicky poškozuje stěnu cév, narušuje endotel a usnadňuje aterosklerotický proces. Pacienti s nízkou pružností cév jsou ve vyšší míře ohroženi cévní mozkovou příhodou, infarktem myokardu a nemocemi periferních cév.

Vliv sportu na metabolickou funkci cév

Zvýšená arteriální tuhost může být snížena pomocí fyzického námahy. U mužů středního věku majících sedavou práci bylo prokázáno, že 3 měsíce aerobního cvičení (40 minut chůze nebo běhu denně při srdeční frekvenci odpovídající 70-75% maxima) snížily arteriální tuhost u a. carotis na úroveň pozorovanou u jejich

trénovaných vrstevníků. U osob trpících systolickou hypertenzí provádějících cvičení s nižší intenzitou, naopak nenastala žádná změna v arteriální tuhosti. Přínos cvičení vedoucího ke zlepšení vaskulárního systému je nepřímo spojen s nižším uvolňováním neurohumorálních vazokonstriktorů, se snížením eferentního tonu sympatiku a také se zvýšeným pulzatilním tokem a se zvýšenou produkcí NO. Tyto změny přetrvávaly i po skončení cvičení.

7 FUNKČNÍ ZKOUŠKY ARTERIÍ

7.1 Poznámky ke cvičení

Tepny jsou tlustostěnné cévy odvádějící krev ze srdce. Tepny plicní cirkulace odvádějí krev chudou na kyslík z pravé komory do plic (funkční plicní oběh), zatímco tepny systémové cirkulace rozvádějí krev bohatou na kyslík z levé komory do celého těla, tedy i do plic v podobě nutričního oběhu plic.

Stěna cév je složená ze tří vrstev. Lumen cévy vystýlá tunica interna neboli intima, v podobě jednovrstevného endotelu nasedající na tenkou vazivovou vrstvu. Centrifugálně následuje tunica media. Tato vrstva se liší dle typů arterie. U velkých neboli pružnickových arterií je tato vrstva tvořena především elastickými vlákny vytvářející membranae elasticae a tvoří podklad pružnosti těchto cév. Tunica media malých arterií a arteriol, označovaných jako odporové cévy, je tvořena hladkou svalovinou. Zevní vrstva, tunica adventicia je tvořena vazivem s četnými vasa et nervi vasorum.

Hlavní funkcí arterií je distribuce kyslíku a živin do tkání. Levá komora pumpuje krev do aorty, která jako pružnicková céva zajišťuje kontinuální tok krve v průběhu celého srdečního cyklu a její pružnost brání náhlému zvýšení systolického krevního tlaku v průběhu ejekční fáze srdečního cyklu. Krev dále protéká větvemi aorty až do tzv. odporových cév. Díky významné vrstvě hladké svaloviny v tunica media jsou odporové arterie schopné značně měnit svůj průsvit. Tyto změny ovlivňují totální periferní resistenci, a tedy i krevní tlak (zejména diastolický). Neméně důležitý efekt změny průsvitu je i redistribuce krve mezi tkáněmi. Krev z arterií a arteriol proudí přes metarterioly do kapilár, kde dochází k tvorbě tkáňového moku a výměně živin.

Regulace průsvitu cév

Průsvit cév je ovlivňován vegetativním nervovým systémem, humorální regulací, fyzikálními vlivy a autoregulačními mechanismy.

A. Regulace vegetativním nervovým systémem

Vegetativní nervový systém je tvořen dvěma základními systémy – sympatikem a parasympatikem, z nichž zpravidla ještě vyčleňujeme enterický systém. Na regulaci cévního průsvitu má hlavní vliv tonus sympatiku, který působí na cévy i v období klidu. Zvýšením tonu, tedy uvolněním většího množství mediátoru – noradrenalinu, dochází k vasokonstrikci přes α_1 receptory. Důležité je také zmínit, že hustota rozmístění těchto receptorů je značně rozdílná mezi různými typy tkání. Vhodným příkladem je cirkulace v mozkové tkáni, která na vasomotorické působení sympatiku reaguje minimálně (na arteriích se zde nachází velmi málo α_1 receptorů), naopak hustota α_1 receptorů v kůži je podstatně větší a na aktivaci sympatiku odpovídá výraznou vazokonstrikcí. Snížením tonu sympatiku dochází k vazodilataci, protože cévy nemají přímou inervaci parasympatikem.

B. Humorální regulace

Humorální regulaci můžeme rozdělit na regulaci hormonů a tkáňovými působky, a regulaci metabolismy.

B.1 Regulace hormonální.

Do regulace cévního průsvitu se zapojuje velké množství hormonů a tkáňových působků (Tabulka 7-1).

Tabulka 7-1 Tabulka některých působků humorální regulace průsvitu tepen.

Hormony a tkáňové působky	Reakce
Angiotenzin II	Angiotenzin II je velmi silný vazokonstriktor. Jeho prekurzor je α_2 globulin angiotenzinogen tvořený v játrech a vyskytující se v plazmě. Exopeptidáza renin uvolňovaná z ledvin štěpí angiotenzinogen na decapeptid angiotenzin I, který je dále štěpen na octapeptid angiotenzin II angiotenzin-konvertujícím enzymem (ACE).
NO	Oxid dusnatý je produkován v endoteliích z argininu NO syntázou (eNOS). Difunduje do hladké svaloviny cév, kde se váže na rozpustnou formu quanylátcyklázy. Aktivace tohoto enzymu vede signální kaskádou k vazodilataci.
ANP a BNP	Jsou hormony tvořené v srdci. Atriální natriuretický peptid (ANP) je tvořen v síních, zatímco brain natriuretic peptide (BNP) je tvořen v komorách při jejich objemovém přetížení. Kromě jiných účinků vedou k aktivaci membránové formy quanylátcyklázy a navození vasodilatace.
Serotonin	Serotonin je hormon produkován například aktivovanými destičkami a vede k navození vasokonstrikce.
Vazopresin	Vazopresin neboli antidiuretický hormon je tvořen v hypotalamu a do krve se uvolňuje z neurohypofýzy. Působí především v ledvinách, ale také působí vasokonstrikčně na cévy.
Histamin	Histamin je hormon produkován mimo jiné mastocyty a je jeden z hlavních mediátorů zánětu. Na cévy působí vasodilatačně.
PGE2	Prostaglandin E2 je produkován poškozeným endotelem a vede k vasokonstrikci. Uplatňuje se například při krevním srážení nebo v regulaci průtoku ledvinou.
PGI2 a PGD2	Prostaglandin I2 a D2 naopak působí přes receptory asociované s G_s proteinem a jejich aktivace vede k vasokonstrikci.

Tento výčet zdaleka není konečný, nicméně pro účel tohoto textu dostatečný.

Za stresové situace dochází pod vlivem sympatiku k vyplavení adrenalinu z dřeně nadledvin. Adrenalin působí především na β_2 receptory cév, které se predominantně nacházejí v cévách kosterní svaloviny, jejich

aktivací je vyvolána vazodilatace. Adrenalin vykazuje nižší afinitu k α_1 receptorům, jejichž aktivace stejně jako noradrenalin způsobí vazokonstrikci.

B.2. Regulace metabolická (metabolická autoregulace)

Metabolická regulace průsvitu cév je významná pro rychlé lokální změny průtoku krve. Na cévách se nachází množství receptorů reagujících na metabolity uvolňované zásobovanou tkání a tato lokální autoregulace může především v kosterní svalovině zvýšit průtok až 8krát. Vazodilataci reagují cévy v kosterní svalovině na snížený parciální tlak kyslíku (hypoxii), na změny v množství adenosinu, AMP, ADP, K^+ , HCO_3^- a H^+ iontů.

C. Reakce na fyzikální vlivy

Cévy reagují také na fyzikální vlivy. Mechanické podráždění vede k vazokonstrikci, která může být tak výrazná, že vede až k zastavení průtoku. Tato regulace se podstatně uplatňuje při poranění spojených s krvácením. Cévy reagují také na změny teploty. V chladu dochází k vazokonstrikci, naopak teplo způsobuje vazodilataci. Tyto změny se projevují především v cévách kůže.

D. Autoregulace průtoku

Autoregulace krevního průtoku je vysoce tkáňově specifická a kompletní, výše jsme zmínili metabolickou v kosterním svalu.

Myogenní autoregulace krevního průtoku je založena na kontrakci hladké svaloviny při náhlém roztažení cévní stěny v důsledku zvýšení krevního tlaku, které vede k normalizaci krevního průtoku. Naopak při nízkém tlaku krve dochází k relaxaci hladké svaloviny a vazodilataci. Podkladem tohoto typu regulace jsou Ca^{2+} stretch receptory, jejichž protažení vede k průniku Ca^{2+} do buňky hladké svaloviny.

Porucha funkce arterií

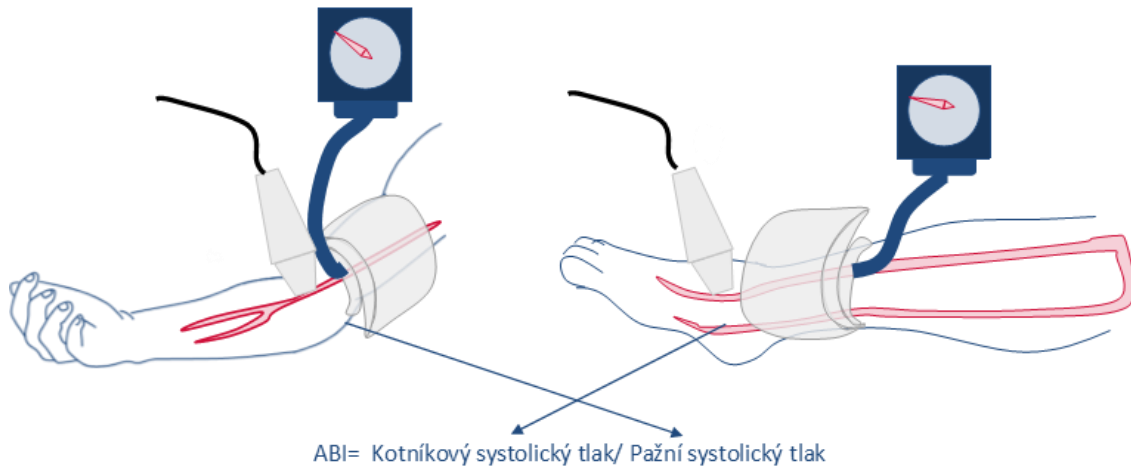
Tepenná stenóza brání vazodilataci cévy při svalové práci (pracovní hyperémie) a proto dochází k námahové ischemii projevující se bolestí. Příkladem je tzv. klaudikační bolest dostavující se při chůzi u pacientů s ischemickou chorobou dolních končetin. Tato bolest se po odpočinku zmírňuje až vymizí.

Funkční vyšetření

K vyšetření tepen lze použít funkčních vyšetření, mezi základní patří Allenův test, Ratschowův test a dále určení kotníkového tlakového indexu (KTI).

Allenův test slouží k vyšetření průchodnosti arcus volaris superficialis et profundus. Palci stlačíme a. radialis a ulnaris a vyšetřovanou ruku zvedneme nad hlavu. Vyšetřovaného požádáme o rytmické svírání dlaně v pěst, čímž zapojí svalovou pumpu i gravitaci, společně vedoucí k odkrvení prstů i dlaně. Po zbělení prstů a dlaně končetinu za neustálé komprese obou tepen spustíme dolů a poté uvolníme tlak na jednu z tepen. Při dobré průchodnosti pozorujeme postupné zčervenání celé dlaně a prstů. Vyšetření opakujeme za uvolnění tlaku na druhou z tepen.

Ratschowův test – slouží k funkčnímu vyšetření tepen dolní končetiny. Ležící pacient elevuje obě dolní končetiny a setrvá půl minuty. Při kritickém zúžení tepen dolní končetiny dochází již v této fázi ke zblednutí končetin. Poté pacient provádí plantární a dorzální flexi v nártu frekvencí 1 Hz (jeden kmit za 1 sekundu). Hodnotíme čas do vzniku bolesti. Poslední fází je posazení vyšetřovaného se svěšenými končetinami. Obě končetiny by měly homogenně zčervenat do 15 sekund.



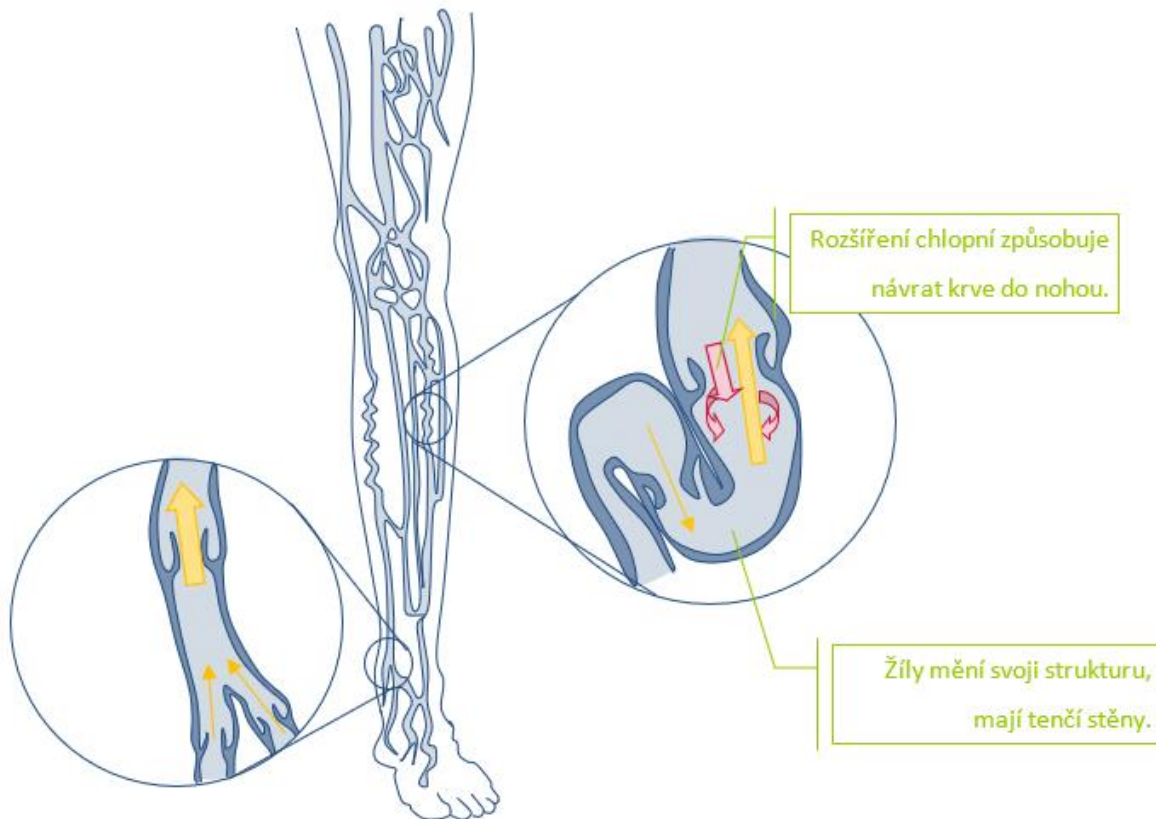
Obrázek 7-1 Vyšetření tepen pomocí indexu KTI pomáhá odhalit abnormální rozdíly tlaků v končetinách.

8 FUNKČNÍ ZKOUŠKY ŽIL

8.1 Poznámky ke cvičení

Žíly (venae) jsou tenkostěnné cévy sbírající krev z kapilár skrze venuly spojující se do vén a ústící do srdce. Žíly systémové cirkulace ústí v podobě vena cava superior a vena cava inferior do pravé síně, zatímco žíly plicní cirkulace ústí čtyřmi plicními žilami do síně levé.

Stěna žil, stejně jako arterií, je tvořena třemi vrstvami. Tunica interna neboli intima má podobu jednovrstevného plochého endotelu vytvářejícího nesmáčivý luminální povrch cévy. Tunica media je oproti arteriím podstatně redukována na pár vrstev hladké svaloviny, zevně ohraničených tunica adventicia v podobě vazivové vrstvy. Intima končetinových žil do lumen vybíhá v podobě žilních chlopní, které brání zpětnému toku krve a usměrňují tok směrem do srdce.



Obrázek 8-1 Vznik žilní insuficience vedoucí ke vzniku tzv. křečových žil. Žíla ztrácí svou funkci a vede ke stagnaci krve v končetinách.

Hlavní úlohou žil je vést krev z periferie do srdce, jejich neméně důležitou úlohou je i jejich kapacitní funkce. Žíly tvoří rezervoár krve, v klidu obsahují 60 % celkového cirkulujícího objemu. Tento rezervoár může díky velké poddajnosti žil dále expandovat až o 1 litr krve, avšak vazokonstrikcí vyvolanou sympatickým

nervovým systémem může být i podstatně snížen. Takto je také ovlivňován žilní návrat krve do srdce (Obrázek 8-1).

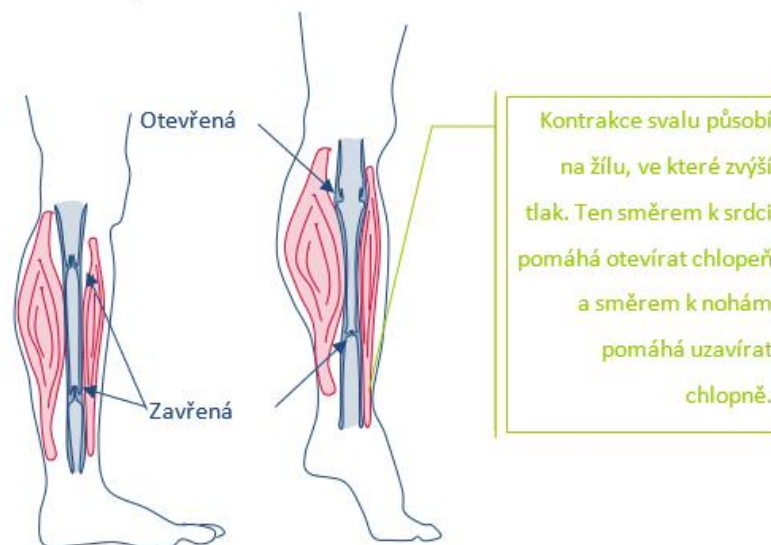
Žilní tlak

Jako žilní tlak označujeme tlak krve působící na stěnu žíly. Jelikož je tento tlak v porovnání s arteriálním tlakem výrazně nižší, označujeme tuto část krevního oběhu za nízkotlakou. Protože veškerá krev systémové cirkulace přitéká do pravé síně, nazýváme tlak v pravé síni jako centrální žilní tlak. Hodnota centrálního žilního tlaku je závislá na poddajnosti žil, dále na množství krve, které je srdcem přečerpáno do plicního oběhu a množství krve, které cestou dutých žil do síně přiteče.

Mechanismy žilního návratu

Žilní návrat je množství krve, které do srdce přiteče v průběhu jedné systoly. Kontinuální tok krve z periferie do srdce probíhá na podkladě tlakového gradientu – krev teče z oblasti s vysokým tlakem do oblasti s nízkým tlakem, a navíc jejímu zpětnému toku brání žilní chlopně. Jako mechanismy žilního návratu označujeme děje v organismu, které se na krevním návratu podílí:

- Pulzace arterií – žíly probíhající společně s arteriemi v arteriovenózních svazcích, jsou často zdvojené a obkružují tepny. Pulzová vlna probíhající po stěně tepny stlačí tenkou stěnu žíly obdobně jako svalová pumpa a vede k vytlačení krve směrem k srdci.
- Venokonstrikce – kontrakce hladké svaloviny vén způsobená aktivací sympatiku.



Obrázek 8-2 Princip svalové pumpy.

Komentář: Kontrakce kosterního svalu, ve kterém žíla probíhá, zvyšuje tlak v cévě. Tímto způsobem se otevírá chlopně směrem k srdci (uzavírá se chlopně na opačné straně) a je vytlačována krev v žilách také směrem k srdci

- Svalová pumpa – kontrakcí kosterní svaloviny končetin dochází k stlačení vén a k vytlačení krve usměrněné žilními chlopněmi směrem k srdci.

- „Vis a tergo“ (síla zezadu) – srdce vypuzuje krev do oběhu pod určitým tlakem, který průchodem cévním řečištěm postupně klesá, nicméně je v oblasti přechodu kapilár do venul výrazně vyšší než tlak v síních. Tento tlakový gradient žene krev zpět do srdce.
- „Vis a fronte“ (síla zepředu, sací síla srdeční systoly) – v průběhu ejekční fáze systoly komor dochází ke změně tvaru komory z kužele na kouli a dochází k posunu atrioventrikulárního septa, které působí jako píst stříkačky snížením tlaku v síni k nasátí krve.
- Negativní intratorakální tlak – v průběhu inspirace dochází ke zvětšování intratorakálního podtlaku, který roztahuje poddajnou stěnu vén a vede ke snížení tlaku v hrudních žilách. Výsledkem je zvýšení tlakového gradientu mezi periferií a velkými žilami, který napomáhá ke zvýšení žilního návratu.

Funkční vyšetření žil

V dnešních dnech se k vyšetření žil využívá množství sofistikovaných zobrazovacích metod, například Dopplerovská ultrasonografie, kontrastní CT flebografie, MR flebografie a jiné. Nicméně v této kapitole se budeme zabývat funkčním vyšetřením průchodnosti žil dolní končetiny včetně perforátorů. Naprosto fundamentální pro toto vyšetření je znalost anatomického uspořádání žilní soustavy dolní končetiny.

Žilní systém dolní končetiny je tvořen dvěma podsystemy: povrchovým a hlubokým žilním systémem. Hluboký žilní systém je tvořen subfasciálně uloženými žilami, které jsou často zdvojené a v podobě arteriovenosního svazku doprovázejí arterie dolní končetiny. Povrchový žilní systém je uložen suprafasciálně a je s hlubokým systémem, do kterého také vyúsťuje, spojen systémem perforátorů (název dle jejich průniku skrz fascii). Krev z kůže a podkoží je odváděna dvěma hlavními kmeny povrchových žil – v. saphena magna et parva. V. saphena magna vzniká na dorzu nohy a probíhá za vnitřním kotníkem po mediální straně až do třísla, kde proniká skrz fascii a ústí do hluboké femorální žíly. Naopak v. saphena parva probíhá za vnějším kotníkem a ústí do v. poplitea v podkolenní jamce. Přesná lokalizace a počet perforátorů je variabilní, a proto uvádíme pouze nejvýznamnější (Tabulka 8-1).

Tabulka 8-1 Nejvýznamnější perforátory a jejich umístění.

Perforátory	Umístění
Cocketovy	mediálně nad kotníkem
Boydovy	mediálně pod kolenem
Doddovy	mediálně nad kolenem

Zkoušky funkce perforátorů

Brodieho-Trendelenburgova zkouška – slouží k posouzení funkce chlopní vena saphena magna. Elevací končetiny nad úroveň těla dochází k vyprázdnění žil. Zaškrcením končetiny zabráníme odtoku krve z v. saphena magna. Při normální funkci perforátorů dochází k odtoku stagnující krve touto cestou do

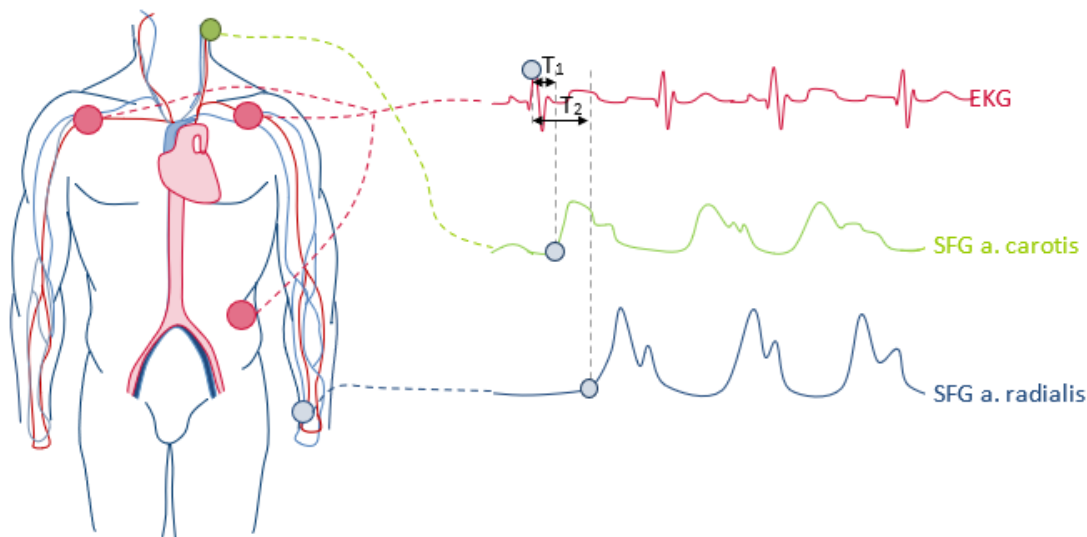
hlubokého systému. V opačném případě krev stagnuje, což pozorujeme jako žilní prominenci. Povoláním škrtidla znovu umožníme odtok krve do hlubokého systému. Při porušení funkce chlopní v oblasti ústí v. saphena magna pozorujeme zpětné plnění.

Pertesova zkouška spolu s anatomickou znalostí perforátorů nám umožňuje určit průchodnost spojek mezi povrchovým a hlubokým žilním systémem.

9 RYCHLOST PULZOVÉ VLNY

9.1 Poznámky ke cvičení

Rychlost pulzové vlny (RPV) charakterizuje míru rigidity příslušného úseku tepenného řečiště; čím rychleji se pulzová vlna šíří, tím rigidnější je studovaná céva. Lze ji měřit například sonograficky nebo sfygmograficky. Při druhém způsobu, který se používá častěji, je změřena vzdálenost dvou míst na povrchu těla, například vzdálenost dvou míst na a. brachialis a na a. radialis, nebo na a. carotis a na a. femoralis. Tranzitní čas T je definován jako doba mezi kmitem R na EKG a místem vzestupu sfygmografické křivky na vybrané tepně (T_1 pro a. carotis a T_2 pro a. radialis - viz Obrázek 9-1). Poté je zjištěn časový posun ΔT mezi těmito dvěma místy ($\Delta T = T_2 - T_1$). Rychlost pulzové vlny mezi a. carotis a a. radialis je následně vypočtena jako podíl jejich vzdálenosti a časového posunu ΔT (rozdílu tranzitních časů obou měřených míst, resp. arterií).



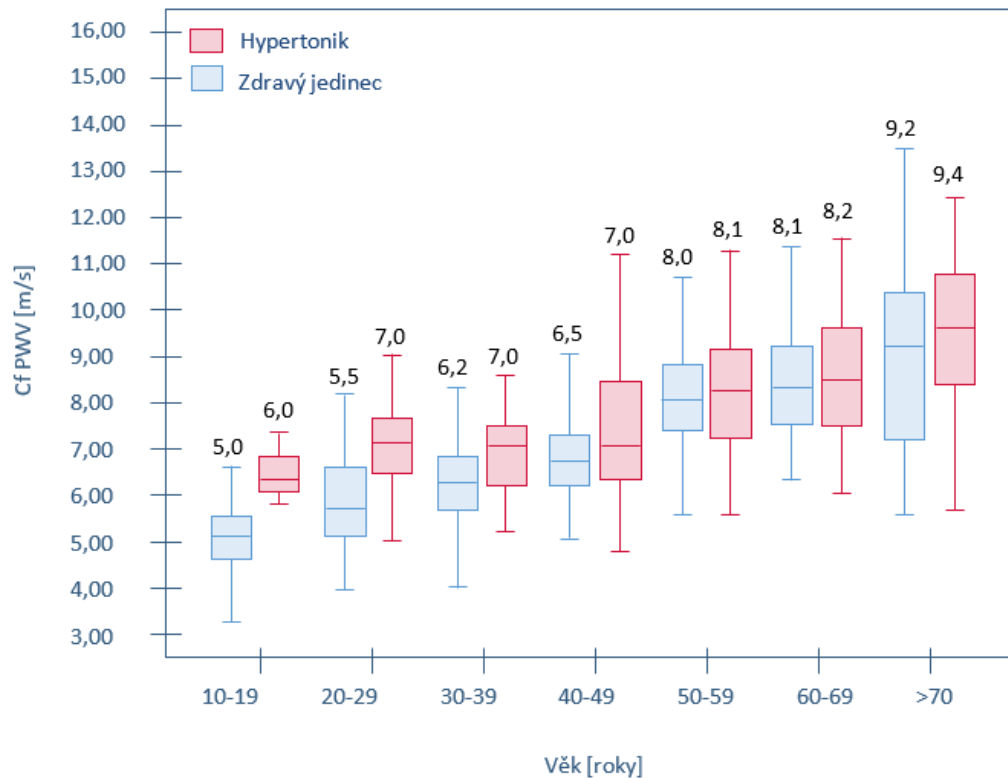
Obrázek 9-1 Princip měření rychlosti pulzové vlny.

Komentář: Tranzitní čas se definuje jako doba od R kmitu na EKG po místo vzestupu křivky sfygmogramu. Tento čas se bude lišit podle míst na těle jednak kvůli vzdálenosti od srdce a také kvůli měnícím se vlastnostem cév.

Zlatým standardem v klinické praxi je měření karotido-femorálního indexu. Měří se rozdíl tranzitních časů a. carotis a a. femoralis a vzdálenost mezi nimi. Rychlost se pak vypočítá z poměru těchto dvou veličin v metrech za sekundu. Na základě této metody byla z několika klinických studií sestavena tabulka referenčních hodnot (Graf 9-1).

Tato metoda je dobře reprodukovatelná (rozdíly mezi dvěma vyšetřujícími jsou do 5 %). Její výhodou je fakt, že je studován určitý arteriální segment, který můžeme vztáhnout na celý systém. Při hodnocení je třeba

vzít v úvahu aktuální TK, který je funkční determinantou arteriální rigidity (vysoký krevní tlak zvyšuje rigiditu tepny). Největší význam má sledování rychlosti na aortě, kde tento parametr charakterizuje nárazníkovou funkci centrálního řečiště.



Graf 9-1 Referenční intervaly RPV pro karotido-femorální index (Cf RPV) u zdravých pacientů i hypertoniků.

Komentář: Box plot graf ukazuje nejen průměrné hodnoty, které byly naměřeny jak u zdravých, tak u nemocných pacientů (podélná linka grafu a černý text nad jednotlivými grafy), ale také medián (samotná „krabice“) a rozptyl (svíslá linie). U hodnocení je vhodné se kromě průměrných hodnot orientovat také podle mediánu, který ukáže možný rozsah ještě normálních hodnot.

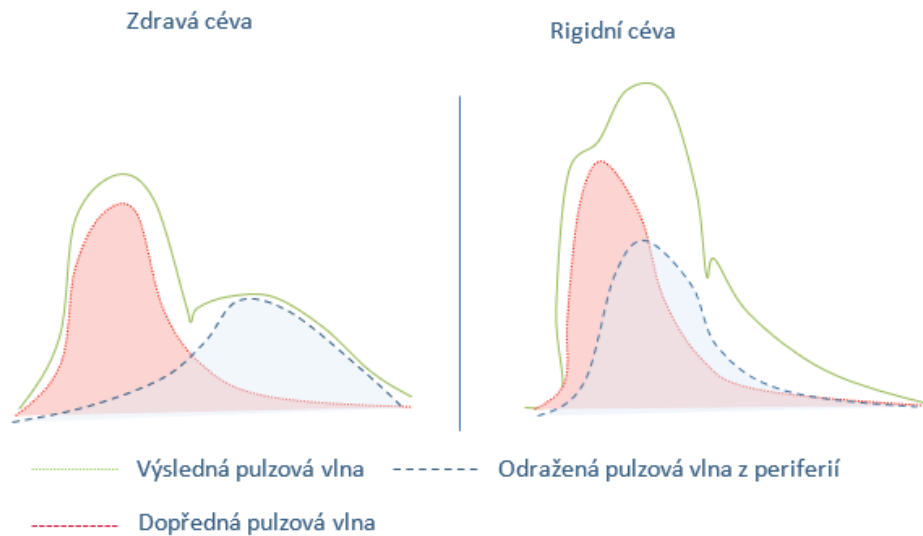
Zdroj: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jch.13167>.

Tvar pulzové křivky

Na výsledném tvaru pulzové vlny se podílejí dva hlavní komponenty. První je způsoben systolickou tlakovou vlnou, která vzniká vypuzením krve z levé komory přes aortu a její distribucí do periferních oblastí. Druhá komponenta je tvořena odrazem postupující pulzové vlny (Obrázek 9-2). K odrazu dochází na cévních větveních, úsecích s rozličnou distenzibilitou cévní stěny a rezistentních arteriolách. Odrazivost tlakové vlny je závislá na několika faktorech:

1. Délka arteriálního řečiště od srdce do míst, kde nastává odraz vln (v našem případě vzdálenost mezi aortou a a. radialis).
2. Tuhost arterií (hlavně aorty a jejich odstupujících větví).

3. Síla a frekvence vypuzování krve ze srdce.
4. Odporové cévy, které jsou zodpovědné za míru odrazivosti vlny.



Obrázek 9-2 Rozdílný tvar pulzové křivky u zdravé a rigidní cévy.

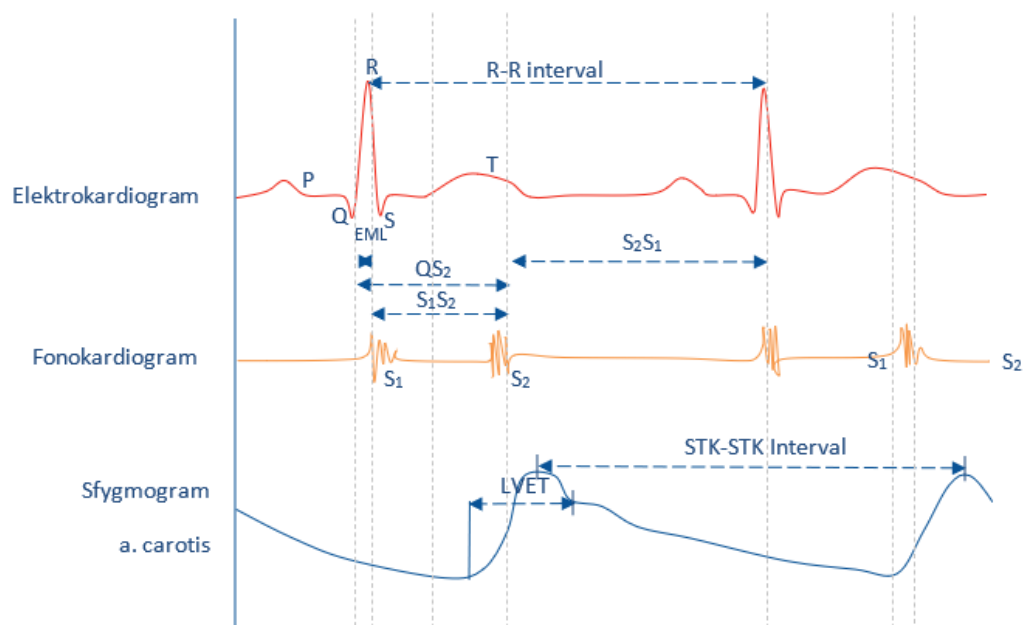
Komentář: V případě rigidní cévy dochází k brzkému návratu odražené vlny, která při sumaci vytváří vyšší výslednou vlnu. Tento jev je ovšem viditelný pouze do určité míry rigidity.

Z faktorů zodpovědných za odrazivost vyplývá, že pulzová vlna se bude měnit s věkem, zdravotním stavem, ale vliv má také výška člověka a velikost srdce. Rychlost pulzové vlny je závislá na pružnosti cév a je definována jako míra arteriální tuhosti. Jedna ze základních fyziologických vlastností arteriálního pulzu je, že tvar jeho křivky se mění tak, jak cestuje přes arteriální strom. Obecně se zvyšuje amplituda a mění se také vlastnosti tlakové křivky. Periferní pulz je užší a ostřejší než systolický vrchol centrálního pulzu. U mladých lidí je aortální pulzní křivka oproti té periferní asi o 50 až 60% nižší. Tento výrazný rozdíl se u pacientů s vyšší tuhostí naopak přestane projevovat.

10 URČOVÁNÍ FÁZÍ SRDEČNÍ SYSTOLY POMOCÍ POLYGRAFICKÉHO ZÁZNAMU

10.1 Poznámky ke cvičení

Polygrafie je založená na současném snímání několika fyzikálních veličin různými neinvazivními nebo invazivními metodami. V polygrafickém záznamu je pak možné měřit parametry, které nelze získat při samostatném snímání jednotlivých veličin (Obrázek 10-1).



Obrázek 10-1 Ukázka polygrafického záznamu s vyznačenými měřenými intervaly.

Všimněte si vztahů mezi jednotlivými intervaly a různými možnostmi, jak lze tyto veličiny získat.

Metoda určování fází srdečního cyklu pomocí polygrafického záznamu byla v klinické praxi využívána v druhé polovině 20. století. Z pohledu komplexnějšího hodnocení kardiovaskulárního systému byla tato metoda v klinické praxi postupně nahrazena použitím EKG ve spojení s modernějšími diagnostickými přístroji, obzvláště pak zobrazovacími modalitami, jakými jsou např. echokardiografie a nukleární magnetická rezonance. Z edukativního pohledu se však pořád jedná o velice přínosný a názorný způsob demonstrace vzájemných souvislostí jednotlivých dějů mechanické a elektrické srdeční činnosti.

Vyšetření délky srdečního cyklu

Stanovení délky srdečního cyklu (R-R intervalu)

R-R interval je doba trvání srdečního cyklu, která udává srdeční frekvenci. Rovněž by měla být délka R-R intervalu podobná času mezi maximální hodnotou tlaku na sfygmogramu (STK – STK) a dobou mezi dvěma uzavřeními mitrální chlopně na fonokardiogramu (S_1S_1).

Trvání mechanické systoly (S_1S_2) a diastoly (S_2S_1)

Interval S_1S_2 je doba trvání mechanické systoly (doba mezi první a druhou srdeční ozvou na fonokardiogramu). Interval S_2S_1 je doba trvání mechanické diastoly a lze ji vypočítat jako rozdíl intervalu R-R a parametru S_1S_2 :

$$S_2S_1 = RR \text{ interval} - S_1S_2 \quad (1)$$

Vyšetření fází srdečního cyklu

Trvání ejekční fáze systoly (LVET)

Ejekční fáze je doba, ve které srdce mechanicky vypuzuje krev do velkého krevního oběhu. Časově odpovídá intervalu mezi začátkem strmého vzestupu křivky pulzové vlny a dikrotickou incisurou na sfygmogramu.

Trvání izovolumické fáze kontrakce (IVK)

Izovolumická fáze kontrakce je doba, během které se srdce připravuje ke kontrakci myokardu. V této době se nemění objem komor, pouze narůstá intraventrikulární tlak. Časově tedy odpovídá začátek izovolumické fáze kontrakce QRS komplexu či začátku první srdeční ozvy, konec odpovídá přibližně začátku nulové izoliny ST segmentu a začátku vzestupu tlakové křivky:

$$IVK = S_1S_2 - LVET \quad (2)$$

Elektromechanická latence (EML)

Elektromechanická latence je doba mezi začátkem kmitu Q na EKG a první srdeční ozvou registrovanou pomocí fonokardiografie. Prakticky se tak jedná o čas, který uběhne od prvního elektrického projevu depolarizace svaloviny komor do prvního významnějšího mechanického projevu komorové systoly – uzávěr atrioventrikulárních (cípatých) chlopní – mitrální, trikuspidální.

$$EML = QS_2 - S_1S_2 \quad (3)$$

Vyšetření elektrické aktivity srdce

Elektromechanická systola (QS_2)

Elektromechanická systola je doba trvání od elektrické aktivace septa po uzavření aortální chlopně (2. srdeční ozva).

Preejekční perioda (PEP)

Preejekční perioda odpovídá době od elektrické aktivace septa do otevření poloměsíčitých chlopní:

$$PEP = QS_2 - LVET \quad (4)$$

Indexy

Index $\Delta P/\Delta t$

Index $\Delta P/\Delta t$ značí průměrnou rychlost vzestupu tlaku v izovolumické fázi systoly. V praxi odpovídá srdeční kontraktilitě stanovené pomocí invazivní srdeční katetrizace jako maximální rychlost $(\Delta P/\Delta t)_{\max}$. V průběhu izovolumické fáze roste tlak v levé komoře od hodnoty tlaku v levé síni (8 mmHg; okamžik S_1 na FKG) až k hodnotě diastolického aortálního tlaku (DTK; začátek strmého vzestupu křivky v kanálu SFG). Průměrnou rychlost vzestupu tlaku lze vypočítat:

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\text{rozdl tlaku na konci a začátku IVK}}{\text{Doba trvání IVK}} = \frac{DTK - 8\text{mmHg}}{IVK} \quad (5)$$

Index kontrakční mohutnosti srdce (PEP/LVET)

Index je ukazatelem kontrakční mohutnosti srdce. Tento parametr je jako všechny systolické parametry závislý na centrální hemodynamice krevního oběhu. To znamená, že oba parametry ve zlomku jsou přímo úměrné síle srdečního stahu jen v případě, že se nemění plnění komor a odpor v aortě.

Vzrůstající hodnoty indexu kontrakční mohutnosti srdce jsou ukazatelem sníženého výkonu srdce, který se může pojít s mnoha patologiemi (Tabulka 10-1; příklad vzrůstající hodnoty indexu u mužů s různým postižením srdce).

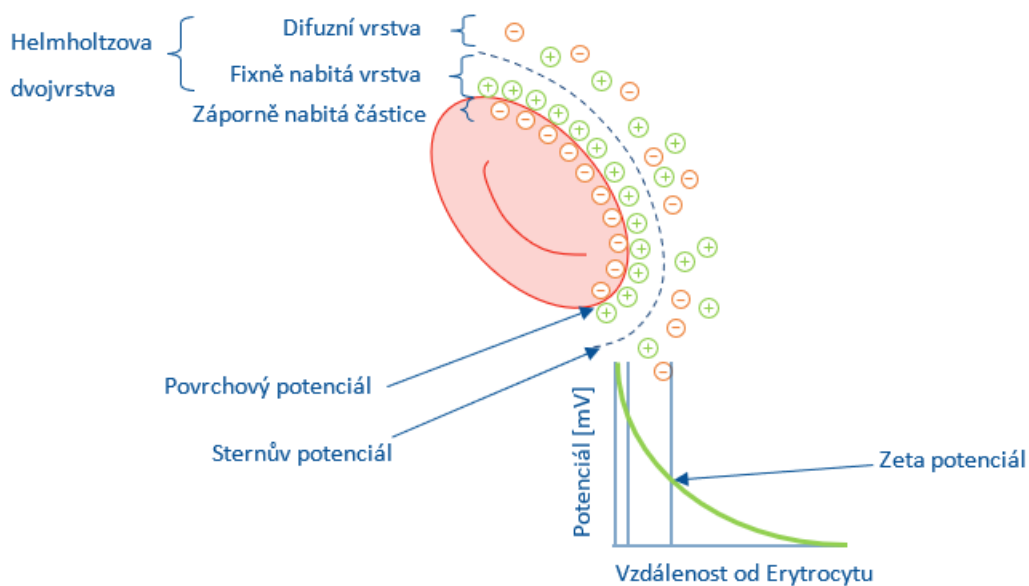
Tabulka 10-1 Ilustrace nárůstu indexu kontrakční mohutnosti ve spojení s přítomností určité srdeční vady (<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.CIR.46.3.559>).

Hodnota indexu PEP/LVET	Abnormalita
0,379	Žádná
0,414	Přetížení pravého srdce (mitrální stenóza, nekomplikovaný defekt síňového septa)
0,460	Kompenzované postižení levé komory (postižení aortální chlopně, kardiomyopatie)
0,513	Dekompenzované postižení levé komory (postižení aortální chlopně, kardiomyopatie)

11 SEDIMENTACE ČERVENÝCH KRVINEK (SUSPENZNÍ STABILITA KRVE)

11.1 Poznámky ke cvičení

Sedimentace je základní nescifická diagnostická metoda používaná v lékařství. Metoda je založena na měnícím se chování erytrocytů v různých fyziologických a patologických podmínkách. Základní vlastností erytrocytů, o kterou se metoda sedimentace opírá, je přítomnost tzv. Helmholtzovy elektrické dvojvrstvy, která se okolo erytrocytů nachází.



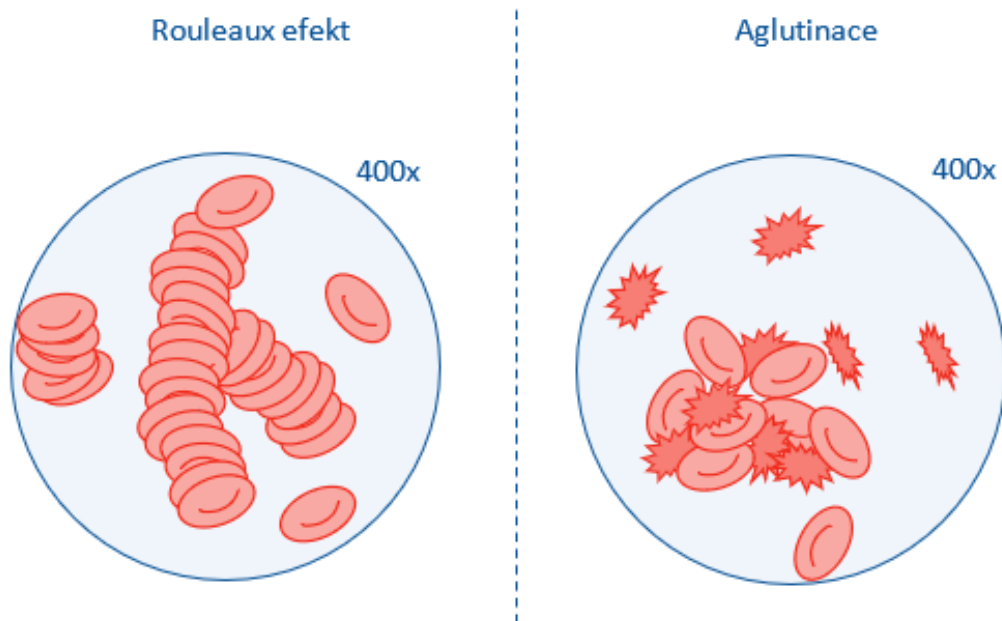
Obrázek 11-1 Schéma Helmholtzovy dvojvrstvy okolo erytrocytu.

Komentář: Dvojvrstva zajišťuje, že se erytrocyty na určitou vzdálenost odpuzují, toto udržuje stabilitu erytrocytů v suspenzi. Tato vzdálenost (a tím udržení stability) je dána Zeta potenciálem. Snížený Zeta potenciál vede k nižší suspenzní stabilitě (a rychlejší sedimentaci).

Helmholtzova dvojvrstva se nachází na vnějším povrchu membrány erytrocytů. Je tvořena vrstvou kladně nabitých částic (převážně Na^+ iontů) vně erytrocytů a difuzní vrstvou, kde se mísí kladné i záporné ionty (Obrázek 11-1). Erytrocyty se díky svému „elektrickému obalu“ vzájemně odpuzují a zabezpečují tak, že i neproudící nesrážlivá krev po jistou dobu setrvává jako suspenze krevních elementů v plazmě (suspenzní stabilita). Suspenzní stabilita je mimo jiné určena tzv. Zeta potenciálem, který určuje hranici difuzní vrstvy a okolní kapaliny. Čím je Zeta potenciál nižší, tím je suspenzní stabilita nižší (neexistuje síla, která by bránila erytrocytům, aby se shlukovaly).

Narušení dvojvrstvy může být dáno už jenom tím, že dojde ke snížení Zeta potenciálu, který vede ke zvětšení prostoru mezi erytrocyty a tím dovolí vniknutí např. protilátek typu IgG (které jsou negativně nabity) do tohoto prostoru.

Snížená suspenzní stabilita je přirozeně v neproudící kapalině. V případě sedimentačního testu dojde u plné nesrážlivé krve vždy k sedimentaci. Erytrocyty vytvářejí tzv. rouleaux (čti [Ruló]) tj. penízky, které jsou těžší (větší povrch a objem) než samostatné erytrocyty a rychleji sedimentují (Obrázek 11-2).



Obrázek 11-2 Mikroskopicky zvětšená ilustrace rozdílu mezi Rouleaux efektem a aglutinací.

Komentář: Rouleaux efekt způsobuje agregaci erytrocytů k sobě (vizuálně vypadající jako penízky naskládané na sebe). Erytrocyty ztrácejí svojí funkci a částečně i tvar. Efekt je ale pouze dočasný a je závislý zejména na vnějších podmínkách (rychlost proudění krve, množství bílkovin v plazmě atd.). Situace je způsobena narušením Helmholtzovy dvojvrstvy, která udržuje suspenzní stabilitu krve.

Aglutinace je způsobena zpravidla reakcí antigen-protilátka vedoucí zcela k narušení membrány erytrocytů s následkem jejich postupné destrukce. Jsou tak tvořeny shluky, které ovšem mají charakter nepravidelných „žmolků“.

Tabulka 11-1 Popis rozdílů mezi aglutinací a Rouleaux efektem

Typ	Popis	Následek	Spojení s patologií
Rouleaux efekt	= penízkovatění erytrocytů – shlukování do válečkových agregátů z důvodu narušení Helmholtzovy dvojvrstvy. Vratný děj Fyziologicky se vyskytuje v místech se sníženou rychlostí proudění – periferie	Snížená funkce přenosů dýchacích plynů Omezená hybnost erytrocytů	Patologicky spojeno se zvýšenou koncentrací fibrinogenu, albuminů, nebo gama-globulinů u mnohočetného myelomu, chronických zánětů. Fyziologická výjimka – těhotenství
Agglutinace	= nepravidelné shlukování (bodlákový shluk) Nevratný děj Nelze rozeznat jednotlivé erytrocyty	Přerušená funkce přenosů dýchacích plynů Destrukce erytrocytů Omezená hybnost erytrocytů	Zpravidla reakce antigen-protilátka Chladová reakce – IgM

Sedimentace je ale ovlivněna i jinými faktory. Významně se na rychlosti sedimentace podílí plazmatické bílkoviny. Fibrinogen, plazmatický protein tvořený v játrech při akutních zánětlivých procesech, narušuje dvojvrstvu erytrocytů a zrychluje tak sedimentaci. Albumin (negativně nabitý plazmatický protein) naopak, přispívá k suspenzní stabilitě krve, tedy sedimentaci zpomaluje. Pokud nahradíme plazmu fyziologickým roztokem (bez plazmatických bílkovin), bude sedimentace pomalejší. V neposlední řadě je faktorem ovlivňujícím rychlost sedimentace i samotný počet a tvar erytrocytů – větší počet erytrocytů zvyšuje suspenzní stabilitu, protože dochází k zvýšené interakci jednotlivých erytrocytů (novorozenci: vysoký počet erytrocytů – nízká hodnota sedimentace). Pozměněný tvar erytrocytů může napomoci ke zhoršenému kontaktu při penízkovatění. Při srpkovité anémii bude sedimentace zpomalená z důvodu tvaru erytrocytů, který nedovoluje snadný kontakt erytrocytů mezi sebou (Tabulka 11-2).

Tabulka 11-2 Některé příčiny zvýšené a snížené sedimentace (FW).

Zvýšená FW:	Snížená FW:
Relativní / absolutní ztráta albuminu (nefrotický syndrom)	Nepravidelný tvar erytrocytů – sférocytóza
Makrocytémie	Polycythaemia vera
Infekce	Leukocytóza

Nádory (mnohočetný myelom)	Dysproteinémie – hypofibrinogénémie, hypogamaglobulinémie
Záněty	Dehydratace
Nekróza tkání (infarkt, trauma)	

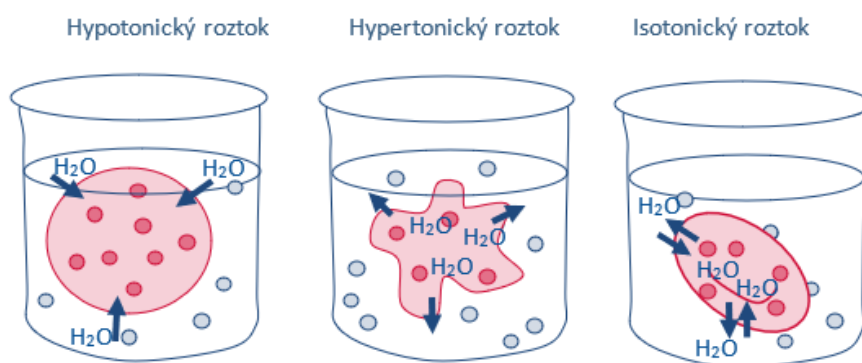
12 OSMOTICKÁ REZISTENCE ERYTROCYTŮ

12.1 Poznámky ke cvičení

Tonicita roztoku

Určení osmotické rezistence neboli schopnosti erytrocytů udržet si svoji vnitřní integritu vůči vnějšímu prostředí (roztoku, ve kterém se vyskytují) je základní laboratorní diagnostickou metodou určující zejména vitalitu erytrocytů. Metody hodnocení mohou být jak vizuální, tak fotometrické. Nicméně, počáteční podmínky pro vyšetření jsou vždy stejné. Pro provedení analýzy je nutné mít nesrážlivou krev a hypotonické prostředí, ve kterém se bude odolnost erytrocytů testovat. Takovým prostředím je zpravidla roztok chloridu sodného o různé koncentraci. Postupným srovnáváním chování erytrocytů v daném prostředí lze nepřímo usuzovat na některé patologické procesy (např. hemolytická anémie). Sleduje se tzv. minimální a maximální osmotická rezistence. Obě hodnoty určují koncentraci hypotonického roztoku, při které dochází k rozpadu erytrocytů vlivem osmózy (Obrázek 12-1). Erytrocyty mají za normálních okolností jistou schopnost odolávat vnějším vlivům. Míjíme tím nejen prostředí hypotonických roztoků, ale také působení různých chemických nebo mechanických činitelů.

Za patologických stavů nebo při změně fyziologických podmínek erytrocyty tuto schopnost odolávat vnějším vlivům ztrácejí. V hypotonickém prostředí přijímají erytrocyty vodu z vnějšího prostředí. Po dosažení kritického objemu dojde k narušení buněčné membrány a k uvolnění hemoglobinu do extracelulárního prostředí.

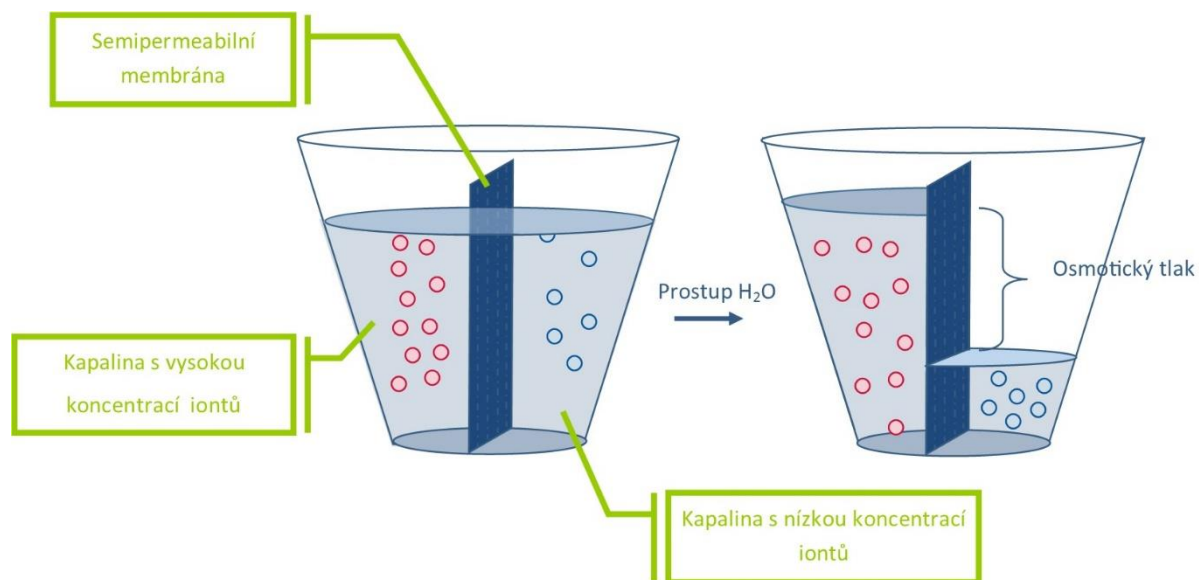


Obrázek 12-1 Osmotická rezistence buněk.

Komentář: Vlevo – Buňka v prostředí o nižší koncentraci iontů než je v jejím vnitřním prostředí. Buňka bude nasávat tekutinu tak, aby se vyrovnal osmotický gradient. Přes membránu prochází pouze voda, která bude proudit do buňky tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání koncentrací obou prostředí nebo dokud buňka nepraskne (hemolýza). Uprostřed – Buňka se nachází v prostředí s vyšší koncentrací iontů než je v jejím vnitřním prostředí. Osmotickým tlakem bude docházet k úbytku vody z buňky. Vpravo – v izotonickém prostředí bude docházet k vyrovnanému proudění vody přes buněčnou membránu.

Osmóza

Osmóza je děj, při kterém dochází k pasivnímu přestupu rozpouštědla (např. vody) přes polopropustnou (semipermeabilní) membránu z prostředí o nižší koncentraci do prostředí o vyšší koncentraci rozpuštěné látky (Obrázek 12-2).



Obrázek 12-2 Princip osmózy.

Komentář: Princip osmózy je založen na pasivním transportu rozpouštědla přes polopropustnou membránu. Velikost osmózy je dána rozdílem osmotických tlaků na obou stranách membrány. K přechodu rozpouštědla dochází z místa s nižší koncentrací iontů do místa s vyšší koncentrací iontů. Výsledkem je tak naředění roztoku a vyrovnání koncentrací.

Polopropustná membrána je v tomto případě propustná pro rozpouštědlo a méně propustná nebo nepropustná pro rozpuštěné látky. Podle tonicity roztoku, ve kterém se erythrocyty nacházejí, dochází tedy ke zvyšování nebo snižování obsahu vody v nich.

Osmotická rezistence a osmotická rezistentní síře

Test osmotické rezistence se používá k určení stavu hemolýzy ve vztahu ke kontrolnímu vzorku. U nemocí jako hereditární sférocytóza (dědičné onemocnění vedoucí ke změně tvaru erythrocytů), mají erythrocyty menší poměr povrchu k objemu (ztráta bikonkávního tvaru) a jsou tak méně odolné vůči osmotickému stresu. Naopak, při talasémii nebo sideropenické anémii bude situace opačná. Vlivem většího poměru povrchu k objemu bude osmotická rezistence erythrocytů vyšší.

Tabulka 12-1 Tabulka pojmů a fyziologických hodnot pro stanovení osmotické rezistence erytrocytů.

Pojem	Výklad	Koncentrace NaCl, při které děj nastává
Minimální osmotická rezistence	udává koncentraci hypotonického roztoku NaCl, při které dochází k hemolýze prvních erytrocytů – nad sedimentem pozorujeme růžové zakalení, zanikají ty nejméně odolné buňky	0,4-0,44 %
Maximální osmotická rezistence	udává koncentraci hypotonického roztoku NaCl, při které ještě nedochází k úplné hemolýze erytrocytů – poslední zkumavka obsahuje sedimentované erytrocyty, ty nejvíce odolné	0,3-0,34 %
Osmotická rezistenční šíře	Rozmezí hodnot mezi min. a max. osmotickou rezistencí	0,4-0,44 – 0,3-0,34 %

13 STANOVENÍ POČTU ERYTROCYTŮ

13.1 Poznámky ke cvičení

Červené krvinky (erytrocyty) jsou buňky vznikající v kostní dřeni a kolující v krevním oběhu za účelem transportu molekul dýchacích plynů. Jejich počet se u mužů pohybuje v rozmezí přibližně 4,3 - 5,7 milionů/mm³, u žen pak 3,8 - 4,9 milionů/mm³. Snížený počet erytrocytů může poukazovat na různé patologie, např. anémii, útlum kostní dřene atd.

Erytrocyty (a buňky obecně) lze počítat různými postupy. Nepřímé metody se využívají k určení počtu buněk měřením jejich fyzikálních charakteristik, které na počtu buněk závisí – například impedanční nebo optickou metodou. V biochemických laboratořích se ovšem za jistých okolností stále používá i přímá metoda počítání erytrocytů pod mikroskopem za pomoci počítacích komůrek (Bürkerova, Thomanova, Neunauerova aj.).

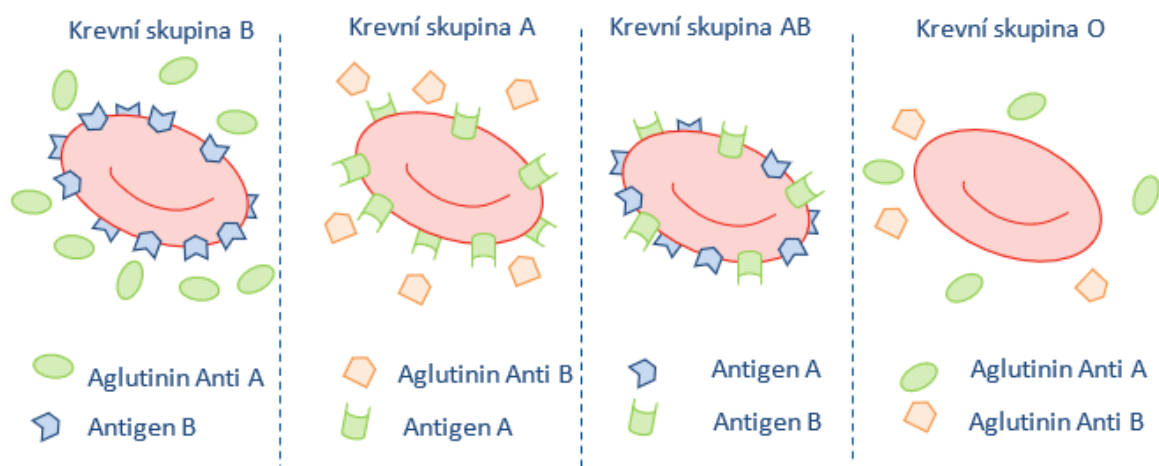
14 URČENÍ KREVNÍ SKUPINY SKLÍČKOVOU METODOU

14.1 Poznámky ke cvičení

Krevní skupiny

Určení krevní skupiny skličkovou metodou patří mezi základní vyšetřovací metody zcela zásadní v oblasti transfuzní medicíny. Erythrocyty na svém povrchu nesou různé antigeny (aglutinogeny), podle kterých je dělíme do různých krevních skupin. Známých krevních skupin existuje přes 50, nicméně v klinické praxi jsou nejvýznamnější, a tedy i nejvyšetřovanější, krevní skupiny systému ABO a Rh faktor.

Pro určení krevní skupiny je potřeba sada sér obsahujících protilátky daného krevního systému (aglutininy), ke kterým je přidána vyšetřovaná krev.



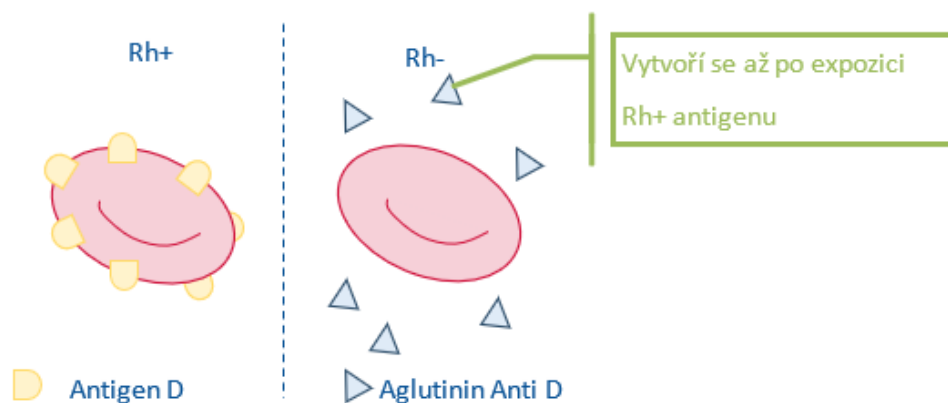
Obrázek 14-1 Rozdělení krevních skupin podle systému ABO.

Komentář: Antigeny jsou pevnou součástí erythrocytů a definují typ krevní skupiny. Aglutininy jsou protilátky, které se tvoří v prvních měsících po narození a jsou aktivní proti antigenům jiné krevní skupiny. Tyto protilátky se nacházejí v krevní plazmě.

Zásadní vlastností, která způsobuje nekompatibilitu jednotlivých krevních skupin, je přítomnost antigenů na povrchu erythrocytů (aglutinogenů) a protilátek (aglutininů) v plazmě. Antigeny definují krevní skupinu – krevní skupina A má vždy erythrocyty s antigeny typu A, krevní skupina B antigeny typu B, krevní skupina AB oba typy antigenů a krevní skupina O nemá žádné antigeny. Vlastnosti plazmy dané krevní skupiny jsou přesně opačné. Protilátky, které se vytváří k dané krevní skupině, jsou reaktivní pouze s antigeny, které se v krvi daného jedince nenacházejí (jinak by docházelo k reakci s vlastními erythrocyty). Člověku s krevní skupinou A kolují v plazmě protilátky (aglutininy) typu anti B, člověku s krevní skupinou B kolují aglutininy typu anti A, člověk s krevní skupinou AB nemá žádné aglutininy a člověk s krevní skupinou O má oba typy

aglutininů. Z této skutečnosti vychází i test sklíčkovou metodou (Obrázek 14-4). Pokud jsme schopni izolovat jednotlivé aglutininy (ve formě připravených sér) a necháme je reagovat s neznámými vzorky krve, bude se každý vzorek chovat zcela unikátně (a tím nám umožní určit krevní skupinu).

Kromě ABO systému se vždy testuje krev i na Rh faktor, který je nutné sledovat obzvláště u evropské populace. Zastoupení Rh negativních jedinců v evropské populaci je vyšší (5-10 %) než na jiných kontinentech. Rh faktor je definován přítomností či absencí antigenu D na membráně erytrocytu. Rh pozitivní jedinci mají antigen D přítomný na membráně erytrocytů, zatímco u Rh negativních jedinců antigen D na erytrocytech přítomný není. Na rozdíl od systému ABO, Rh negativní jedinci se s protilátkami proti antigenu D nerodí. K tvorbě protilátek dochází až po setkání imunitního systému s erytrocyty Rh pozitivního pacienta (při nesprávné krevní transfuzi či při porodu během nějž běžně dochází k částečnému míšení krve plodu a matky). Protilátky patří do skupiny IgG, mají možnost procházet placentou, na rozdíl od ABO systému, kde se tvoří protilátky typu IgM, které nejsou schopné procházet placentou. Tato vlastnost protilátek proti Rh faktoru je esenciální u Rh negativních matek (recesivní homozygot). V případě početí dítěte s Rh pozitivním mužem (z hlediska dědičnosti je přítomnost antigenu D dominantní) dochází v průběhu porodu k míšení krve a následně k tvorbě protilátek proti Rh faktoru (IgG) v imunitním systému matky. Při druhém početí s Rh pozitivním mužem dochází k prostupu IgG protilátek přes placentu a ty se vážou s erytrocyty obsahujícími antigen D v systémové cirkulaci plodu (pokud i plod je opět Rh+). Tento stav vede k hemolýze erytrocytů s rozvojem těžké anémie plodu a při absenci léčby může vést až k jeho úmrtí. Toto onemocnění nazýváme fetální erythroblastóza. Prevencí vzniku fetální erythroblastózy je podávání séra obsahujícího anti-Rh protilátky matce ihned po porodu Rh pozitivního dítěte. Důvodem je zabránění imunitnímu systému matky tvořit tyto protilátky.



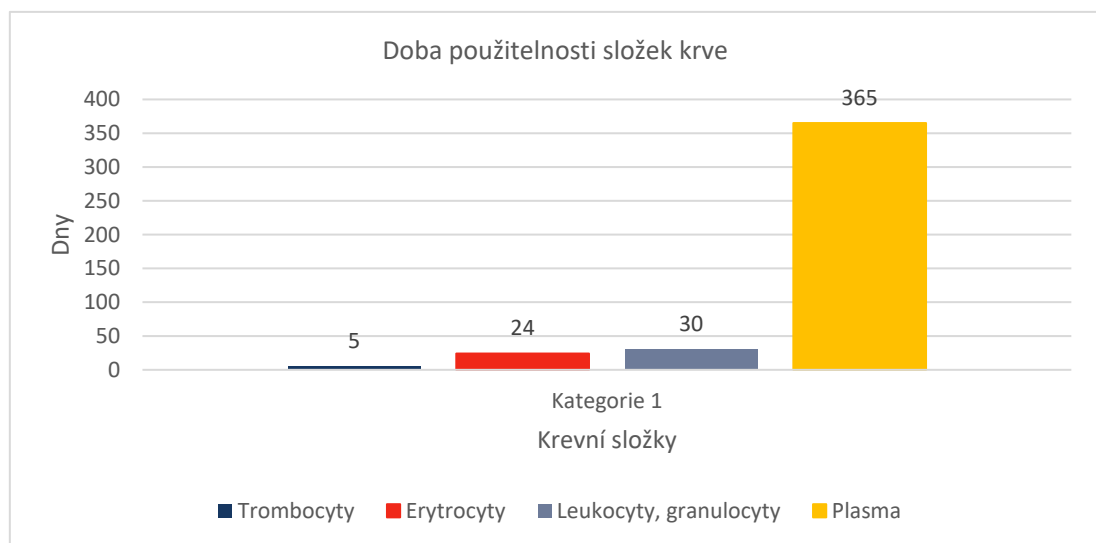
Obrázek 14-2 Rh factor.

Komentář: Rh faktor je založen na podobném systému jako ABO. Pokud jedinec má na erytrocytech přítomen antigen D označuje se jako Rh+. Jedná se o klasicky Mendelovskou dědičnost příslušného jedince. Zdravotním problémem je tvorba protilátek proti Rh+ erytrocytům v okamžiku expozice (smísení) krve jedince Rh- s jedincem Rh+ (např.: matka Rh- a Rh+ plod po otci).

Krevní transfuze

Běžně se pro potřeby krevní transfuze nepodává plná krev, ale jenom jednotlivé komponenty podle potřeby. Důvodů je poměrně mnoho:

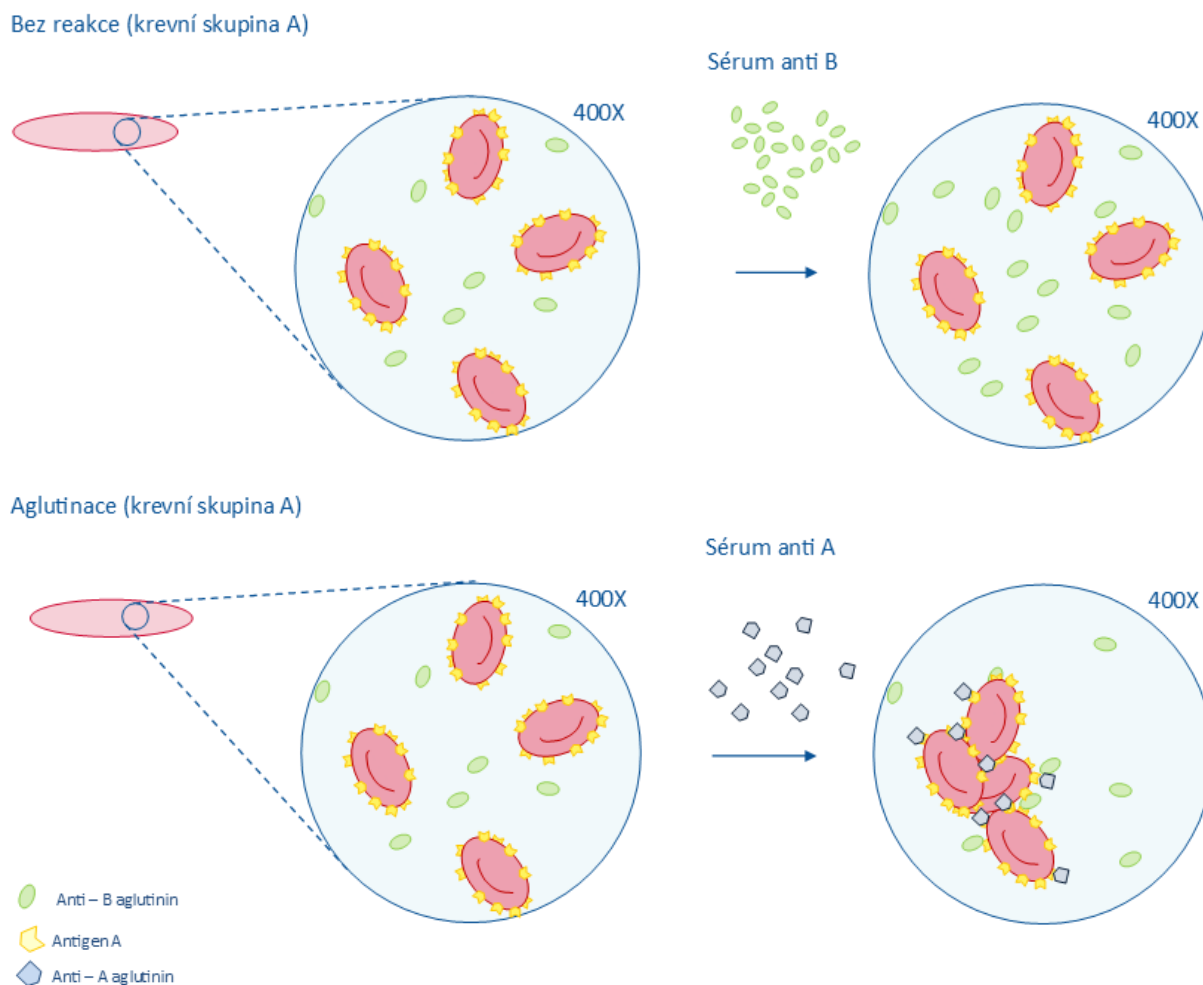
- 1) Jednotlivé krevní komponenty mají různou dobu použitelnosti – erytrocyty 42 dní, plazma 1 rok, trombocyty 5 dní, leukocyty 24–30 dní (Obrázek 14-3).
- 2) Potřebnost a využití jednotlivých komponent krve je různá. Zatímco trombocyty a bílé krevní elementy se odebírají pro konkrétní pacienty, plazma a erytrocyty se kromě přímé spotřeby v podobě transfuzí používají také pro výrobu léčiv.
- 3) V neposlední řadě je pro darujícího metabolicky náročnější darovat plnou krev než plazmu. Tomu jsou také upravena pravidla pro darování krve. Plnou krev je možné darovat 3 až 5krát ročně, naproti tomu plazmu až 30krát.
- 4) Kompatibilita krví. Kromě základních protilátek systému ABO se v krvi vyskytují i jiné obranné mechanismy. Naprosto stejný typ krevní skupiny ochraňuje pacienta před nepřiměřenou imunitní reakcí (případ univerzálního dárce a univerzálního jedince, který je brán v úvahu pouze na základě reakce antigen - protilátka).



Obrázek 14-3 Průměrná doba použitelnosti jednotlivých složek krve ve zdravotnictví.

Mechanismus aglutinace

Reakce, která je způsobena setkáním antigenů a jejich protilátek, vede k tzv. aglutinaci. Aglutinace je jev, který způsobuje nevratný a život ohrožující shluk erytrocytů.



Obrázek 14-4 Demonstrace reakcí krevní skupiny s protilátkami různého typu v lidském organismu (in vivo).
Komentář: Nahoře – Antigeny typu A (oranžové) v přítomnosti aglutininů typu anti B (zelené) nereagují. Po přidání séra s protilátkami typu anti A do plné krve (dole) dochází k reakci anti A protilátek s antigeny typu A na povrchu erytrocytů v podobě aglutinace.

Protilátky působící na erytrocyty fungují jako jakési „lepidlo“, které spojuje volně plovoucí erytrocyty k sobě – aglutinace. V lidském organismu (in vivo) navázané protilátky vedou k aktivaci komplementového systému, která kaskádovitou reakcí a aktivací postupně vede k destrukci erytrocytů (hemolýza). Zároveň dochází k fagocytóze erytrocytů s navázanými protilátkami buňkami imunitního systému, především monocyty a makrofágy, což vede k ztrátě hlavní funkce erytrocytů – transport dýchacích plynů.

Dědičnost krevních skupin

Krevní skupina každého člověka je určena jedním genem. Tento gen může mít tři různé formy, tzv. alely. Krevní skupina A je kódována alelou A, krevní skupina B alelou B a krevní skupina 0 alelou i. Jelikož dědíme geny po obou rodičích, každý člověk si tak nese gen pro krevní skupinu ve formě 2 alel (1 alela od otce, 1 alela od matky). Vztahy mezi alelami jsou následující – alela A a B jsou navzájem kodominantní. Znamená

to, že se projeví obě současně. Potomek rodičů, ze kterých jeden je nositelem alely A a druhý alely B, má tedy ve výsledku krevní skupinu AB. Alela i je, naopak, vůči alelám A a B recesivní.

Tabulka 14-1 Tabulka dědičnosti krevní skupiny dvou rodičů s genotypem AB a následné 4 možnosti genotypu jejich potomka (dítě bude mít krevní skupinu A, B nebo AB v závislosti na dané kombinaci alel).

Otec / matka	A	B
A	AA	AB
B	BA	BB

To znamená, že se v jejich přítomnosti neprojeví (ani genotyp A_i , ani B_i se neprojeví jako skupina 0). Krevní skupinu 0 mají pouze jedinci vlastní genotyp i_i . Krevní skupina A se projeví, pokud má člověk genotyp AA nebo A_i , skupina B v případě genotypu BB nebo B_i . Z tohoto vyplývá, že pokud mají oba rodiče krevní skupinu 0 (genotyp i_i), nemůže vzájemným křížením vzniknout jiná kombinace alel než opět jenom i_i (dítě má krevní skupinu 0). Naopak, pokud mají oba rodiče krevní skupinu AB je prakticky vyloučeno, aby měl potomek krevní skupinu 0 (Tabulka 14-1).

15 STANOVENÍ KONCENTRACE HEMOGLOBINU

15.1 Poznámky ke cvičení

Červené krevní barvivo (hemoglobin) je nejdůležitější součástí erytrocytů. Jeho hlavní funkcí je schopnost vázat krevní plyny, především kyslík a oxid uhličitý. Molekula hemoglobinu se skládá ze 4 podjednotek, z nichž každá je tvořena bílkovinnou (globin) a nebílkovinnou (hem) částí. Molekuly dýchacích plynů se navazují na atomy železa Fe^{2+} centrálně uložené v hemu (1 molekula hemoglobinu je schopna vázat současně 4 molekuly plynu). V závislosti na konkrétní molekule vázané na hemoglobin rozlišujeme několik jeho derivátů:

1. **Oxyhemoglobin** – na 1 molekulu hemoglobinu jsou navázány 4 molekuly kyslíku O_2 (oxygenace hemoglobinu; barva je jasně červená). Navázání první molekuly zvyšuje rychlost navazování dalších (alosterický efekt). Tato vazba je reverzibilní a za určitých podmínek se vazba kyslíku na hemoglobin uvolní (nárůst parciálního tlaku oxidu uhličitého, snížení pH aj.). Po uvolnění kyslíku hovoříme o deoxyhemoglobinu.
2. **Karbaminohemoglobin** – na 1 molekulu hemoglobinu jsou navázány 4 molekuly oxidu uhličitého CO_2 . Tato vazba současně snižuje afinitu hemoglobinu ke kyslíku (barva je tmavě červená).
3. **Karbonylhemoglobin** – vazebná místa jsou obsazena molekulami oxidu uhelnatého CO. Tato vazba je přibližně 250 až 300krát silnější než vazba pro kyslík, krev ztrácí svoji transportní schopnost a v organismu se postupně rozvíjí hypoxie. U obyvatel měst tvoří karbonylhemoglobin přibližně 2 % celkového hemoglobinu, u silných kuřáků i 10 %. Několikaminutový pobyt v prostředí, kde vzduch obsahuje 0,1 % CO, může zvýšit zastoupení karbonylhemoglobinu až na 50 %. Příznaky různé míry otravy oxidem uhelnatým sumarizuje Tabulka 15-1.

Tabulka 15-1 Příznaky otravy oxidem uhelnatým.

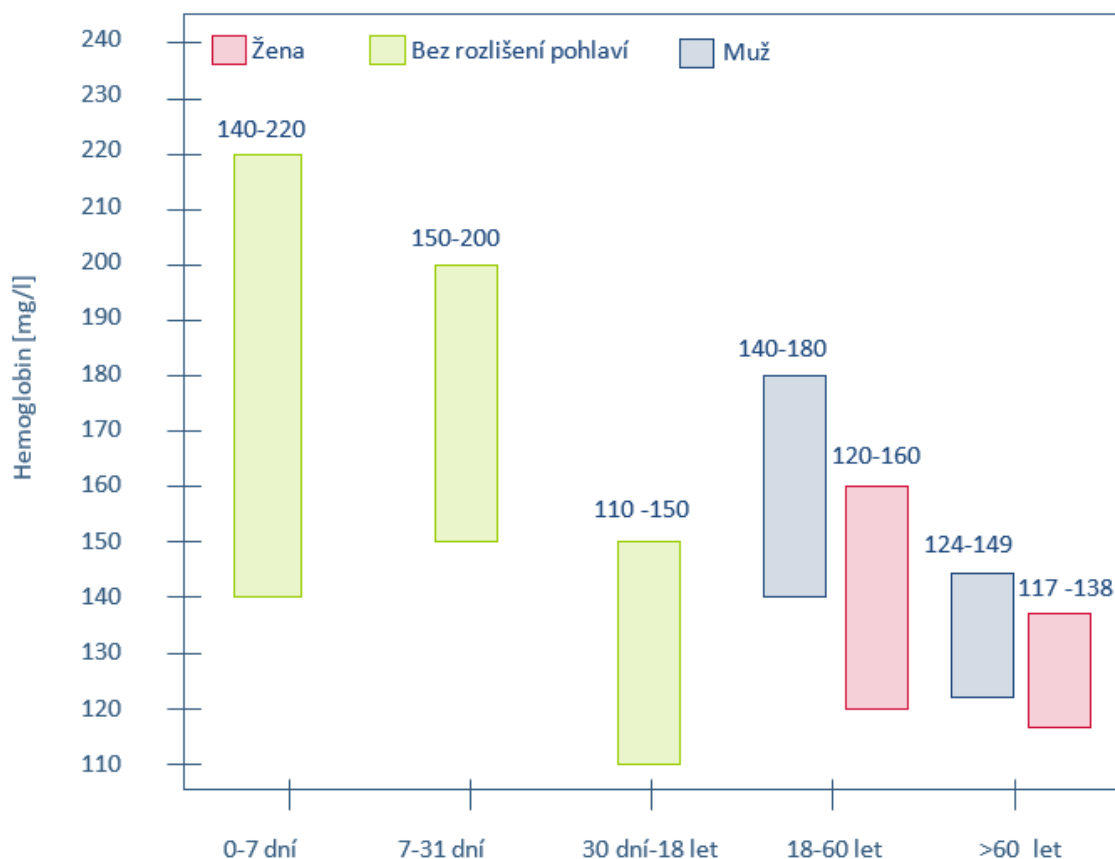
Hodnota karbonylhemoglobinu [%]	Příznaky
10	dušnost při větší námaze
20–40	klidová dušnost, únava, zvracení, bolest hlavy
40–60	hyperventilace, tachykardie, synkopa, křeče
60–80	kóma, smrt

4. **Methemoglobin** (hemoglobin) – dochází k patologické oxidaci dvoumocného železa Fe^{2+} na trojmocné Fe^{3+} . Takto pozměněný hemoglobin ztrácí schopnost reverzibilně vázat kyslík (barva je čokoládově hnědá). Vzniká otravou některými látkami (anilín, nitrobenzen), případně zvýšeným obsahem

dusičnanů a dusitanů v potravinách a vodě. Na zvýšený obsah těchto látek jsou zvláště citliví novorozenci (zvýšený podíl fetálního hemoglobinu, který se snáze oxiduje) a děti do jednoho roku (menší množství reductázy ve srovnání s dospělými), proto je v kojeneckých vodách jejich obsah snížen na minimum.

Normální hodnoty obsahu hemoglobinu v krvi sumarizuje Graf 15-1:

Graf 15-1 Fyziologické hodnoty koncentrace hemoglobinu v krvi v závislosti na pohlaví (Zdroj: Centrální laboratoře Nemocnice Na Bulovce, WHO).



Abnormální hodnoty hemoglobinu

Snížení koncentrace hemoglobinu popisujeme jako anémii (chudokrevnost). Příčiny anémie můžou být různé: ztráta erytrocytů (krvácení, hemolýza) nebo jejich snížená tvorba (nedostatek železa – sideropenická anémie; nedostatek vitamínu B₁₂ a kyseliny listové – perniciózní anémie). Soubor symptomů provázejících anémii je podobný jako u otravy oxidem uhelnatým:

- Bledost
- Snížení tělesné výkonnosti, únava
- Dušnost

- Tachykardie

Zvýšená koncentrace hemoglobinu může poukázat na dehydrataci nebo přítomnost polycytémie.

Při současné znalosti celkové hmotnostní koncentrace hemoglobinu a počtu erytrocytů v daném vzorku lze jednoduše stanovit průměrnou hmotnost hemoglobinu v jedné červené krvince (MCH – *mean corpuscular hemoglobin*) jako:

$$MCH = \frac{\text{hmotnostní koncentrace Hb}}{\text{počet krvinek v 1 litru}} \quad (1)$$

za fyziologickou hodnotou je považováno rozmezí 27–33 pikogramů.

Stanovení koncentrace hemoglobinu pomocí spektrofotometrie

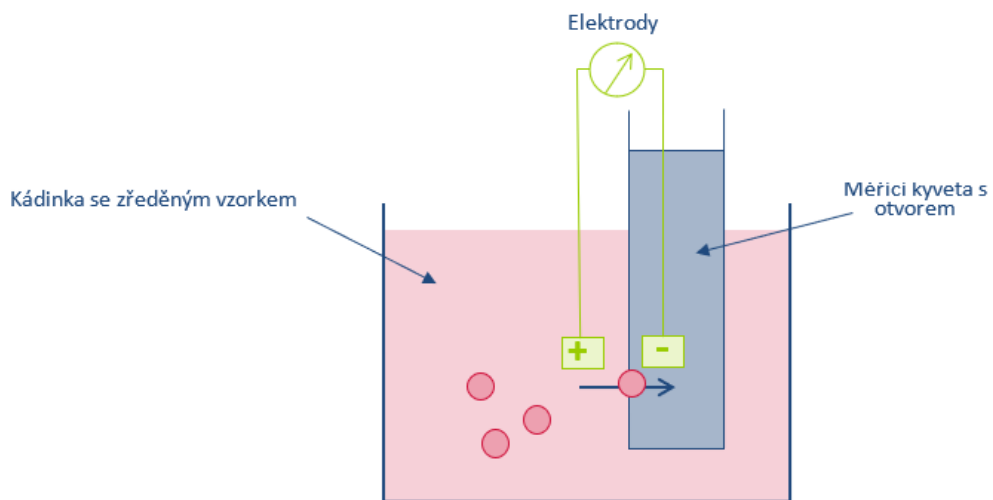
Spektrofotometrie je biochemická analýza založená na měření absorpce světla konkrétní vlnové délky zkoumaným roztokem. Při vyšetření hemoglobinu se využívají jeho fyzikální a chemické vlastnosti, zejména barevné změny jeho derivátů. Přidáním transformačního roztoku do vzorku krve dochází k oxidaci železa v molekule hemu (vznik hemoglobinu) a zároveň jeho přeměně na stabilní hemoglobinokyanid. Tato sloučenina má absorpční maximum okolo 540 nm (červenohnědá barva) a její koncentrace bude přímo úměrná její absorpenci podle vzorce:

$$c_H = \frac{A_{vz}}{A_{st}} \cdot c_{st} \quad (2)$$

kde c_H je koncentrace hemoglobinu ve vzorku; A_{vz} je absorbance vzorku; A_{st} je absorbance standardu (destilovaná voda) a c_{st} je koncentrace standardu. Při správném přednastavení přístroje *Spekol 11* je na výstupu již výsledná koncentrace analyzované látky v jednotkách mmol/l.

Stanovení koncentrace hemoglobinu pomocí impedanční cytometrie

Průtoková cytometrie je technika klinicky i výzkumně sloužící k měření počtu a velikosti částic v roztoku. Principem impedanční metody je detekce změn vodivosti. Krev má sama o sobě i přes přítomnost železnatých kationtů velmi nízkou elektrickou vodivost. Z tohoto důvodu je vzorek krve naředěn roztokem (diluentem), kterého vodivost je vysoká (roztoky sodných solí EDTA). Samotný přístroj se skládá z měřicí kyvety, v jejíž stěně se nachází malý otvor (průměr asi 100 μm). Kyveta je ponořena do kádinky s naředěným roztokem, který analyzujeme. Vně (+) a uvnitř (-) měřicí kyvety v blízkosti otvoru se nachází elektrody (Obrázek 15-1). V takto vytvořené aparatuře je mezi elektrodami vodivost odpovídající vodivosti diluentu. Při průchodu nevodivého erytrocytu aperturou se vodivost naruší a vzniká impedanční impulz (odpor). Četnost impulzů pak odpovídá počtu buněk a jejich amplituda velikosti erytrocytů.



Obrázek 15-1 Schematické znázornění měřící aparatury při impedanční cytometrii.

16 TĚLESNÁ KOMPOZICE – ANTROPOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ

16.1 Poznámky ke cvičení

Hodnocení kompozice lidského těla patří k důležitým diagnostickým i terapeutickým metodám. V diagnostice lze určením procentuálního zastoupení jednotlivých složek těla zjistit tělesné dysbalance, které nejsou patrné na první pohled a odhalit skryté nutriční nedostatky (metabolicky zdravý pacient s nadváhou; metabolicky nemocný, ale hubený pacient). Slouží také jako kontrolní měření pro nastavení a hodnocení postupu rehabilitační terapie v různých oborech (např. při kardiorehabilitaci pacientů po infarktu myokardu).

Přístrojová měření

Přístupy pro měření tělesné kompozice mohou zahrnovat jednoduché indexy použitelné pro rychlý screening, nicméně nejpřesnějším zlatým standardem je měření pomocí DEXA (duální rentgenová absorpciometrie). Tato metoda využívá slabého rentgenového záření a měří jeho absorpci skeletem, tukovou i svalovou tkání. Používá se také jako srovnávací metoda pro další přístroje. Její nevýhodou je využívání ionizujícího záření, jehož použití není úplně typické pro hodnocení tělesné kompozice, ale spíše pro posouzení míry osteoporózy (kostní denzity).

Mezi další velice přesné metody měření patří celotělová bioimpedance (BIA) využívající slabého elektrického proudu, který prochází tělem. Elektrody přilepené na končetinách a trupu následně měří odpor, který jednotlivé tkáně kladou tomuto proudu. Z pohledu diagnostiky je bioimpedance tkáně velice důležitým parametrem, který poskytuje možnost oddělit viscerální tuk od tuku periferního.

Kompozice těla

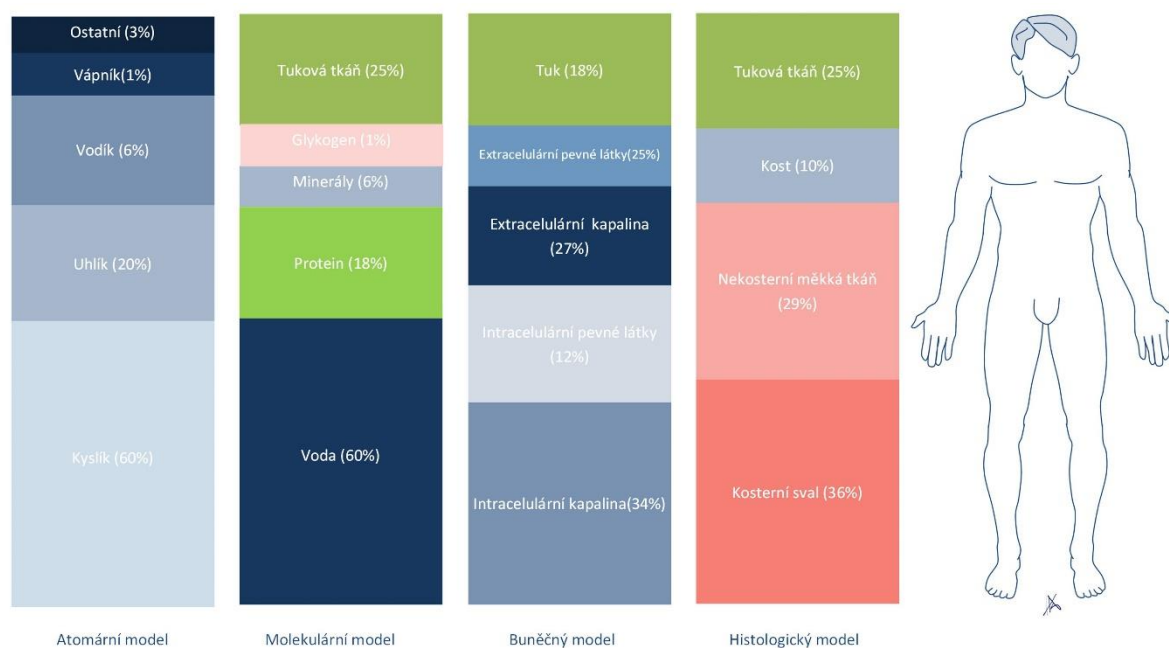
Dle Wangova modelu lze tělo rozložit na jednotlivé části (kompartmenty popsané v Tabulka 16-1). Kompartmentové skupiny reprezentují celé tělo z různých pohledů od nejjednoduššího rozdělení (tuková hmota/ beztuková hmota) po složité rozdělení těla na základě vlastností buněk či molekul. Jednotlivé modely se navzájem doplňují, a proto se měřicí techniky snaží kombinovat více kompartmentových modelů dohromady. Pomyslným ideálem je spojení všech modelů.

Tabulka 16-1 Rozdělení kompartmentových modelů podle možných měřených parametrů tkáně.

Zdroj Measurement + Control Vol 45/6 July 2012.

Kompartimentový model	Komponenty, které měří	Přístroje
I – atomární	Anatomické kompozice jednotlivých orgánů	CT, MRI
II – molekulární	Kosti, minerály, proteiny, extracelulární a intracelulární voda	DEXA, vícefrekvenční BIA
III – buněčný	Kosti, minerály, tuková hmota, beztuková hmota	DEXA, vícefrekvenční BIA
IV – histologický	Tuková hmota/ beztuková hmota	Měření kaliperem, jednofrekvenční BIA
V – celkový	Hmotnost	Váha

Atomární model informuje o složení těla na elementární úrovni – zastoupení prvků jako je kyslík (60%), uhlík (20%), vodík (15%), vápník a dusík (každý po 1%). Molekulární nebo chemický model podává informace o množství vody (60%), lipidů (15%), bílkovin (18%), glykogenu (1%) a minerálů (6%). Třetí buněčný model se týká buněčné hmoty, extracelulárních tekutin, extracelulárních pevných látek a tuku. Čtvrtý model označovaný jako histologický nebo tkáňový zahrnuje prvky jako je kosterní sval, neskeletální sval, vazivová tkáň, chrupavka, tuková tkáň a kost. Poslední pátý model charakterizuje celkové složení těla (Obrázek 16-1).



Obrázek 16-1 Kompartimentový model těla.

Antropometrická měření

Antropometrická měření jsou nejdostupnější diagnostickou technikou k hodnocení lidského těla. Mezi nej přesnější nepřístrojové metody, které se využívají k hodnocení stavu těla, patří měření kožních řas. Toto měření určuje tukovou tkáň v poměru ke tkáni netukové. Další využívanou metodou je měření poměru obvodů těla jako je poměr obvodu boků/pasu a měření obvodu paží a nohou. Všechny těmito metodami získané výsledky se srovnávají s referenčními hodnotami pro posouzení, zda se jednotlivé hodnoty pohybují v normálním rozmezí. Je proto důležité brát v úvahu, že reference zpravidla reprezentuje průměr hodnot. Může se tedy stát, že tyto hodnoty budou u konkrétního jedince zkreslené. Málokdy je také možné z jediného antropometrického měření určit stav lidského těla, je nutné zvolit kombinaci alespoň 2-3 různých technik.

Indexy vycházející z antropometrických ukazatelů

Brocův index

Jedná se o jeden z nejstarších indexů, který byl používán před zavedením indexu tělesné hmotnosti BMI. Oproti výpočtu BMI je výpočet Brocova indexu jednodušší, ale také méně přesný. Index se vypočítá vydělením hmotnosti (kg) daného člověka jeho výškou (cm) zmenšenou o 100 a vynásobením hodnotou 100. Výsledná hodnota je tak určována v procentech.

BSA – povrch těla (m²)

Měření povrchu těla se používá při výpočtu dávky některých léků v onkologii nebo při určování velikosti některých orgánů (např. srdce v kardiologii). Existuje mnoho různých typů rovnic, které se snaží co nej přesněji určit povrch s ohledem na pohlaví, věk nebo aktivitu, proto se mohou výsledky mírně lišit. Při určování BSA není cílem určit hraniční hodnotu, proto není většinou ani udávána. Jako abnormální lze považovat BSA více než 2,0 m².

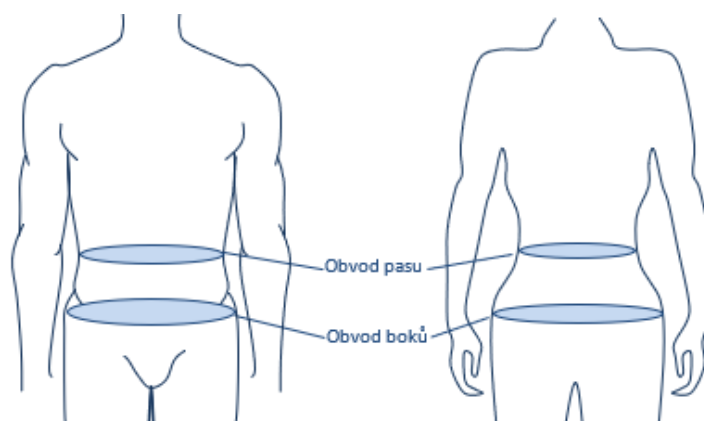
Queteletův index nebo body mass index (BMI)

Nejužívanější index pro hodnocení stavu obezity. Umožňuje statistické porovnávání tělesné hmotnosti lidí s různou výškou. BMI lze porovnat se základní obecnou tabulkou, nebo lze použít další podrobnější tabulky zahrnující věk, pohlaví nebo etnicitu. Hodnota BMI 23 znamená ve věku 9 let obezitu, ale ve věku 15 let jde již o standardní hodnotu. Stejně tak je potřeba upravit interpretaci výsledků pro obyvatele Asie (jiná stavba těla) a sportovce (BMI nedělá rozdíl mezi obsahem tuku a svalů).

Stanovení obvodu v pase

Jednoduchým způsobem, jak je možné posoudit míru ukládání tuku i jeho rozložení, je měření obvodu pasu (Obrázek 16-2). Normální hodnoty u žen jsou do 80 cm, u mužů do 94 cm. Při obvodu nad 80 cm u žen a nad 94 cm u mužů jde o nadváhu, resp. o mírně zvýšené zdravotní riziko. Za obezitu, resp. za vysoké zdravotní riziko je považován obvod pasu vyšší než 88 cm u žen a 102 cm u mužů. Samotný obvod pasu lépe koreluje s výskytem metabolických komplikací obezity. Obrázek 16-2 ukazuje správných postup při měření

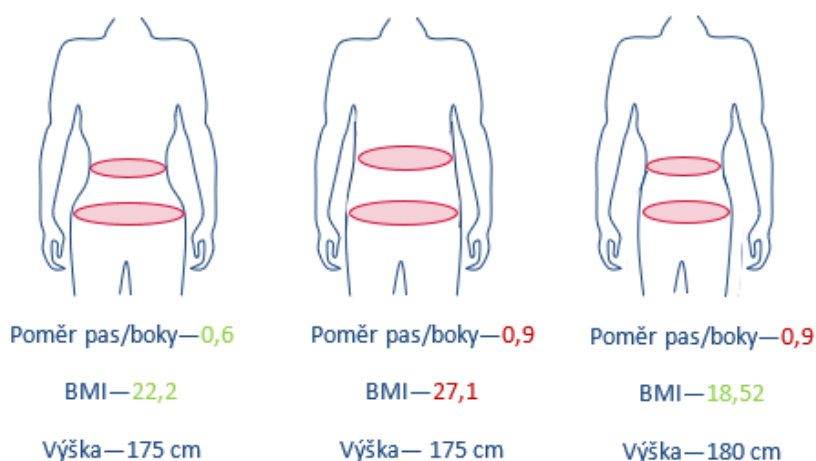
obvodu pasu a boků (pas v nejužším místě těla ve stoje, boky v místě největšího rozvoje hýžděového svalstva).



Obrázek 16-2 Ukázka správného měření obvodu pasu a obvodu boků u stojícího člověka.

Stanovení indexu pas/boky

Tento index dobře vyjadřuje rozložení tuku u různých jedinců. Za rizikové hodnoty jsou považovány výsledky nad 0,85 pro ženy a hodnoty nad 1,0 pro muže. Jak určení indexu WHR (waist-hip ratio), tak měření obvodu pasu umožňují odhadnout míru ukládání viscerálního tuku.



Obrázek 16-3 Ukázka různých typů postav a jejich hodnocení.

Komentář: Antropometrická měření je vždy nutné hodnotit s ohledem na typ postavy a fyzický stav. Samotné indexy mohou vést ke zkreslení. Vlevo – Zdravá žena s poměrem pas/boky pod 0,8; BMI v normě. Oba indexy se doplňují a shodují. Uprostřed – Žena s nadváhou se zvýšeným poměrem pas/boky a zvýšeným BMI. Oba indexy se doplňují a shodují. Vpravo – Sportovkyně s velmi štíhlou postavou se zvýšeným poměrem pas boky (protože má velice úzké boky, téměř jako pas) a nízkým BMI. Zde vyšetřující musí přihlédnout více k hodnotě BMI pro správné hodnocení.

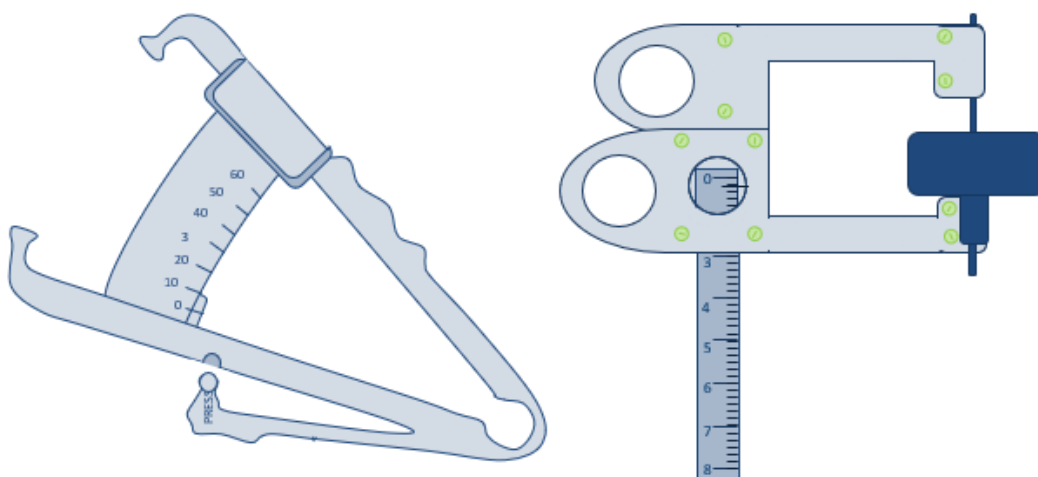
17 TĚLESNÁ KOMPOZICE – MĚŘENÍ

TĚLESNÉHO TUKU

17.1 Poznámky ke cvičení

Kaliperace

K měření tloušťky kožních řas jsou užívány různé druhy kaliperů. U nás se nejčastěji používá typ Harpenden nebo Best (Obrázek 17-1). Jejich rozevíratelná ramena opatřená ploškami kruhového nebo obdélníkového tvaru přesných rozměrů se při měření přibližují k sobě a stlačují kožní řasu konstantním tlakem bez ohledu na velikost rozevření ramen. Vlastní měření se provádí na přesně definovaných místech na těle. Oba kalipery nejsou zcela zaměnitelné, při přesnějších studiích kompozice těla jsou zavedeny přepočtové tabulky pro sjednocení jimi naměřených výsledků.



Obrázek 17-1 Různé druhy kaliperů.

Vlevo Harpenden s konstantním tlakem 10 g/mm². Vpravo – Best 28,5 g/mm².

Tloušťka kožní řasy se měří v milimetrech s přesností, kterou daný typ kaliperu umožňuje. Základní podmínkou správného měření je především správný způsob vytažení kožní řasy, vyžadující odborné zaškolení a delší zkušenost. Přestože jednotlivá měřidla jsou od výrobce zpravidla vybavena návodem k měření, může při měření kožních řas docházet k řadě chyb, ať již z důvodu nesprávné lokalizace měrných bodů (řas), tuhosti, resp. pevnosti podkožní tkáně, či individuálního způsobu zvednutí kožní řasy.

Kaliperace nemá jednotný přístup k hodnocení. Existuje mnoho rovnic, které mají za úkol odvodit z naměřených hodnot reprezentativní výsledek. Záleží také na důvodu prováděného měření. Při kaliperaci dorostu se používají hlavně přepočtové rovnice dle Slaughtera, které zahrnují jak rozdíl pohlaví, tak i rasu.

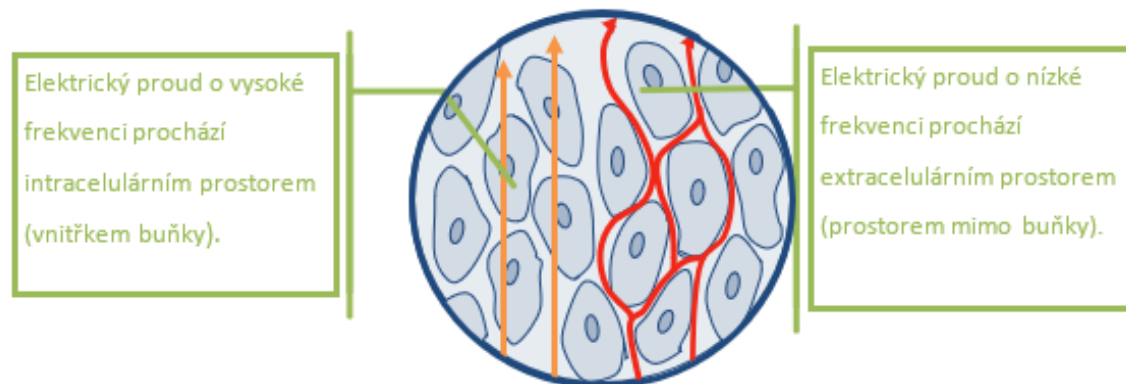
Pro dospělé existují rovnice, které mají za úkol zhodnotit nízký nutriční stav u seniorů či pacientů ohrožených malnutricí. Jednodušší rovnice, které využívají například měření jen z jedné řasy (suprailiacale) se hojně využívají v nutričních a fitness poradnách.

Bioimpedanční metoda

Základem bioimpedanční analýzy (BIA) je rozdílná elektrická vodivost tkání. Bioimpedance reálně měří podíly vody v buňkách a mimo ně. Na tomto základě je schopna odhadnout i podíly tukové a netukové tkáně. Zatímco tělesná voda obsahující elektrolyty (např. ve svalech) vede elektřinu velmi dobře, tuková tkáň vodu neobsahuje téměř žádnou a chová se tak jako izolant.

Bioimpedance těla je měřena pomocí velice slabého střídavého elektrického proudu. Ten prochází tělem skrze elektrody na končetinách. Naměřené hodnoty proudu a napětí lze použít k výpočtu impedance, která popisuje odpor tkáně těla vůči procházejícímu střídavému proudu.

Impedance se skládá ze dvou parciálních odporů – ohmického odporu (odpor R) elektrolytu, který se nachází v intra- a extracelulární tekutině a kapacitního odporu (reaktance X_c) produkovaného buněčnými membránami. Odpor je nepřímo úměrný podílu celkové tělesné vody (TBW – total body water) a lze jej tedy použít pro její hodnocení. Naproti tomu reaktance slouží k měření hmotnosti tělesných buněk (BCM – body cell mass). Použitím vhodných algoritmů tak lze odhadnout poměrně přesně podíl tukové tkáně, netukové tkáně a celkové tělesné vody.



Obrázek 17-2 Základ bioimpedančního měření.

Komentář: základ měření spočívá v měření intra a extracelulární vody. Na základě údajů o vodě je poté odhadnuta netuková hmota. Zbytkem je pak hmota tuková.

Druhy bioimpedance

Jednodušší BIA jsou založené na měření jednou frekvencí elektrického proudu (50 kHz). Lze jimi měřit tukovou tkáň oproti tkáni netukové. Jsou založené na histologickém kompartmentovém modelu, ale nedokáží přesně odlišit svalovou tkáň od ostatní (orgány, šlachy). Modernější BIA jsou schopné měřit jak histologické kompartmentové modely, tak i buněčné. U měření, která používají více frekvencí elektrického

proudu (50-500 kHz), je možné získat stále podrobnější údaje jako je např. množství minerálů a proteinů v těle apod. Jiné frekvence mají také různé schopnosti procházet skrze membránu buněk, a tak je odhad tělesné vody ještě přesnější. Výsledkem je komplexnější měření kompozice těla se zvýšenou přesností.

Omezení bioimpedance

Metoda je vysoce citlivá na aktuální stav hydratace, resp. dehydratace organismu. Měřená osoba by neměla pít před vyšetřením alespoň 2 hodiny nápoje s obsahem kofeinu. Rovněž by neměla pít bezprostředně před vyšetřením nadměrné množství vody. Není také vhodné, aby byla měřená osoba po jídle, naopak je ideální měření ráno na lačno. Fyzická aktivita může také výrazně ovlivnit hydrataci svalů, proto by se měření nemělo provádět méně než 24 h po výrazné fyzické aktivitě.

Při nedodržení těchto pravidel nelze nijak výrazně spoléhat na výsledky měření a je vhodné pacienta vyzvat, aby bylo měří provedeno jindy nebo použít antropometrické metody. Výzkumné studie totiž odhalily až 5ti kilogramové rozdíly v naměřené netukové hmotě u dehydratovaných subjektů.

18 KOMPOZICE – MĚŘENÍ SVALOVÉ HMOTY

18.1 Poznámky ke cvičení

Stanovení svalové hmoty se používá při hodnocení stavu výživy pacienta. Pokud je pacient upoutaný na lůžko je měření obvodu paže často jedinou možností přesnějšího odhadu.

Mezi výrazné výhody antropometrického měření na paži je fakt, že měření není příliš zatíženo chybou i pokud je pacient dehydratovaný (v porovnání s bioimpedanční metodou). Při dodržení základních pravidel měření je metoda také poměrně citlivá (změny na paži jsou viditelné i v několika dnech). Pokud pacienta nelze zvážit, lze takto také odhadnout tělesnou hmotnost pacienta.

Při dlouhodobém hodnocení ležícího nebo minimálně se pohybujícího pacienta z pohledu výživy je však potřeba využít další ukazatele jako jsou hmotnost nebo BMI. Například pokud dochází u pacienta v průběhu léčby k nárůstu tělesné hmotnosti za současného snížení obvodu paže, vyhodnocuje tento vývoj nutriční terapeut jako zhoršení nutričního stavu pravděpodobně vyvolaného otokem. V případě, že dojde ke snížení tělesné hmotnosti pacienta za současného nárůstu obvodu paže, hodnotí tento vývoj nutriční terapeut jako zlepšení nutričního stavu mobilizací zadržovaných tekutin a jejich vyloučením z organismu.

19 STANOVENÍ ENERGETICKÉHO VÝDEJE NEPŘÍMOU KALORIMETRIÍ

19.1 Poznámky ke cvičení

Organismus člověka je otevřený systém v ustáleném stavu mezi příjmem a výdejem energie. Tento stav lze popsat pomocí tzv. bilanční rovnice:

$$\text{příjem energie} = \text{výdej energie} \pm \text{zásoba energie}$$

Je-li příjem energie v daném časovém úseku nižší než výdej, dochází ke snižování zásob energie a k poklesu tělesné hmotnosti. Pokud příjem převyšuje výdej, je část energie uložena a hmotnost se zvyšuje. Cílem je vyvážená energetická bilance, kdy se příjem energie a její výdej rovnají.

Energii získává člověk z jednotlivých živin přijímaných v potravě. Transformaci energie chemických vazeb těchto živin na jiné, pro organismus využitelnější formy energie, nazýváme energetický metabolismus. Jeho konečný produkt v podobě sloučeniny acetylkoenzymu A je následně cyklicky degradován v Krebsově cyklu za vzniku redukovaných forem koenzymů oxidoreduktáz. Až jejich zpětná oxidace (reoxidace) v dýchacím řetězci povede ke vzniku tzv. makroergních sloučenin, které ve svých chemických vazbách uskladňují energii sloužící jako jediných zdroj pro životní děje probíhající v buňce. Nejvýznamnějším zástupcem makroergních sloučenin je adenosintrifosfát (ATP), přičemž jeden běh Krebsova cyklu povede k syntéze 12 molekul ATP.

Obecně je energie v organismu použita k udržení tělesných funkcí, štěpení a metabolizování potravy, pro termoregulaci, fyzickou aktivitu, imunitu apod.

Klasickou dosud často užívanou jednotkou energie je 1 kalorie (1 cal), definována jako množství energie nutné ke zvýšení teploty 1 g vody o 1 °C (dle standardů uváděno zvýšení z 14,5 na 15,5 °C). SI jednotkou energie (dle Mezinárodní soustavy jednotek) je 1 joule (1 J). Vztah pro vzájemný přepočítání je následující: 1 cal \approx 4,18 J. Pro představu pak hydrolýza jedné makroergní vazby u jednoho molu ATP povede k uvolnění přibližně 32 000 J energie.

Množství energie získané z potravy nezávisí jenom na jejím množství, ale taky skladbě, resp. zastoupení jednotlivých živin. Pro potřeby fyziologie výživy rozlišujeme u živin fyzikální a fyziologické spalné teplo (Tabulka 19-1).

Tabulka 19-1 Fyzikální a fyziologické spalné teplo základních živin v potravě.

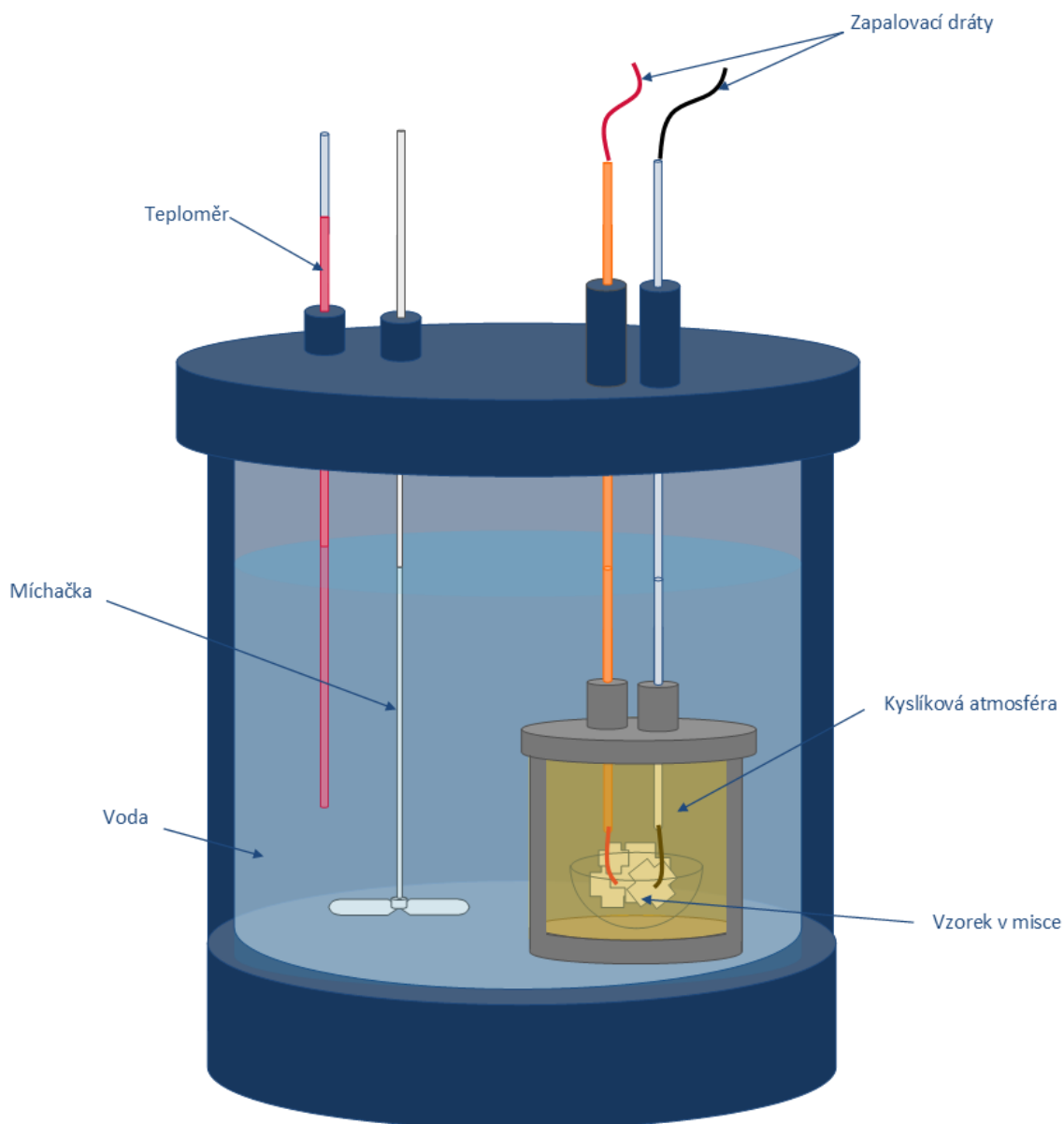
Živina	Fyzikální spalné teplo (KJ/g)	Fyziologické spalné teplo (KJ/g)
Sacharidy	17	17
Lipidy	39	39
Proteiny	23	17

Fyzikální spalné teplo představuje množství energie uvolněné z živiny při její úplné oxidaci (spálení) v adiabatickém bombovém kalorimetru (Obrázek 19-1). Vzorek je v přístroji výbušně zapálen, přičemž produktem úplné oxidace (spálení) organických sloučenin je voda, oxid uhličitý a energie ve formě tepla. Fyziologické spalné teplo udává množství energie, které se z živiny uvolní při oxidaci v organismu. Tento typ oxidace je komplexní, pomalý a postupný proces, jímž se energie uvolňuje v malých použitelných množstvích. U sacharidů a lipidů je fyzikální a fyziologické spalné teplo prakticky totožné. Energie uvolněná v organismu z proteinů je však podstatně nižší než při spálení v kalorimetru. Hlavní příčinou tohoto rozdílu je neschopnost organismu plně oxidovat aminokyseliny, kdy kromě výše zmíněných produktů oxidace, vzniká také degradační produkt močovina (urea).

Bazální metabolický výdej (BME; *basal metabolic expenditure*) představuje nejmenší množství energie nutné pro pokrytí základních funkcí organismu za tzv. bazálních podmínek:

- osoba leží, je v tělesném a duševním klidu (nespí), nemá zvýšenou teplotu
- osoba je v termoneutrálním prostředí, to znamená v místnosti o teplotě, která minimalizuje nároky na termoregulaci
- osoba je 12 hodin po posledním příjmu potravy, přičemž poslední 3 dny byl omezen příjem bílkovin.

Na tuto hodnotu má vliv řada faktorů, např. věk, pohlaví, tělesný povrch, tělesná teplota a jiné. Podmínky pro určení hodnoty bazálního metabolismu jsou přísné a nelze je spolehlivě dodržet u řady nemocných. V praxi se proto většinou stanovuje klidový energetický výdej (REE; *resting energy expenditure*), kdy je osoba v tělesném klidu na lůžku a nejméně 2 hodiny po posledním jídle. Oproti bazálnímu metabolismu je tato hodnota přibližně o 10 % vyšší.



Obrázek 19-1 Schéma bombového adiabatického kalorimetru pro měření fyzikálního spalného tepla živin.

Aktuální energetický výdej (AEE; *actual energy expenditure*) je pak celková energie, kterou organismus vyžaduje k zajištění všech aktuálních energetických potřeb. Jeho hodnotu lze obdržet jako výsledek měření (metoda přímé a nepřímé kalorimetrie) nebo výpočtem.

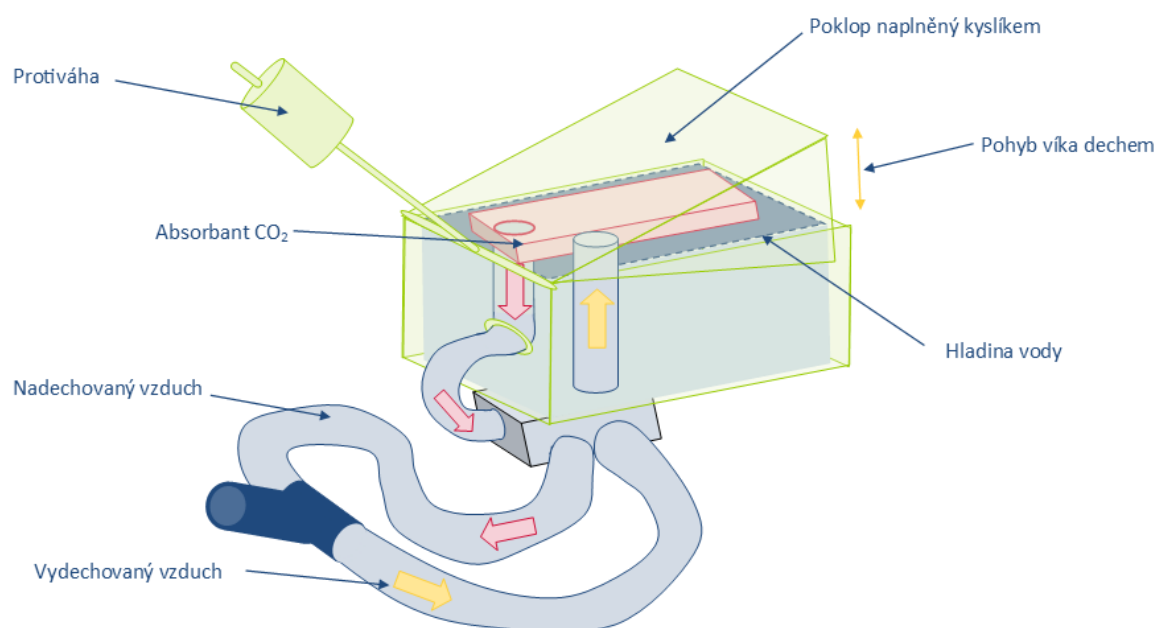
Přímá kalorimetrie je založena na skutečnosti, že určitá část energie organismu se při biotransformacích mění na teplo. Změření tepelné energie vydané organismem do okolí pak přímo vypovídá o aktuální energetické spotřebě organismu. Sledovaný jedinec je umístěn do tepelně izolovaného prostoru, přičemž se zároveň měří spotřeba kyslíku, výdej oxidu uhličitého a množství dusíku vyloučeného močí a stolicí. Vytvářené teplo se měří přímo tak, že se zaznamenává celkové množství tepla odevzdaného chladicímu médiu (nejčastěji voda) cirkulujícímu v kalorimetru. Metoda je v případě humánního měření technicky náročná a v praxi se v této podobě téměř nevyužívá.

Nepřímá kalorimetrie představuje zjednodušení předešlé metody, kdy je energetický výdej vypočítán jen na základě spotřeby kyslíku (objem O_2) a výdeje oxidu uhličitého (objem CO_2). Jak je vidět v Tabulka 19-2, při spotřebě jednoho litru kyslíku organismem za účelem oxidace živin budou mít různé živiny různou energetickou výtěžnost. Pro zjednodušení se využívá hodnota tzv. středního energetického ekvivalentu kyslíku odpovídajícího smíšené stravě, kterého předpokladem je obsah základních živin v poměru 60 % sacharidy, 25 % lipidy, 15 % proteiny.

Tabulka 19-2 Hodnota energetického ekvivalentu kyslíku pro jednotlivé základní živiny a hodnota aproximovaná pro vyváženou smíšenou stravu.

	Sacharidy	Lipidy	Proteiny	Smíšená strava
Energetický ekvivalent kyslíku (kJ/l O_2)	20,90	19,60	18,70	20,19

Metoda nepřímé kalorimetrie je v klinické praxi hojně využívána. Je základem pro stanovení bazálního metabolismu pro optimalizaci např. redukčních diet, ale i pro aktivní sportovce při optimalizaci tréninkových dávek (zátěžová spiroergometrie).



Obrázek 19-2 Schéma Kroghova respirometru obsahujícího zásobník s natronovým vápnem pro absorpci oxidu uhličitého ve vydechovaném vzduchu.

Ve cvičení bude metoda nepřímé kalorimetrie prováděna v uzavřeném systému Kroghova respirometru (Obrázek 19-2), vyšetřovaná osoba je tedy ventilačně izolována od okolního prostředí. Rezervoár respirometru je naplněn čistým kyslíkem, který vdechuje měřený subjekt. Oxid uhličitý obsažený ve vydechovaném vzduchu je v systému pohlcen vazbou na natronové vápno. Jeho koncentrace tedy nenarůstá a neovlivňuje výsledek měření.

20 STANOVENÍ ENERGETICKÉHO VÝDEJE VÝPOČTEM

20.1 Poznámky ke cvičení

Pojmem metabolismus lze označit soubor veškerých chemických změn probíhajících v organismu. Jejich účelem je tvorba energie, syntéza nových a obnova starých struktur, růst organismu a jeho reprodukce. Za fyziologických podmínek představuje metabolismus rovnováhu mezi anabolickými reakcemi (syntéza) a katabolickými reakcemi (degradace). U katabolických reakcí se energie uvolňuje (exergonní reakce) a využívá pro tvorbu tepla, práci a zabezpečení energetických nároků anabolických reakcí. Anabolické reakce sice umožňují tvorbu nových struktur a zásob energie, pro jejich průběh je však nutné energii v určité míře dodat (endergonní reakce). Příklad zmíněných reakcí s jejich stručnou specifikací obsahuje Tabulka 20-1.

Tabulka 20-1 Přehled základních katabolických a anabolických dějů organismu se stručnou specifikací

ANABOLISMUS			
	Reakce	Název	Typ
Aminokyseliny	→ Proteiny	Proteosyntéza	Endergonní
Monosacharidy	→ Glykogen	Glykogeneze	Endergonní
Mastné kyseliny	→ Triacylglyceroly	Lipogeneze	Endergonní
KATABOLISMUS			
	Reakce	Název	Typ
Proteiny	→ Aminokyseliny	Proteolýza	Exergonní
Glykogen	→ Monosacharidy	Glykogenolýza	Exergonní
Triacylglyceroly	→ Mastné kyseliny	Lipolýza	Exergonní

Základním strukturním elementem buněk lidského těla jsou bílkoviny (proteiny). O míře jejich anabolismu / katabolismu nás informuje tzv. dusíková bilance. Z definice se jedná o rozdíl mezi množstvím dusíku přijatého potravou ve formě bílkovin a vyloučeného především ve formě močoviny močí a stolicí. Mladé rostoucí organismy mají obvykle pozitivní dusíkovou bilanci, tj. zadržují dusík (zejména ve formě bílkovin), který pak využívají k výstavbě tkání. Negativní dusíková bilance znamená ztráty dusíku (úbytek tělesných bílkovin). Tato ztráta převyšující tvorbu bílkovin je typická pro akutní stavy (polytraumata) a těžká onemocnění, jakými jsou nekompensovaná cukrovka, případně pokročilá stádia onkologických onemocnění, také septické či horečnaté stavy. Energetické nároky těchto pacientů bývají rovněž častokrát zvýšené. Děje se tak na podkladě mobilizace procesů (imunitních, reparačních apod.) vedoucích k obnově původní struktury a funkce organismu. Aby bylo možné zajistit vhodnou a dostatečnou výživu konkrétního

pacienta, je nutné získat představu o jeho reálném klidovém energetickém výdeji. Nejpřesnější metodou pro stanovení individuální energetické potřeby v klinických podmínkách je nepřímá kalorimetrie. Z důvodu zásadního zjednodušení jsou však v běžné praxi hojně využívány predikční rovnice (např. Harris-Benedictova). Konkrétně u polytraumatických pacientů již řada studií poukázala na značné nepřesnosti při použití jednodušších výpočetních rovnic. Harris-Benedictova rovnice vykazuje dostatečnou přesnost výpočtu u zdravých dospělých jedinců. Tento požadavek lze u začínajících studentů vysoké školy s ohledem na věk považovat s vysokou pravděpodobností za splněný.

21 SESTAVENÍ JÍDELNÍHO LÍSTKU. ZÁSADY SPRÁVNÉ VÝŽIVY

21.1 Poznámky ke cvičení

Každý člověk potřebuje individuální složení stravy, které odpovídá charakteristikám jeho metabolismu. Zdravá výživa je charakterizována optimálním poměrem množství a proporcí všech složek potravy v souladu s fyziologickými potřebami organismu. Přijaté jídlo by mělo s ohledem na jeho stravitelnost doplňovat energetické výdaje osoby, které jsou definovány jako součet bazálního metabolismu, specifického dynamického účinku potravy a energie na vykonanou práci. Proteiny, tuky a sacharidy by měli být ideálně vyvážené v poměru 10 % : 26 % : 64 %, což zajišťuje energetické potřeby organismu. Ve stravě by měli být vyvážené proteiny obsahující esenciální i neesenciální aminokyseliny, tuky s nasycenými i nenasycenými mastnými kyselinami a sacharidy s různým počtem monomerů. Ve stravě jsou rovněž přítomné balastní látky (celulóza, pektin atd.).

Zásady sestavení jídelníčku

Při sestavování jídelního lístku je třeba dodržovat řadu zásad:

- a) Příjem kalorií by měl odpovídat energetickým nárokům organismu, které jsou určeny typem vykonávané práce.
- b) Zákon izodynamiky živin, tj. zaměnitelnost proteinů, tuků a cukrů na základě jejich energetické hodnoty. Například 1 gram tuku (9 kcal) je energeticky ekvivalentní s 2,3 gramy proteinů nebo cukrů. Neznamená to, že lze celou energetickou potřebu organismu pokrýt příjmem jednoho typu živiny v příslušném množství. Taková náhrada je možná pouze krátkodobě. Živiny totiž plní nejen energetickou, ale také stavební, případně biokatalytickou (hormony, enzymy) funkci
- c) Poměr bílkovin, tuku a cukrů ideálně 10 % : 26 % : 64 %.
- d) Strava musí splňovat potřebu organismu na biologicky účinné látky (vitamíny, minerály) a vodu.
- e) Alespoň jedna třetina denního příjmu bílkovin a tuků by měla být přijímána ve formě živočišných produktů.
- f) Je nutné vzít v úvahu správné rozdělení kalorického příjmu pro jednotlivá jídla. Snídaně by měla obsahovat asi 20 - 30% denního energetického příjmu, oběd 40 - 45%, večeře 15 - 20% a svačiny mezi jídly 10 - 15%.

Živiny

Bílkoviny

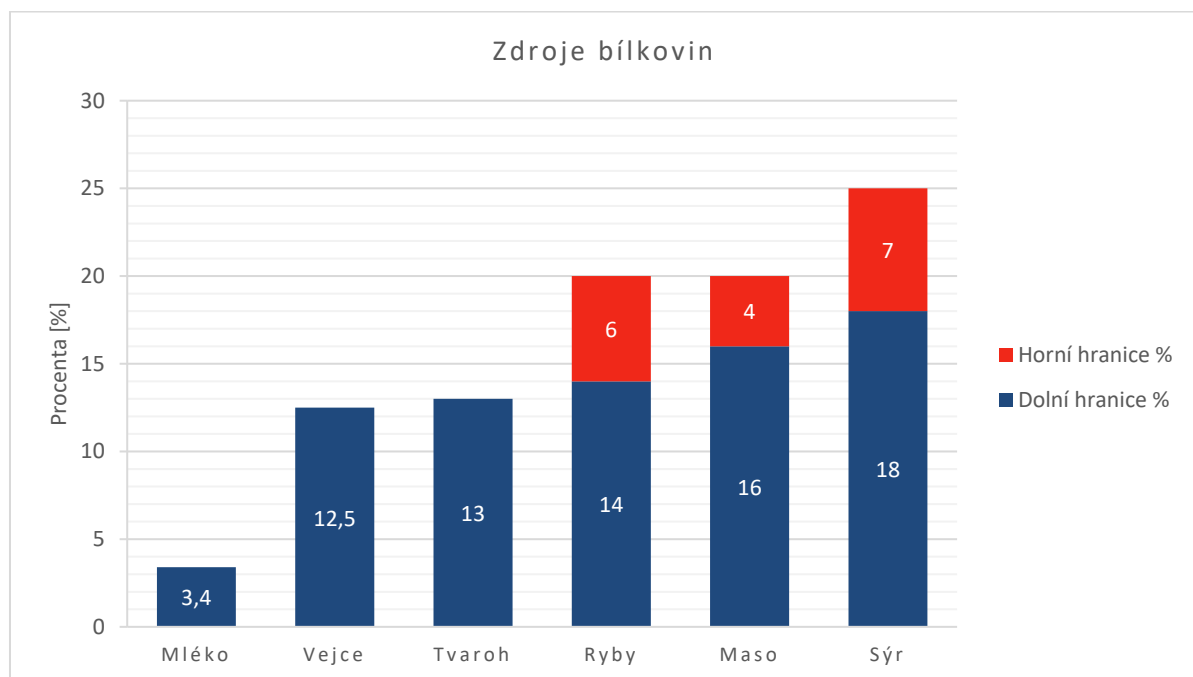
Denní potřeba bílkovin u dospělých lidí je obvykle 0,8 - 1,2 g/kg (děti: 1,2 - 1,5 g/kg) tělesné hmotnosti. Zvýšená je zpravidla u těhotných žen, pacientů v pooperačních stavech a u sportovců. Proteiny zaujímají

vedoucí postavení mezi organickými prvky, které představují více než 50 % suché hmotnosti buňky. Plní řadu důležitých biologických funkcí:

- stavební (kolagen, elastin, keratin),
- transportní a skladovací (hemoglobin, transferin),
- zajišťující pohyb (aktin, myozin),
- katalytickou, řídící a regulační (enzymy, hormony, receptory, ...),
- ochrannou a obrannou (imunoglobulin, fibrin, fibrinogen).

Strava musí obsahovat deset konkrétních esenciálních aminokyselin (valin, leucin, izoleucin, lysin, methionin, tryptofan, threonin, fenylalanin, histidin, arginin), protože tělo není schopno je syntetizovat. Další aminokyseliny si tělo může syntetizovat z meziproduktů metabolismu cukrů.

Graf 21-1 Procentuální zastoupení jednotlivých zdrojů bílkovin ve stravě.



Tuky

Denní potřeba tuků u dospělých lidí se pohybuje v rozmezí 40 – 80 g/den). Tuky jsou látky, které mají v těle převážně energetickou funkci. Tuky se účastní stavebních procesů a jsou strukturální součástí buněk a jejich membrán. Nedostatečný příjem tuku může vést k narušení centrálního nervového systému v důsledku narušení šíření nervových vzruchů. V tomto případě může rovněž docházet k oslabení imunologických mechanismů.

Přítomnost tuků je nutná u reabsorpce řady biologicky cenných látek: vitaminů rozpustných v tucích, fosfolipidů (lecitin), polynenasycených mastných kyselin (PUFA), sterolů, tokoferolů a dalších látek s biologickou aktivitou.

Nejdůležitější složkou určující vlastnosti tuků jsou mastné kyseliny, které se dělí na nasycené a nenasycené. Nejdůležitější nasycené mastné kyseliny (stearová a palmitová) tvoří až 50 % mastných kyselin z např. hovězího tuku. Nenasycené mastné kyseliny (linolová, linolenová, arachidonová) se nachází v olejích a v tuku mořských ryb.

Tuky obvykle rovněž obsahují rovněž některé příměsi jako např. steroly. Existují fytoosteroly rostlinného původu a zoosteroly živočišného původu. Důležitým zoosterolem je cholesterol. Vstupuje do těla s produkty živočišného původu, ale lze jej také syntetizovat z přechodných metabolických produktů sacharidů a tuků. Cholesterol hraje důležitou fyziologickou roli, protože je strukturální složkou buněk. Je substrátem pro tvorbu žlučových kyselin, hormonů, prekursor vitamínu D₃. Cholesterol s nízkou denzitou je však také považován za zásadní faktor vzniku a dalšího rozvoje aterosklerózy.

Cukry

Denní potřeba sacharidů u dospělých lidí je obvykle 5-7 g/kg, u dětí 10-12 g/kg. Hlavními zdroji jsou ovoce, bobule a jiné plody, pečivo, těstoviny, cereálie, sladkosti. Brambory obsahují sacharidy ve formě škrobu a vlákniny. Med, v závislosti na jeho původu, obsahuje 70-80 % sacharidů.

Sacharidové skupiny:

- **Jednoduché (rychlé) cukry:** monosacharidy a disacharidy. Monosacharidy obsahují jednu cukernou skupinu (glukóza, fruktóza nebo galaktóza). Disacharidy jsou tvořeny zbytky dvou monosacharidů a jsou reprezentovány zejména sacharózou (běžný cukr) a laktózou. Rychle zvyšují hladinu cukru v krvi a mají vysoký glykemický index.
- **Složitě (pomalé) cukry:** polysacharidy obsahující tři nebo více jednoduchých molekul sacharidů. Tento typ sacharidů zahrnuje zejména dextriny, škroby, glykogeny a celulózu. Zdrojem polysacharidů jsou obiloviny, luštěniny, brambory, zelenina. Glykémii zvyšují postupně, mají tedy nízký glykemický index.
- **Nestravitelné sacharidy (vláknina):** vláknina neposkytuje tělu energii, přesto má ale významnou roli. Nachází se hlavně v rostlinných potravinách s nízkým nebo velmi nízkým obsahem cukru. Je třeba poznamenat, že vláknina zpomaluje absorpci sacharidů, bílkovin a tuků (může být užitečná při hubnutí). Je to zdroj výživy pro prospěšné střevní bakterie (mikrobiom).

Základní funkce sacharidů:

- **Energetická:** jsou hlavním zdrojem energie pro většinu buněk. Sacharidy pokryjí asi 50-60 % denní energetické spotřeby těla. Jako hlavní zdroj energie v těle se používá volná glukóza nebo sacharidy uložené ve formě glykogenu.
- **Zásobní:** sacharidy jsou ukládány (akumulovány) v kosterním svalu (do 2 %), v játrech a dalších tkáních ve formě glykogenu. Při dobré výživě se v játrech může akumulovat až 10 % glykogenu.

- **Obranná:** složité cukry jsou součástí složek imunitního systému; mukopolysacharidy se nacházejí ve sliznicích, které chrání před pronikáním bakterií a virů.
- **Regulační:** jsou součástí membránových receptorů glykoproteinů. Sacharidy se podílejí na regulaci osmotického tlaku v těle.

Vitaminy

Vitaminy jsou různorodá skupina organických sloučenin, které jsou pro zachování fyziologické funkčnosti organismu vyžadovány v malých množstvích (miligramech nebo mikrogramech za den). Dostatečný příjem vitaminů má zásadní vliv nejen na obranyschopnost organismu. Nedostatek vitaminů se projeví formou víceméně specifických příznaků.

Vitaminy A, D, E a K jsou rozpustné v tucích, zatímco ostatní jsou rozpustné ve vodě. Vitaminy, jejich metabolické funkce a příznaky spojené s nedostatkem jsou uvedeny v Tabulka 21-1.

Tabulka 21-1 Metabolické funkce vitaminů a příznaky při jejich nedostatku.

Vitamin	Denní dávka	Funkce	Příznaky hypovitaminózy
A, axeroftol	0,8 mg	tvorba rodopsinu; regulace genové exprese a buněčné diferenciaci; β -karoten je antioxidant	šeroslepoty, xerophthalmia, keratinizace kůže
D, kalciferol	2,5–10 μ g	Udržování rovnováhy vápníku; zvyšuje intestinální absorpci Ca^{2+} a mobilizuje kostní tkáň	křivice (skorbut) u dětí, osteomalacie u dospělých
E, tokoferol	8 – 10mg	antioxidant, výskyt zejména v buněčných membránách	vážné neurologické dysfunkce
K, fylochinon a menachinon	90–120 μ g	důležitý pro hemokoagulaci	hemoragické onemocnění
B₁, Thiamin	1,1 – 1,5 mg	oxidativní dekarboxylace α -ketokyselin; transketolázová reakce.	poškození periferního nervového systému (beriberi)
B₂, Riboflavin	1,3 – 1,7 mg	důležitá role při tělesném růstu a obnově červených krvinek	zánět ústních koutků, zánět rtů nebo jazyka, záněty spojivek, seboroická dermatitida
B₃, Niacin	15 – 19 mg	Koenzym v oxidačních a redukčních reakcích, funkční část NAD a NADP	fotosenzitivní dermatitida; depresivní psychóza

B₅, Kyselina pantothenová	5 mg	Funkční část syntézy a metabolismu CoA a acyl nosičových proteinů (ACP) mastných kyselin	Poškození periferních nervů (Syndrom neklidných nohou)
B₆, pyridoxol, pyridoxal a pyridoxamin	1,6 – 2,0 mg	Koenzym v transaminaci a dekarboxylaci aminokyselin a glykogenfosforylázy; role při působení steroidních hormonů	Poruchy metabolismu aminokyselin, křeče
B₇, Biotin	50 µg	Koenzym v karboxylačních reakcích v glukoneogenezi a syntéze mastných kyselin	Narušený metabolismus tuků a cukrů, dermatitida
B₉, Kyselina listová	180 – 200 µg	Je koenzym transferáz, které přenášejí jednouhlíkaté zbytky	Megaloblastová anémie
B₁₂, Kobalamin	2 – 3 µg	Je koenzym transferáz, které přenášejí jednouhlíkaté zbytky, podílí se na metabolismu folátu	Megaloblastová anémie a degenerace míchy (neurologické příznaky)
C, Kyselina askorbová	75 – 90 mg	Koenzym v hydroxylaci prolinu a lysinu při syntéze kolagenu; antioxidant; zvyšuje vstřebávání železa	Skorbut - zhoršené hojení ran, ztráta zubního cementu, subkutánní krvácení

Stopové prvky

Přibližně 4 % tělesné hmotnosti tvoří chemické prvky, z nichž sedm (vápník, fosfor, draslík, síra, sodík, chlor a hořčík) je potřebných ve větším množství. V organismu jsou tyto prvky požadovány v množství g/den a lze je označovat jako makrominerály. Jsou přítomny hlavně v tělních tekutinách (elektrolyty) a jako strukturální složky tkání.

Zbývající prvky jsou vyžadovány v množství menším než 100 mg/den a označují se jako mikrominerály, resp. stopové prvky (železo, zinek, měď, jód, molybden, selen, chrom apod.).

Základní stopové prvky fungují buď jako součást enzymů nebo jako aktivátory enzymových systémů. Mají strukturální a katalytickou funkci v genové expresi. Mezi další patří zásobní a transportní funkce.

O primárních nedostatcích (tj. nedostatečném příjmu) můžeme mluvit v případě železa, jodu, zinku a selenu. Sekundární nedostatky mohou nastat v důsledku nadměrných ztrát (moč, krev, průjem) nebo malabsorpce, střevní chirurgie a dalších klinických stavů.

Tabulka 21-2 Vybrané stopové prvky

Prvek	Denní dávka	Funkce	Zdroje
Sodík	2 – 3 g	hraje roli v procesech excitace, udržení osmotického tlaku, v distribuci a odstraňování vody z těla, podílejí se na tvorbě hydrogenuhličitanového pufrového systému	Sůl
Vápník	0,8 g	plní stavební funkce v zubních tkáních a kostech, je nezbytný při koagulaci krve, synaptickém přenosu, kontrakci svalů atd.	mléčné výrobky, listová zelenina
Draslík	2 – 3 g	intracelulární iont, hraje důležitou roli v procesech repolarizace, kontrakce svalů (včetně myokardu)	maso, zelenina, ořechy, sušené ovoce
Chlor	3 – 5 g	obsažen v extracelulárních i intracelulárních tekutinách, hraje roli v synaptickém přenosu, tvorbě kyseliny chlorovodíkové (žaludeční šťávy)	slané potraviny
Fosfor	0,7 – 0,8 g	většina ve formě minerálů v kostech a zubech, jako součást fosfolipidů je obsažen ve struktuře buněčných membrán, lipoproteinů, rovněž součást ATP a jeho derivátů, hraje tedy významnou roli v metabolismu	mléko, maso, vejce, ryby, ořechy, cereálie
Železo	10 – 15 mg	hlavní funkcí je vázání molekul kyslíku, asi 65 % je obsaženo v hemoglobinu, další výskyt v kosterních svalech, játrech, slezině, kostní dřeni, také jako součást enzymů	maso, játra, ryby, sušené ovoce, ořechy
Jód	0,15 – 0,3 mg	složka hormonů a prekurzorů hormonů štítné žlázy	jodizovaná sůl, mořské plody, rybí olej
Měď	2 – 5 mg	hraje roli v procesech absorpce železa, tvorbě hemoglobinu, pigmentaci kůže	vejce, játra, ledviny, špenát, hrozny
Hořčík	250 – 350 mg	nezbytné pro tvorbu kostní tkáně, normální funkci svalové a nervové tkáně, je nezbytný pro syntézu koenzymů	maso, mléko, celá zrna

Zinek	10 – 15 mg	hraje důležitou roli při dozrání spermií a vajíček, zabraňuje rozvoji zánětlivých a nádorových procesů v prostatě, podporuje syntézu inzulínu a somatostatínu	maso, fazole, žloutek
--------------	------------	---	-----------------------

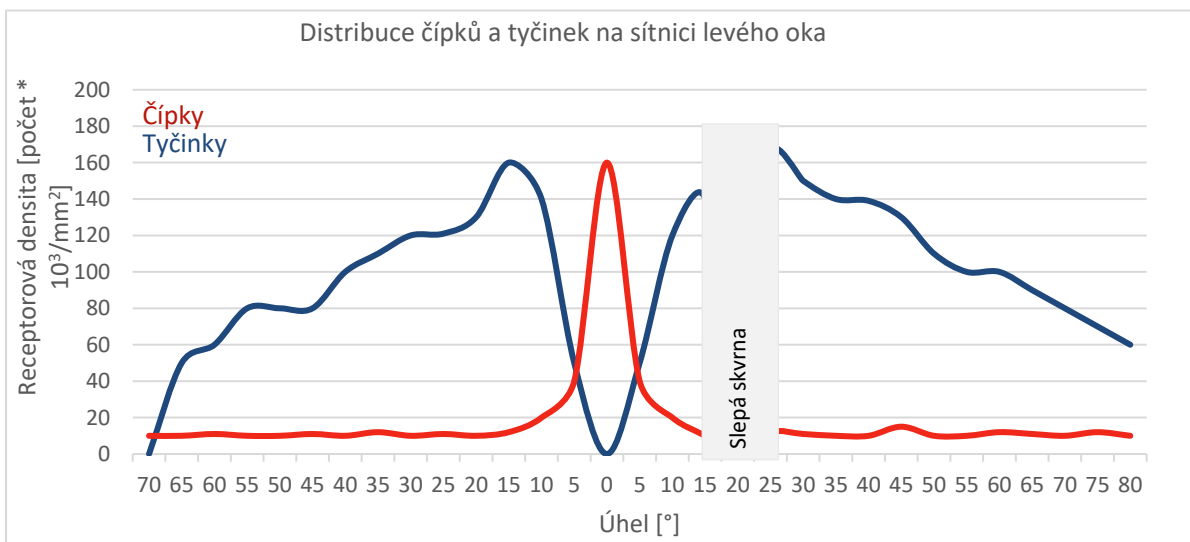
22 ZORNÉ POLE - PERIMETRIE

22.1 Poznámky ke cvičení

Zorné pole

Zorné pole oka je část/výseč prostoru, kterou dokážeme vnímat při fixaci pohledu na jeden bod. Je vymezeno jak vertikálně, tak horizontálně. Zorná pole pravého a levého oka nejsou stejná, jeho rozsah je individuální a závisí i na tvaru obličeje. U člověka se udává velikost zorného úhlu jednoho oka přibližně 95° pro vidění do strany (temporálně) a 65° pro pohled ke středu (nasálně), celkově tedy v horizontální rovině přibližně 160°. Zorné úhly obou očí se překrývají, celkový zorný úhel je pak asi 190° (z toho binokulární vidění je umožněno v rozsahu 120°). V rovině vertikální je zorný úhel směrem nahoru asi 60°, směrem dolů pak 70°. Popsané zorné pole definuje rozsah tzv. periferního vidění. V krajních zorných úhlech je toto vidění zprostředkováno především tyčinkami, proto je vyšetřovaný schopen pouze určit, zda značku vidí nebo nevidí (není schopen rozlišit případnou barvu). Barevného rozlišení je člověk schopen při nižších zorných úhlech (Graf 22-1) jak horizontálně, tak vertikálně. Každá vnímaná barva (červená, zelená, modrá) má odlišný tvar zorného pole, které je fyziologicky vždy menší než zorné pole nebarevné.

Pod zorným úhlem přibližně 15-20° temporálně v horizontální rovině se vyskytuje fyziologický výpadek zorného pole - slepá skvrna (Graf 22-1).



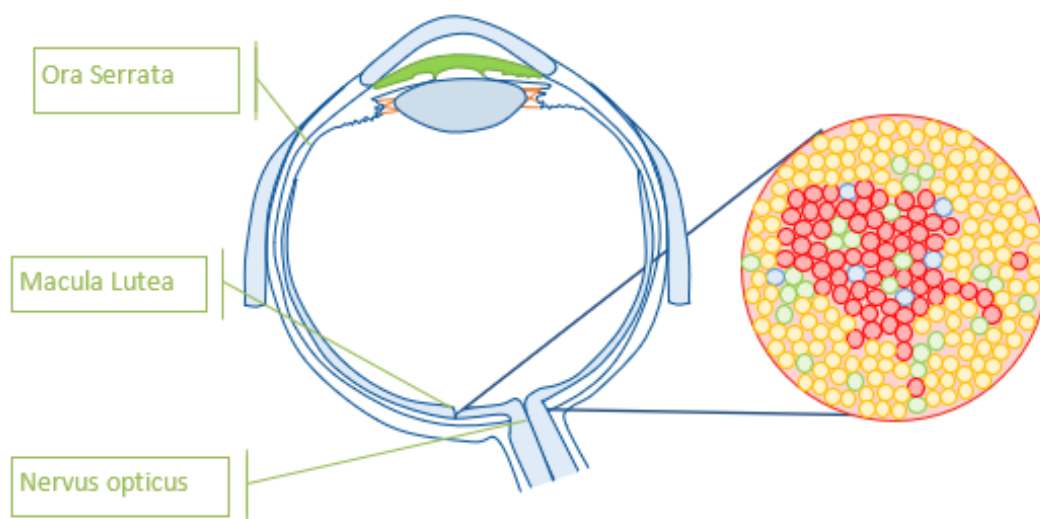
Graf 22-1 Rozložení čípků a tyčinek na sítnici.

Komentář: Graf ilustruje rozložení čípků a tyčinek na sítnici v závislosti na úhlu od žluté skvrny (*macula lutea*, reprezentována úhlem 0°). V samotném centru žluté skvrny (*foveola*) se nevyskytují žádné tyčinky.

Rozložení čípků a tyčinek v oku není náhodné (Obrázek 22-1). Tyčinky jsou typem smyslových buněk (fotoreceptorů) se schopností registrovat pouze změny intenzity světla – jas. Z pohledu jasu jsou tyčinky 100 000x citlivější než čípky. Jsou tak zodpovědné za vidění ve snížených světelných podmínkách jako je

šero a tma (skotopické vidění). Při přechodu ze světla do tmy trvá plná adaptace na skotopické vidění 40 až 60 minut. Distribuce tyčinek na sítnici je téměř po celém jejím povrchu s výjimkou žluté skvrny, optického disku a za hranicí *ora serrata*, která je místem přechodu mezi světlosenzitivní částí sítnice a tou, která již světločivé elementy neobsahuje. Jejich počet je přibližně 130 milionů a hustota směrem od periferie ke žluté skvrně klesá. Svými vlastnosti nejsou tyčinky schopné vytvářet barevný vjem.

Čípky jsou fotoreceptory umožňující barevné vidění. V lidském oku rozlišujeme 3 typy čípků citlivých na různé vlnové délky dopadajícího světla. Podle toho se čípky nazývají S (short – pro vlnovou délku modrého světla), M (middle – pro vlnovou délku zeleného světla) a L (long – pro vlnovou délku červeného světla). Rozdíly v citlivosti na vlnovou délku světla jsou dány existencí tří různých opsinů, tedy světločivých proteinů, přičemž každý má jiné absorpční maximum. Čípky zajišťují preciznější vidění, ale pro vlastní stimulaci světlem vyžadují jeho vyšší intenzitu v porovnání s tyčinkami. V sítnici je čípků přibližně 6 milionů a nejvyšší hustota lokalizace je právě žlutá skvrna. Hustota jejich rozložení rovněž determinuje zrakovou ostrost. Při přechodu ze tmy na světlo dochází k adaptaci na fotopické vidění už za 20 až 60 sekund.

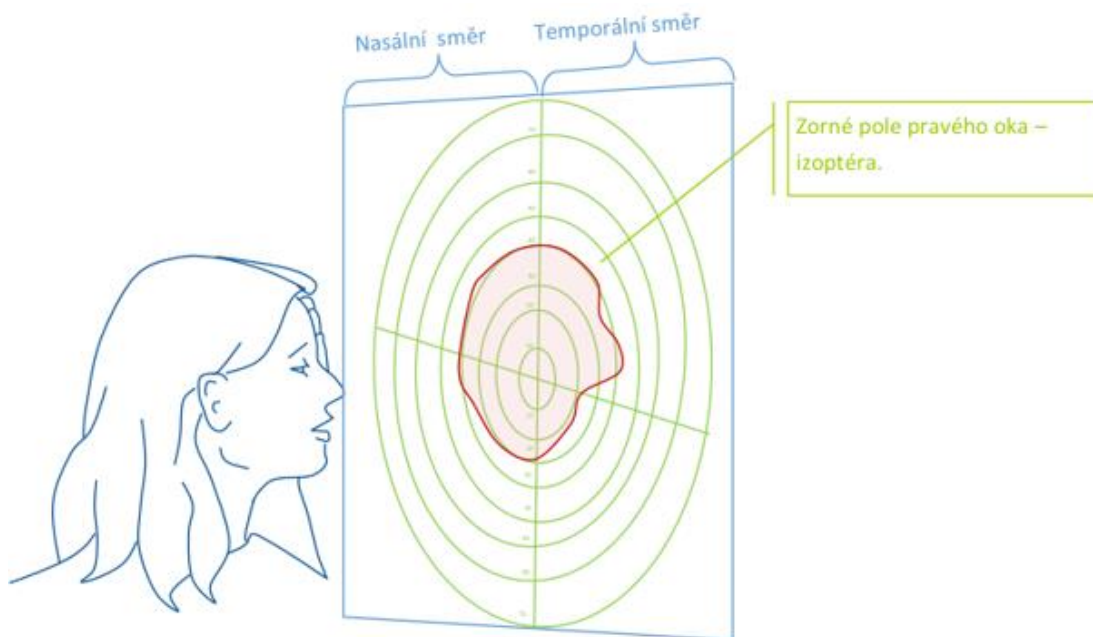


Obrázek 22-1 Různá koncentrace fotoreceptorů na sítnici.

Komentář: Místa na sítnici bez přítomnosti fotoreceptorů – ora serrata, nervus opticus. Naopak, místo s největším zastoupením čípku v oku – macula lutea. Vpravo je ilustrativně znázorněno zastoupení čípků ve fovea centralis (úplné centrum maculy) s převažujícími čípky typu L (citlivé na vlnovou délku 500-700 nm, tj. červená barva). Směrem dále do periferie jsou přítomny také čípky citlivé na modrou a zelenou barvu. Žlutě je reprezentováno přibývající množství tyčinek.

Perimetrie

Perimetrie je základní vyšetřovací metoda určující rozsah a kvalitu zorného pole (ZP) oka (Obrázek 22-2). V praxi se setkáváme se dvěma typy perimetrie – kinetická a statická. Při kinetické perimetrii se používá značka, která je postupně promítána pohybem z periferie do centra podél daného poledníku. Se stejným stimulem se proces opakuje podél dalších poledníků, zpravidla v intervalu 15°. Spojením získaných bodů vznikne pro značku určité velikosti a jasu vrstevnice (izoptéra), spojující místa na sítnici, jež mají stejný práh citlivosti.



Obrázek 22-2 Ukázka sítě pro určení rozsahu aktivních fotoreceptorů.

Komentář: Cílem perimetrie je vytvořit síť reprezentující rozsah aktivních fotoreceptorů. Izoptéra reprezentuje vždy jednu měřenou barvu.

Metoda statické perimetrie je přesnější. Velikost a lokalizace testovací značky zůstávají konstantní. Změnou jasu značky se určuje citlivost sítnice nebo práh senzitivity v daném místě. Opakovaným měřením prahové hodnoty v různých místech ZP se získá tvar konce vidění. Princip měření probíhá tak, že světelná značka standardní velikosti s různými prahovými a nadprahovými hladinami se promítá do jednotlivých bodů sítnice s cílem určit senzitivitu v těchto bodech. Počítač určuje práh citlivosti v jednotlivých bodech ZP a následně předpokládanou citlivost na světlo v odpovídajících částech sítnice. Srovnáním s normativní databází se zjišťuje statistická významnost získaného vyšetření a současně probíhá korelace s výsledky předcházejících vyšetření. Počítač určuje spolehlivost testu.

Perimetrie je schopna rozlišovat několik různých jevů, diagnosticky slouží perimetrie pro diagnostiku výpadků zorného pole nebo například glaukomu.

23 VYŠETŘENÍ ZRAKOVÉ OSTROSTI A BARVOCITU

23.1 Poznámky ke cvičení

Předpokladem zrakové ostrosti je lom světelných paprsků pocházejících ze sledovaného předmětu tak, že tyto paprsky dopadají do místa nejostřejšího vidění v centru sítnice (žlutá skvrna). Zraková ostrost klesá od centra sítnice směrem do periferie, kde jsou smyslové elementy od sebe více vzdáleny. V periferních částech sítnice je zraková ostrost až 20x nižší.

Rozlišovací schopnost oka

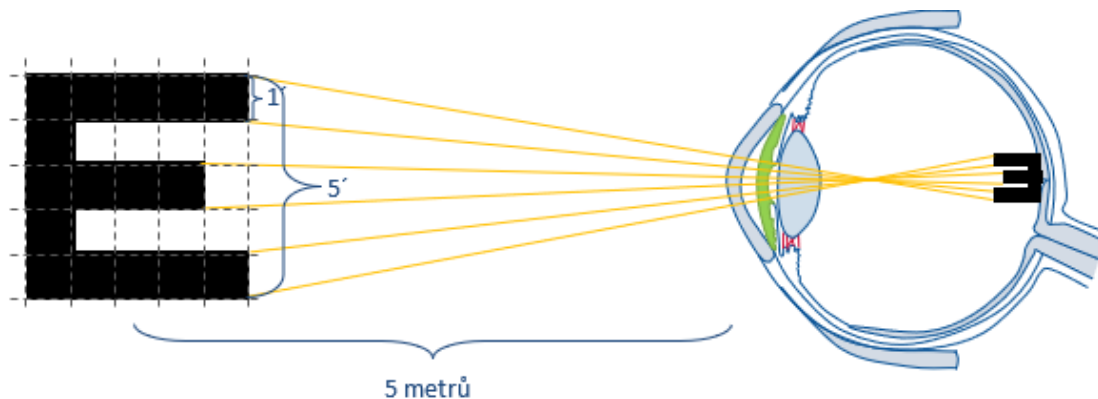
Při zjišťování zrakové ostrosti vycházíme z rozlišovací schopnosti oka (*minimum separabile*). Ta označuje minimální úhlovou vzdálenost dvou prostorově oddělených objektů (bodů), které jsme schopni rovněž vnímat odděleně. Abychom mohli dva body od sebe odlišit, musí v sítnici po osvětlení paprskem zůstat jeden čípek mezi dvěma sousedními neosvětlenými (schéma XOX, kde X představuje čípek osvětlený paprskem světla – aktivní a O čípek, který zůstal neosvětlený – inaktivní). Pokud bude vzdálenost sledovaných bodů menší než fyziologický práh citlivosti lidského oka, dojde k aktivaci dvou čípků bezprostředně vedle sebe (schéma XXX) a nám sledované body splynou do jednoho. Rozlišovací schopnost oka je tedy determinována jak velikostí samotných sensorických elementů – čípků, tak hustotou jejich rozmístění ve žluté skvrně. Úhlová vzdálenost u emetropického (zdravého) oka představuje 0,0003 radiánu, což odpovídá 1 úhlové minutě, resp. 1 MOA (*minute of angle*). Na základě goniometrického přepočtu platí, že z typické vyšetřovací vzdálenosti 5 m by vzdálenost dvou ještě rozlišitelných bodů byla přibližně 1,45 mm.

Mimo zmíněné fyziologické vlivy je zraková ostrost dále ovlivňována vlivy fyzikálními (vady optického systému, barva světla v místnosti, kontrast optotypů – nejčastěji černé znaky na bílém pozadí) a psychologickými (koncentrace, pozornost). Nelze opomenout také věk, kdy děti a mladiství mají obvykle zrakovou ostrost podstatně lepší než starší dospělí.

Vyšetření zrakové ostrosti (vizus)

Pro vyšetřování vizu se používají znaky (písmena, číslice nebo různé obrazce) nazývané optotypy (Obrázek 23-1). Nejčastěji jsou v praxi využívány tzv. Snellenovy optotypy, existují však i jiné optotypy např. logMAR, ETDRS apod. Aby byla vyloučena akomodace, jsou optotypy umístěny ve vzdálenosti 6 nebo 5 m (punctum remotum). Výsledná hodnota zrakové ostrosti – vizus (V) je zaznamenáván ve formě zlomku, v jehož čitateli je vzdálenost vyšetřovaného od optotypu v metrech a ve jmenovateli číslice napsaná na boku řádku, který vyšetřovaný přečetl bez chyby. Tato číslice odpovídá vzdálenosti, z jaké by daný řádek přečetlo emetropické oko. Lze konstatovat, že hodnota zlomku ≥ 1 označuje zdravé oko, hodnota < 1 sníženou zrakovou ostrost. Zlomek v praxi nedělíme, je ponechán v nezkráceném tvaru např. 5/5, 4/5 apod.

Vyšetření vizu probíhá pro každé oko zvlášť, protože binokulární vidění (vnímání obrazu současně oběma očima) má tendenci kompenzovat některé chyby zobrazení. Jinak řečeno: hodnocení zrakové ostrosti je směrodatné monokulárně (každé oko je vyšetřované separátně). Optometristu však při vyšetřování zájímá z pohledu celkové znalosti o vidění vyšetřovaného i jeho binokulární vizus. Je totiž možné, že jedno oko je slabší, ale druhé je schopné tento stav kompenzovat. Často se totiž v praxi optometristů objevují lidé, kteří mají na jednom oku vizus 3/5, na druhém oku 4/5, ale binokulární vizus je 6/5.



Obrázek 23-1 Princip vyšetření zrakové ostrosti pomocí Snellenových optotypů

Komentář: Celý optotyp je zakreslen do čtvercové sítě o velikosti 5 x 5 jednotek, přičemž tloušťka jeho čar a šířka mezer mezi nimi se rovná jedné jednotce shodné s mezní rozlišovací schopností zdravého oka (1 MOA).

Pro zjišťování zrakové ostrosti na blízko jsou využívány jiné optotypy a to tzv. Jaegrovy tabulky. Jedná se o odstavce textu očíslované zpravidla čísly 1-24 se zmenšující se velikostí textu. Důležité při vyšetření je zachování čtecí vzdálenosti 40 cm. Při normální zrakové ostrosti a normální akomodaci čte vyšetřovaný bez námahy text příslušné velikosti.

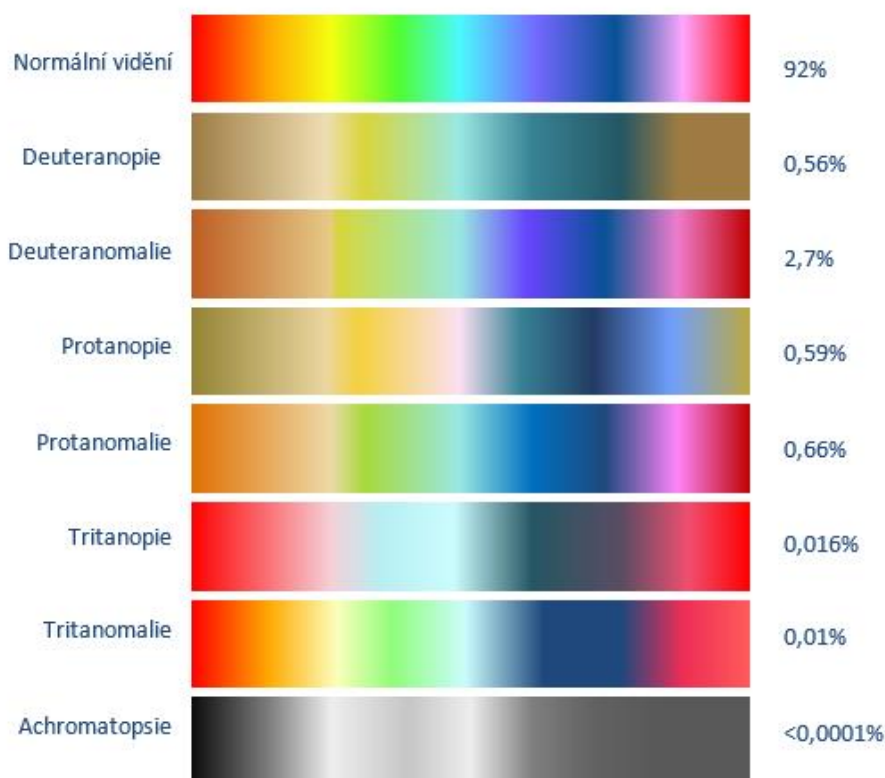
Barvocit a jeho poruchy

Barva je lidským okem obecně vnímána jako kombinace intenzit 3 nezávislých signálů (stimulů ze 3 druhů čípků citlivých na červenou, modrou nebo zelenou barvu).

Vrozená porucha barevného vidění lidského oka je obecně označována jako barvoslepost (daltonismus). Daltonismem obecně trpí častěji muži (9 % oproti 0,4 % u žen). Rovněž jsou častější poruchy vnímání červené a zelené barvy, porucha vnímání modré barvy není častá.

Podle stupně poruchy barevného vidění lze barvoslepost rozdělit do několika typů (Obrázek 23-2):

Anomální trichromázie je snížení schopnosti vnímat jednu ze základních barev (částečná barvoslepost). Čípky s příslušnou barevnou citlivostí reagují neadekvátně. U červené barvy se jedná o protanomálii, u zelené o deuteranomálii, u modré o tritanomálii.



Obrázek 23-2 Vnímání spektra viditelného světla u zdravých osob a u osob s poruchami barvocitu, včetně informace o procentuálním výskytu poruch barvocitu v populaci.

Zdroj: DOI:10.1145/2632048.2632091.

Dichromazie je vnímání pouze 2 barev, protože čípků pro třetí barvu zcela chybějí. Protanopie je absence čípků citlivých na červené světlo, analogicky pak mluvíme o deuteranopii (chybí čípků citlivé na zelené světlo) a tritanopii (chybí čípků citlivé na modré světlo).

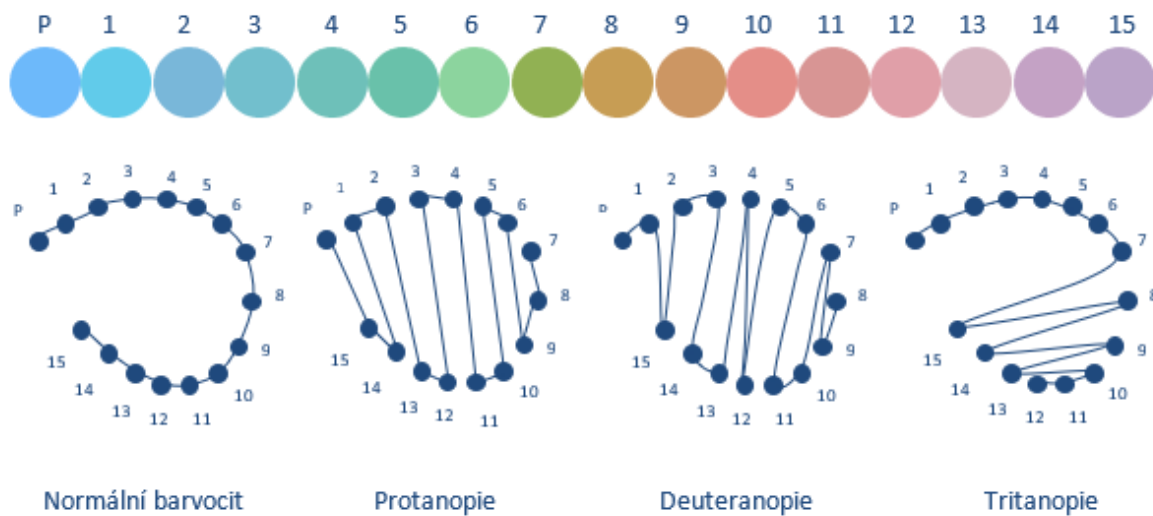
Monochromazie je vnímání pouze jedné barvy, která vznikne kombinací dvou dichromazií. Při současné protanopii a tritanopii bude tedy celý výsledný obraz v zeleném odstínu. Jako monochromazii lze označit také úplnou absenci barevného vidění (achromatopsie), kdy výsledný obraz je černobílý. Příčinou tohoto stavu může být dědičná nefunkčnost čípků, onemocnění sítnice, někdy i albinismus.

Vyšetření barvocitu

Pro diagnostiku poruchy vnímání barev nebo jejich odstínů slouží následující testy:

Farnsworth – Munsell 100 HueColor test: kromě barvocitu testuje i citlivost na odstín dané barvy. Vyšetřující na začátku definuje hraniční kostičky (např. modrá nalevo a červená napravo). Úlohou vyšetřovaného je seřadit za sebe kostičky daných barev podle odstínu tak, aby byl mezi po sobě jdoucími kostičkami patrný plynulý přechod. Kostičky na své spodní straně obsahují číslo (např. 1-15), hodnocení je

pak zjednodušeno na kontrolu číselné posloupnosti (očekáváte výsledek 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15, Obrázek 23-3).



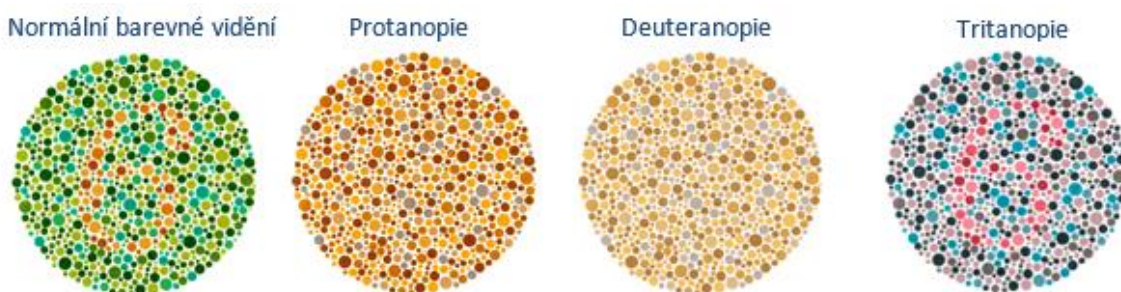
Obrázek 23-3 Farnsworth – Munsell HueColor test.

Komentář: Test odhaluje drobné odchylky nebo celé posunutí barevného spektra či výpadky. Nahoře – terčíky různé barvy jsou před vyšetřením zamíchány a jsou umístěny pod vhodný zdroj světla, tak aby nezkresloval odstíny. Dole – Výsledný graf usnadňuje rychle poznat případné výchylky barvocitu.

Hodnotí se počet záměn (chyb), ale i jejich typ. Když vyšetřovaný zamění dvě sousední kostičky (např. 5 a 6), jedná se o sníženou citlivost vnímání odstínu dané barvy. Pokud zamění kostičky 3 a 10, může se jednat o poruchu vnímání barvy jako takové.

Holgreem test: z množství barev je vyšetřovaný dotázán vyhledat stejnou barvu, jaká mu byla ukázána.

Ishihara tabulky: pseudoizochromatické tabulky obsahují obrazce tvořené barevnými body. V závislosti na postižení není buď vidět žádný obrazec nebo je vidět obrazec jiný než typický pro zdravého jedince (Obrázek 23-4).

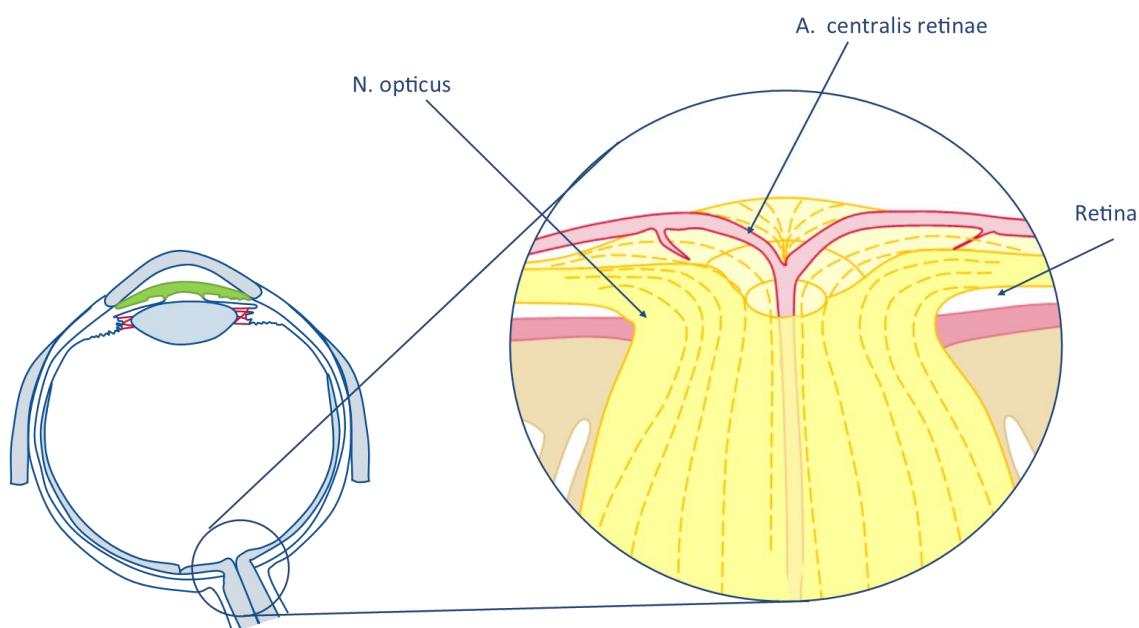


Obrázek 23-4 Ukázka obrazců z Ishiharovy tabulky.

24 ROZSAH SLEPÉ SKVRNY

24.1 Poznámky ke cvičení

Oko je složitý smyslový orgán převádějící viditelné světlo na elektrický signál, který dále zpracovává a vyhodnocuje zraková kůra mozku. Přenos informací ze sítnice do CNS zabezpečuje zrakový nerv (*n. opticus*).



Obrázek 24-1 Schematický náčrt levého oka.

Komentář: Schéma je doplněno lokalizací slepé skvrny v místě vstupu zrakového nervu (neobsahuje fotosenzorické buňky), navíc jeho středem prochází sítnicová tepna.

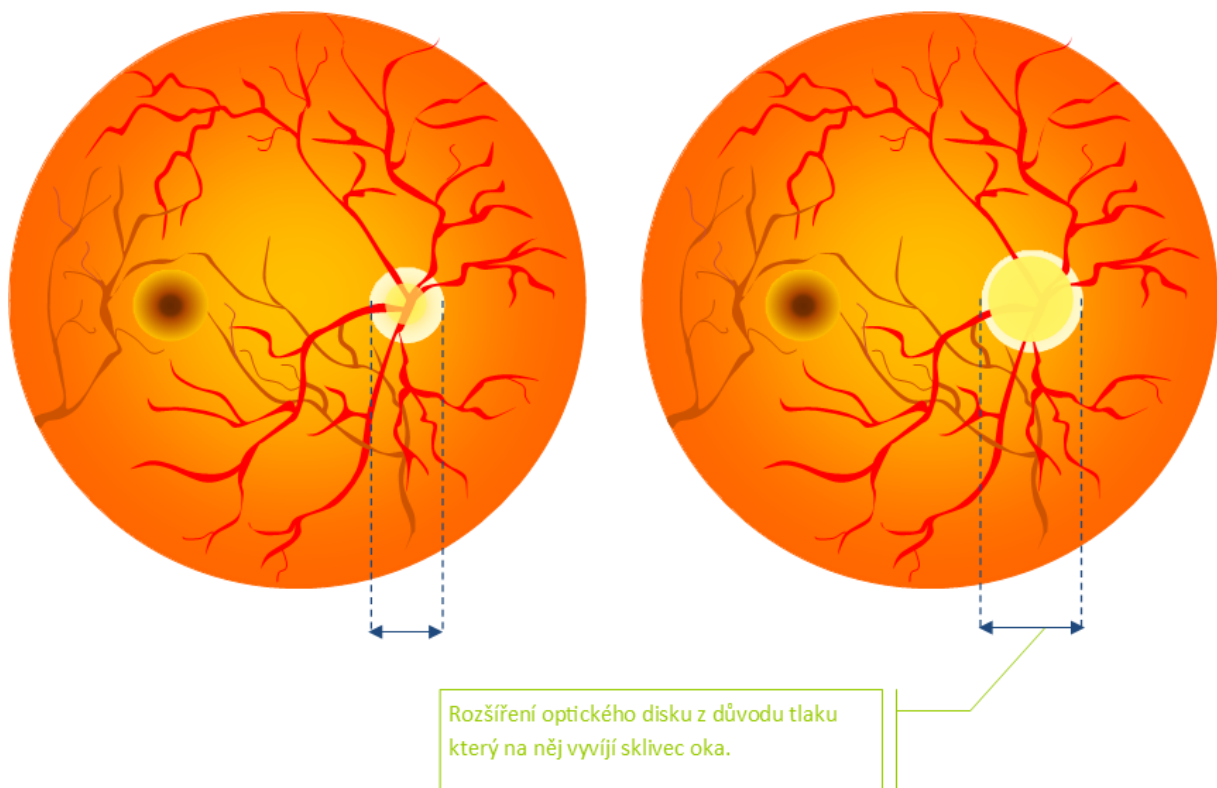
Výživa sítnice je zprostředkována tenkou větví oftalmické arterie (*a. centralis retinae*). Toto důležité propojení je lokalizováno v zadní části očního bulbu (Obrázek 24-1) a na oftalmoskopu jej možno vidět jako papilu (optický disk - viz Obrázek 24-2). V tomto místě (Mariottův bod) se nevyskytují žádné zrakové receptory, vzniká tak slepá skvrna (fyziologický skotom – výpadek zorného pole). V běžném životě však její přítomnost nevnímáme, mozek jí potlačuje. Každé oko má vlastní slepou skvrnu lokalizovanou na laterální (vnější) straně jeho zorného pole. Při současném pohledu oběma očima (binokulární vidění) je však slepá skvrna levého oka v zorném poli pravého a obráceně (nevnímáme výpadek obrazu). Přítomnost slepé skvrny lze tedy vnímat při vidění monokulárním (1 oko zůstává zakryto) pomocí tzv. Marriotova testu. V případě jakékoliv abnormality jak na úrovni senzoričkových buněk, nervového spojení, případně mozkové kůry může dojít rovněž k výpadku části zorného pole. Takový skotom však už označujeme za patologický.

Možnosti vyšetření

Oftalmoskopické vyšetření očního pozadí, při kterém lze kvalitativně hodnotit změny velikosti a tvaru tzv. optického disku (výstup papily zrakového nervu jako anatomickou strukturu v zadní části oka) a celého pozadí sítnice.

Pro hodnocení přítomnosti slepé skvrny jako výpadku zorného pole lze využít perimetrie, při které v oblasti 18-20° rozsahu měření v horizontální rovině, můžeme naměřit fyziologický skotom odpovídající právě slepé skvrně. Pokud však není významně změněna velikost slepé skvrny, není metoda příliš citlivá a použitelná pro přesnější diagnostiku.

Nejméně přesnou, nicméně velice dostupnou metodou, je Marriotův pokus pomocí Marriotova obrázku.



Obrázek 24-2 Snímek očního pozadí.

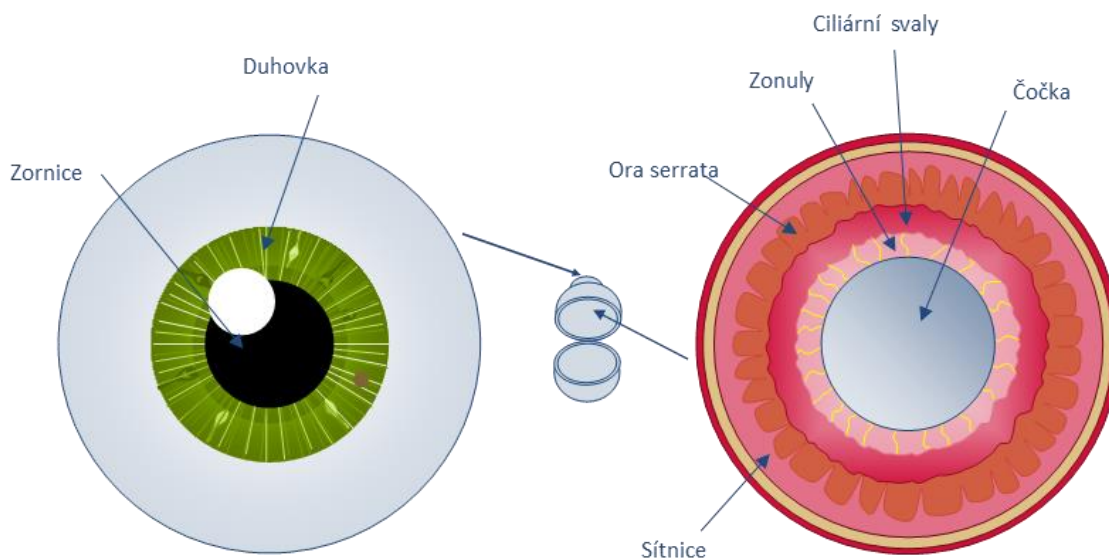
Komentář: Na snímku je vidět sítnice s jejími cévami, žlutou skvrnou i dalšími strukturami. Vlevo normální optický disk, vpravo zvětšený optický disk při postižení oka glaukomem (zelený zákal – zvýšení nitroočního tlaku).

25 AKOMODACE A SCHEINERŮV POKUS

25.1 Poznámky ke cvičení

Akomodace

Akomodace je proces, který umožňuje optickému aparátu oka lomit přicházející světelné paprsky tak, aby se setkávaly na sítnici v místě nejostřejšího vidění (tj. žlutá skvrna). Prakticky je tak člověk schopen vnímat ostře různě vzdálené předměty. Proces probíhá zvětšováním a zmenšováním optické mohutnosti čočky, čímž se zvyšuje nebo snižuje její lomivost pro procházející světlo. Pružná oční čočka lidského oka je uchycena na vlákních řasnatého tělíska (*corpus ciliare*), jejichž napětí je regulováno ciliárním svalem (Obrázek 25-1).

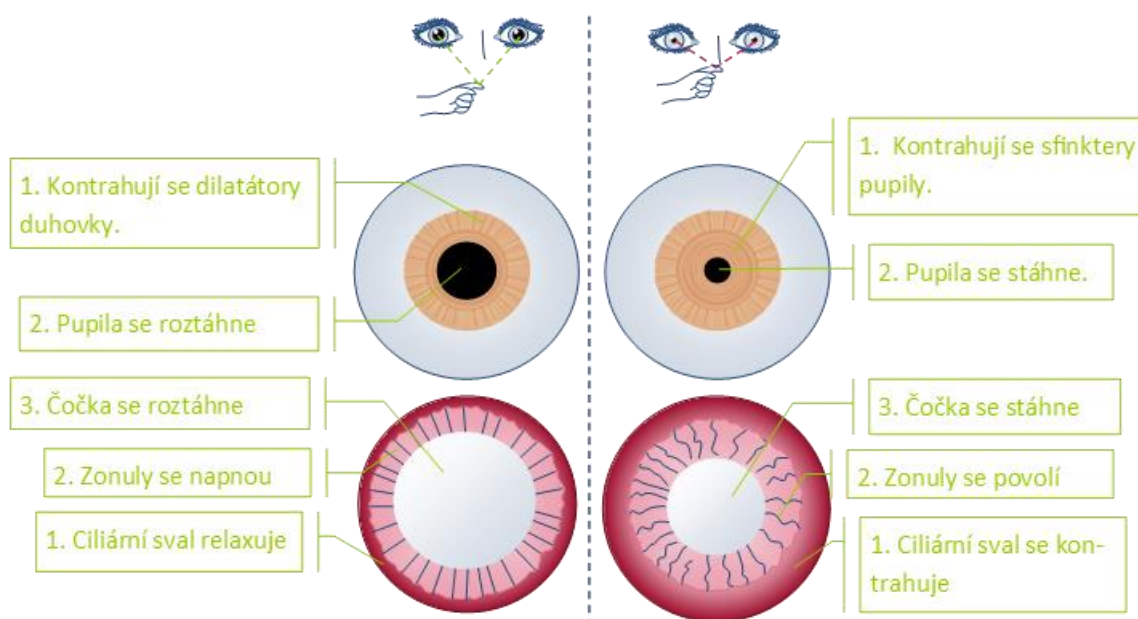


Obrázek 25-1 Pohled na oko zepředu a zezadu.

Komentář: Čočka je obklopena zonulami, jejichž napnutí je ovládáno ciliárním svalem.

Jsou-li v klidové situaci ciliární svaly uvolněny, je tah řasnatého tělíska čočka nejvíce zploštělá (optická mohutnost je nejnižší) a oko je tak zaostřeno na dálku.

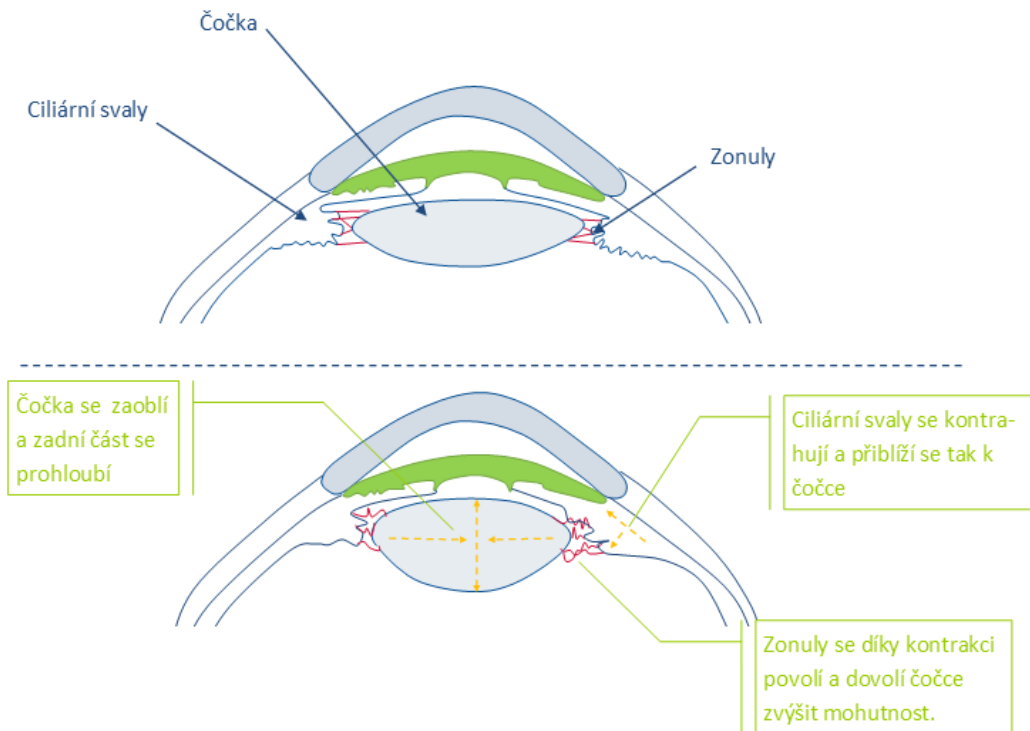
Při kontrakci ciliárních svalů se tah řasnatého tělíska sníží a čočka se vlastní elasticitou vyklene a její optická mohutnost se zvětší (Obrázek 25-3). Akomodace probíhá za normálních okolností podvědomě, lze ji však demonstračně vyvolat tím, že nějaký předmět záměrně rozostříme.



Obrázek 25-2 Schéma akomodace - změny v přední části oka (duhovka).

Akomodace čočky je doprovázena také aktivitou na přední části oka. V průběhu akomodace čočky dochází také k aktivitě svalů (sfinkterů) v duhovce (pupile). Dochází ke zmenšení prostoru, kterým prochází světlo, to znamená, že dochází k lepší fokusaci, ale na mnohem užší pole. Například: vidíme ostře špendlík blízko oka, ale vše kolem něj je již rozostřené. Naopak při relaxaci ciliárního svalu (čočka aktivně neakomoduje) dojde i k rozšíření duhovky, do oka vstupuje více světla, ale také více paprsků směřuje mimo fovea lutea, celkový obraz je sice širší, ale není tak ostrý.

Akomodace čočky v plném rozsahu proběhne v řádu desetin sekundy a při zaostřování do blízka je akomodace provázena současně také konvergencí optické osy obou očí (sbíhavost očí při pohledu do blízka) a zmenšením zornice (Obrázek 25-2).



Obrázek 25-3 Schéma akomodace oka – činnost ciliárních svalů.

Komentář: Akomodace oka probíhá pomocí součinnosti ciliárních svalů - jejich zonul a čočky. Díky kontrakci ciliárních svalů se může čočka více vyklenout a dosáhnout tak větší mohutnosti.

Optická mohutnost oka

Světlolomný aparát oka je tvořen rohovkou, čočkou, komorovou vodou a sklivcem. Optická mohutnost neakomodovaného oka je přibližně +60 D (dioptrie je jednotka popisující schopnost lomit paprsky světla), z čeho asi 70 % připadá na rohovku (+42 až +43 D). Fyziologicky je oko schopno měnit optickou mohutnost čočky v rozsahu přibližně +16 až +20 dioptrií (v závislosti na věku – u mladého člověka je rozdíl až 10 D). Toto dostačuje pro zaostření od vzdálenosti cca 7 cm až do nekonečna. Rozmezí, ve kterém vidíme body ostře, nazýváme akomodační šíře (udávaná v metrech). Komorová voda a sklivec se na celkové optické mohutnosti oka zásadnějším způsobem nepodílí.

Akomodace na blízko, punctum proximum

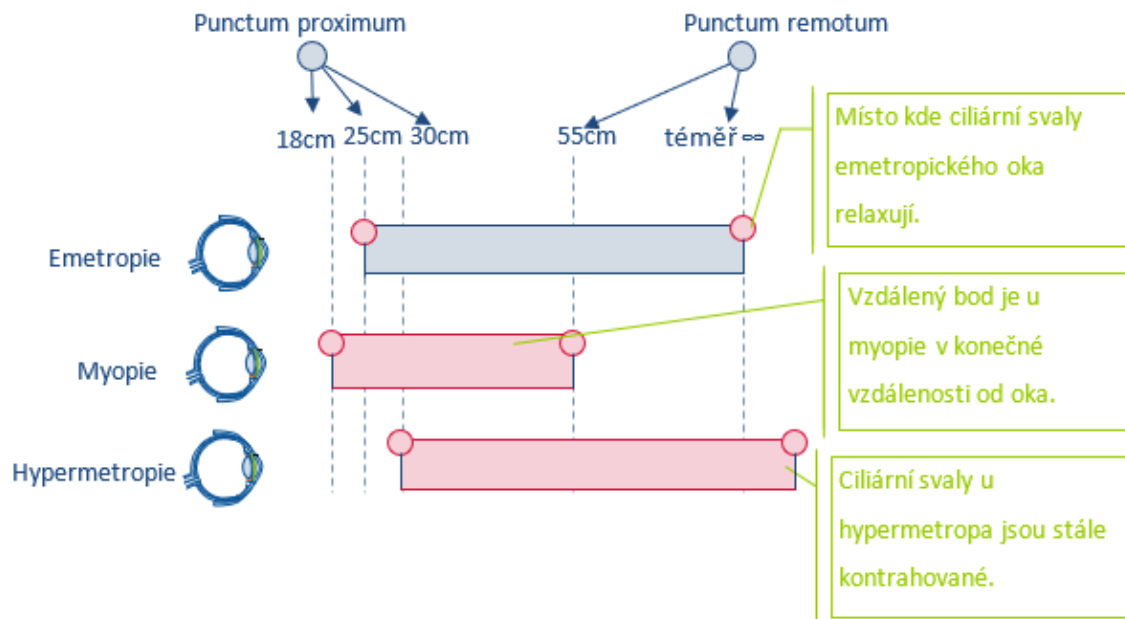
Při akomodaci na blízko dochází ke kontrakci ciliárního svalu, která vede k uvolnění vláken řasnatého tělíska. Čočka se po uvolnění závěsu vlastní elasticitou vyklene (změní poloměr zakřivení hlavně přední světlolomné plochy). Inervaci ciliárního svalu na akomodaci na blízko zajišťuje parasymptická dráha vegetativního (autonomního) nervového systému.

Blízky bod (punctum proximum) je nejbližší bod ležící na optické ose (Obrázek 25-4), který se při maximální akomodaci zobrazí na sítnici tak, že ho vnímáme ostře. Má základní význam při posuzování momentálního akomodačního výkonu oka.

Akomodace na dálku, punctum remotum

Při akomodaci na dálku dochází k uvolnění ciliárního svalu, které vede k natažení vláken řasnatého tělíska. Tento tah převyší vlastní elasticitu čočky, která se pod jeho vlivem oploští. Uvolněné oko je zaostřené do dálky, proto takový pohled je subjektivně nejpohodlnější.

Daleký bod (punctum remotum) je nejvzdálenější bod ležící na optické ose (Obrázek 25-4), který se při nulové akomodaci zobrazí na sítnici tak, že ho vnímáme ostře. Daleký bod emetropa leží teoreticky v nekonečnu, prakticky uvažujeme vzdálenost 5 m.



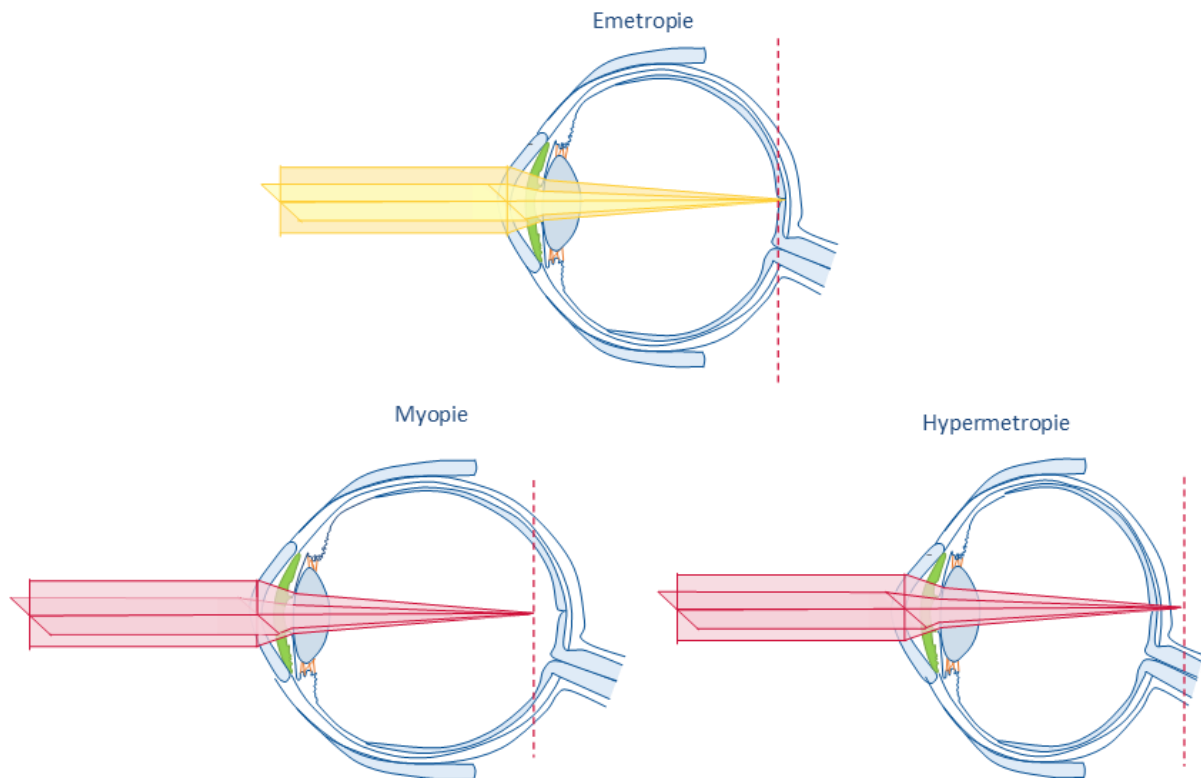
Obrázek 25-4 Blízký a vzdálený bod u zdravého oka (emetropie) a při základních refrakčních vadách.

Komentář: U emetropického oka (u něhož jde o téměř ideální lomivost světla) je vlivem maximální schopnosti měnit mohutnost čočky blízký bod cca v 25 cm. Na tento bod musí oko maximálně možné zvětšit mohutnost čočky. Naopak vzdálený bod je stav, kdy je čočka co nejméně mohutná. Myopické oko má rozsah ostrého vidění zúžené, na druhé straně vidí ostře blízké předměty, které emetropické ani hypermetropické oko nemůže ani akomodací zaostřit. Hypermetropické oko má rozsah výrazně vyšší, musí však používat akomodaci i na předměty v dálce, které by zdravé oko už akomodovat nemuselo. Tím dochází k přetěžování akomodačních svalů a možným zdravotním problémům jako bolesti hlavy a očí.

Poruchy akomodace

U emetropického oka procházejí paprsky světla takovou optickou soustavou, že se protínají v ohnisku na ploše sítnice. Pokud se paprsky protínají v ohnisku před nebo za sítnicí, hovoříme o refrakčních vadách (ametropické oko). Refrakční vady lze rozdělit na asférické (astigmatismus) a sférické (krátkozrakost, dalekozrakost).

Krátkozrakost (myopie) je sférická vada oka způsobená větší lomivostí optických prostředí (refrakční myopie), nebo příliš dlouhým očním bulbem vzhledem k optické mohutnosti oka (axiální myopie). Rovnoběžné paprsky dopadající do oka ze vzdáleného objektu, se protínají v ohniskové rovině ležící před sítnicí a obraz objektu na retině je rozostřen.



Obrázek 25-5 Vizualizace dopadu rovnoběžných paprsků do oka.

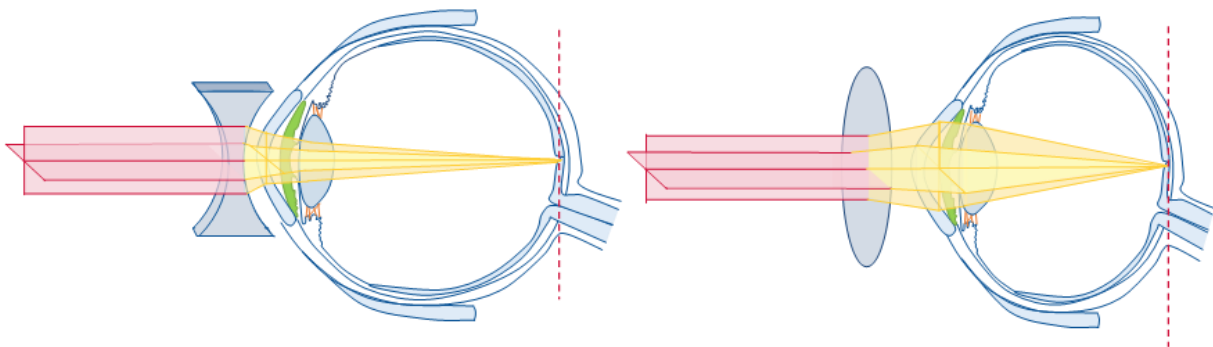
Komentář: Vizualizace dopadu rovnoběžných paprsků do oka a následná poloha ohniska, ve kterém se protínají. U zdravého – emetropického oka se tak děje na sítnici (obrázek nahoře). U refrakční vady je poloha ohniska neoptimální. V případě krátkozrakého oka (obrázek vlevo dole) se paprsky protínají před sítnicí, u dalekozrakého oka (obrázek vpravo dole) je ohnisko lokalizováno za sítnicí.

Aby mohl vzniknout ostrý obraz, musí být paprsky dopadající do oka nikoli rovnoběžné, ale rozbíhavé (divergentní). Tyto paprsky vyzařují nebo odrážejí předměty ležící blíže jak 6 m od pozorovatele. Vzdálený bod u oka myopického neleží v nekonečnu, ale ve vzdálenosti bližší než 6 m. U myopického oka je akomodační systém z výše uvedených důvodů relaxovaný. U krátkozrakého oka je proto blízký bod uložen blíže k oku ve srovnání s okem emetropickým (Obrázek 25-5). Korekce se provádí rozptylovými čočkami.

Dalekozrakost (hypermetropie) je sférická vada oka způsobená menší lomivostí optických prostředí (refrakční hypermetropie) nebo příliš krátkým očním bulbem vzhledem k optické mohutnosti oka (axiální hypermetropie). Rovnoběžné paprsky dopadající do oka ze vzdáleného objektu se bez akomodačního úsilí protínají v ohniskové rovině, kdy ohnisko leží teoreticky za sítnicí. Obraz vzdáleného bodu je tedy u oka hypermetropického neskutečný. Dalekozraké oko může vadu částečně kompenzovat tím, že akomoduje i

při pohledu na předměty vzdálenější než 6 m. Blízký bod je proto u hypermetropa více vzdálen ve srovnání s emetropem (Obrázek 25-6). Korekce se provádí spojnými čočkami.

Vetchozrakost (presbyopie), neboli tzv. stařecké vidění je způsobeno ztrátou elasticity čočky a zmenšenou schopností akomodace oka. Vzdálený bod zůstává nezměněn, vzdaluje se ale blízký bod. Postižený tak vidí rozostřeně blízké předměty, typicky vadu poznává u čtení (musí oddalovat text od sebe – “nemoc krátkých rukou”). Korekce se provádí předsazením spojně čočky, popř. bifokální čočkou (Obrázek 25-6). Presbyopie je jedním z projevů stárnutí organismu a lze ji označit za fyziologickou, proto se častokrát v odborné literatuře neřadí přímo mezi refrakční vady.



Obrázek 25-6 Korekce refrakční vady oka předsazením vhodné čočky.

Komentář: Korekce refrakční vady oka předsazením vhodné čočky tak, aby se paprsky vstupující do oka protínaly na sítnici v místě nejostřejšího vidění. Vlevo předsazená rozptylová čočka pro korekci myopie u krátkozrakého oka. Vpravo předsazená spojná čočka pro korekci hypermetropie u dalekozrakého oka.

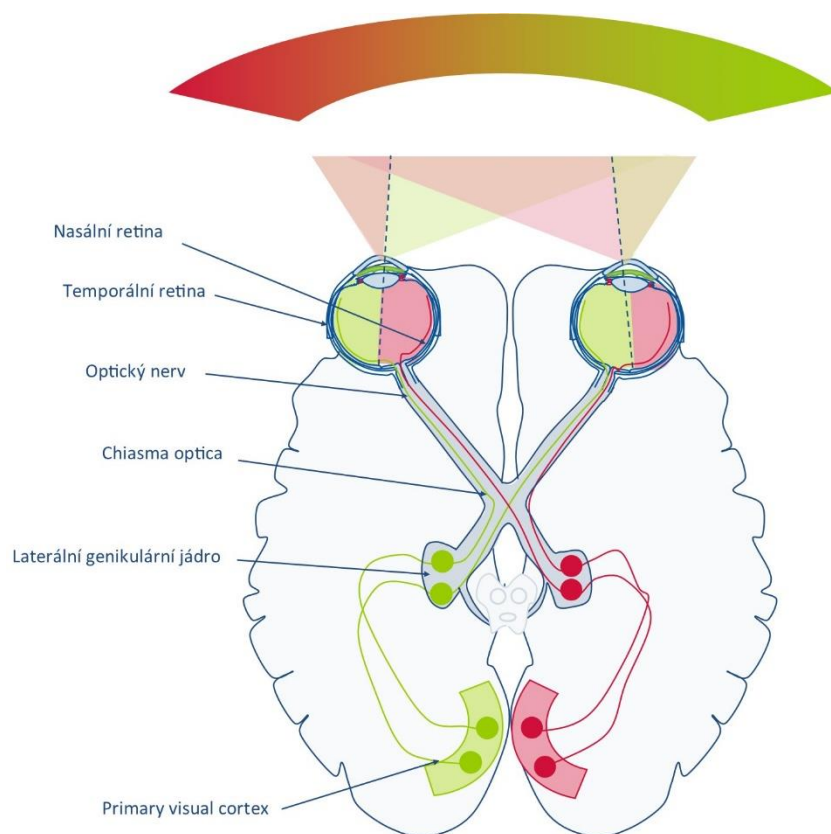
Scheinerův pokus

Je důležité si uvědomit, že imaginární optická osa procházející středem oka při pohledu před sebe dělí sítnici oka a také jeho zorné pole na dvě poloviny. S ohledem na Snellenův zákon lomu pak pravá část sítnice každého oka analyzuje světelné paprsky přicházející z levé části zorného pole a obráceně. Zpracování obrazové informace ve zrakové kůře probíhá pro každou část sítnice v jiné hemisféře. Pravá hemisféra zpracovává zrakovou informaci z pravé části sítnice obou očí, tedy levé části zorného pole a levá hemisféra z levé části sítnice, tedy pravé části zorného pole (Obrázek 25-7).

Pokud pozorovatel pohledem fixuje libovolný bod v dálce před sebou a my umístíme jakýkoliv předmět nalevo od něj do periferie, pravé i levé oko jej vnímá ve svém levém zorném poli. Obraz předmětu je promítán na pravou část sítnice obou očí, zraková informace je zpracována jenom v pravé hemisféře a pozorovatel skutečně vnímá nalevo daný předmět. Analogicky by probíhalo vnímání předmětu umístěného napravo od pozorovatele. Předměty v periferii vnímáme neostře, protože obraz nedopadá do oblasti žluté skvrny, ale na periferní části sítnice se sníženou plošnou hustotou fotosenzorických buněk. Pokud však předmět umístíme před pozorovatele v jeho blízkosti (pozorovatel pořád fixuje libovolný bod v dálce a čočka není akomodována), nachází se tento předmět v pravém zorném poli levého oka a v levém zorném

poli oka pravého. Z důvodu neoptimální akomodace čočky pro vnímání blízkých předmětů se paprsky sbíhají v ohnisku až za sítnicí a dopadají tak na obě části sítnice. Zraková informace z jednoho předmětu je tedy zpracována oběma hemisférami a pozorovatel vnímá předmět zdvojeně.

Cílem této verze Scheinerova pokusu je pochopit spojení mezi lomem paprsků v závislosti na optické mohutnosti čočky a vnímáním obrazu, který za těchto okolností vznikne na sítnici. Jinak řečeno, záleží na čočce, která strana retiny bude zpracovávat paprsek a jak se tedy bude výsledný obraz jevit. Scheinerův princip je dodnes součástí jednoho z typů automatických refraktometrů, přístrojů sloužících k objektivnímu posouzení refrakčních vad oka.



Obrázek 25-7 Schéma jednotlivých částí zrakové dráhy.

Komentář: Přerušení této dráhy na různých úrovních vede k úplnému nebo částečnému výpadku zorného pole.

Průkaz akomodace – Scheinerův pokus

Scheinerův pokus lze demonstrovat tak, že v blízkosti oční zornice (pupily) umístíme neprůhlednou clonu. Ta obsahuje dva bodové otvory, jejichž vzájemná vzdálenost je menší než průměr pupily. Každý z otvorů lze zakrýt záklopkou. Při sledování dvou objektů (červený a zelený špendlík) v různé prostorové hloubce přes danou clonu docílíme, že na sítnici dopadá z pozorovaného předmětu jen omezený počet paprsků světla. Pokud svůj pohled zaměříme na bližší špendlík (zelený), oko akomoduje (přizpůsobí optickou mohutnost

čočky) tak, aby se paprsky sbíhaly na sítnici v oblasti žluté skvrny. Toto nastavení oka je pro vnímání vzdálenějšího špendlíku (červeného) neoptimální a jeho obraz se jeví zdvojeně.

V první fázi pokusu sleduje vyšetřovaný bližší zelený špendlík, vzdálenější červený špendlík je tedy vnímán zdvojeně. Postupné uzavírání záklopek pak vede ke změnám v obraze - zaslepením jednoho z otvorů záklopkou dojde k vymizení jednoho ze zdvojených obrazů vzdáleného špendlíku. Důvody jsou tyto:

1. **Zorné pole** – pravá strana sítnice zpracovává levou stranu zorného pole a naopak (bez ohledu na levé a pravé oko). To také znamená, že pokud zamezíme záklopkou paprsku z jedné strany průchod do oka, nebude v závislosti na bodech 2. a 3. (viz níže) podrážděna světlem daná část sítnice a příslušný imaginární obraz vzdáleného špendlíku v zorném poli zmizí.

2. **Lom paprsků na rozhraní dvou prostředí** – při přechodu z prostředí s nižším indexem lomu (vzduch) do prostředí s vyšším indexem lomu dochází k lomu ke kolmici – paprsky mají tendenci se sbíhat k sobě (platí pro všechny přicházející paprsky, i pro ty ze vzdálenějšího špendlíku).

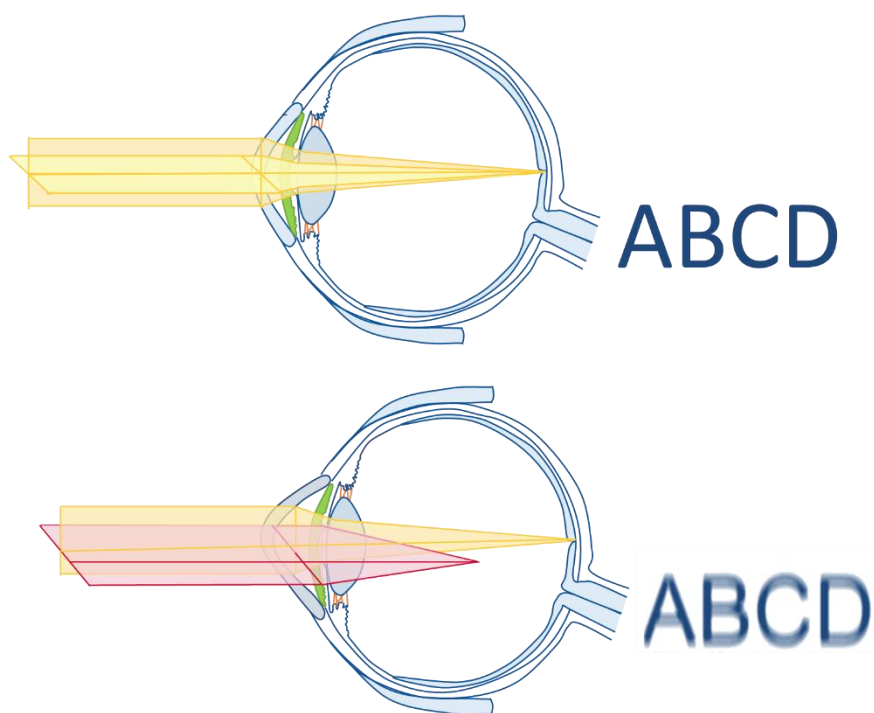
3. **Mohutnost čočky** – při akomodaci čočky na blízko bude její mohutnost výrazně vyšší než při její relaxaci. Paprsky se tak ke kolmici lámou mnohem více než při pohledu na dálku.

V druhé fázi pokusu sleduje vyšetřovaný vzdálenější špendlík, bližší tedy vnímá zdvojeně. Uzávěr otvoru clony záklopkou opět vede k vymizení jednoho ze zdvojených obrazů bližšího špendlíku, tentokrát však opačného než v předešlém případě. Jinak řečeno, fixace bližšího nebo vzdálenějšího špendlíku (rozdílná akomodace čočky) rozhoduje o tom, zda uzávěr clony pravou záklopkou povede k vymizení pravého nebo levého obrazu zdvojeného špendlíku, na který nezaostřujeme. Proto lze tento pokus považovat za průkaz akomodace čočky, změny jejích optických vlastností v závislosti na vzdálenosti předmětu, který chceme v různé hloubce zorného pole vnímat ostře.

26 ASTIGMATISMUS

26.1 Poznámky ke cvičení

Astigmatismus je vada způsobena asymetrickým zakřivením rohovky nebo zakřivením přirozených nitroočních čoček (Obrázek 26-1). Celkový astigmatismus vzniká spojením rohovkového (představuje největší část astigmatismu a zároveň jedinou, která se koriguje), čočkového a sítnicového astigmatismu. Astigmatismus, také nazývaný cylindrická oční vada, je ve většině případů vrozený. Nízký stupeň se objevuje u většiny lidí, neboť rohovka není téměř nikdy absolutně pravidelně zakřivená, nezpůsobuje ale žádné potíže, a proto nevyžaduje žádnou korekci. V některých případech se astigmatismus může objevit až v dospělosti, například v souvislosti s některými očními onemocněními – nezánětlivá i zánětlivá onemocnění rohovky, může se objevit po úraze či operacích rohovky.

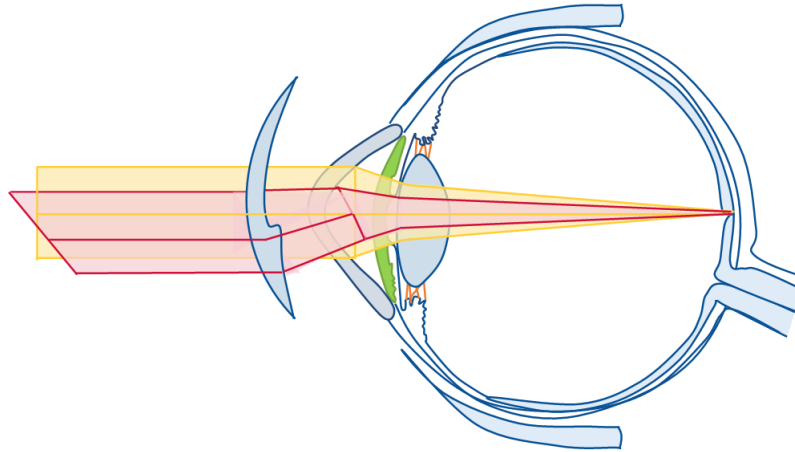


Obrázek 26-1 Princip vzniku astigmatismu.

Komentář: Nahoře – zdravá rohovka má pravidelný tvar, je hladká a světlo, které přes ni prochází, se lomí ve všech směrech a rovinách stejně. Dole – při astigmatismu je lomivá plocha oka v jedné rovině více zakřivená než v rovině na ni kolmé (zde horizontální). Světlo dopadající na místa s větším zakřivením se pak lomí jiným způsobem než v místech s menším zakřivením. Paprsky se nepotkají v jednom místě a míjejí se. Nepravidelné zakřivení tak způsobuje nerovnoměrné zaostření, vnímaný obraz může být v jedné rovině rozmazaný, zatímco v druhé rovině ostrý.

Lze rozeznat maximální a minimální zakřivení ve dvou rovinách na sebe kolmých. Tyto roviny nazýváme hlavní meridiány. Rozdíl optické mohutnosti mezi oběma meridiány, vyjádřený v dioptriích, charakterizuje stupeň astigmatismu.

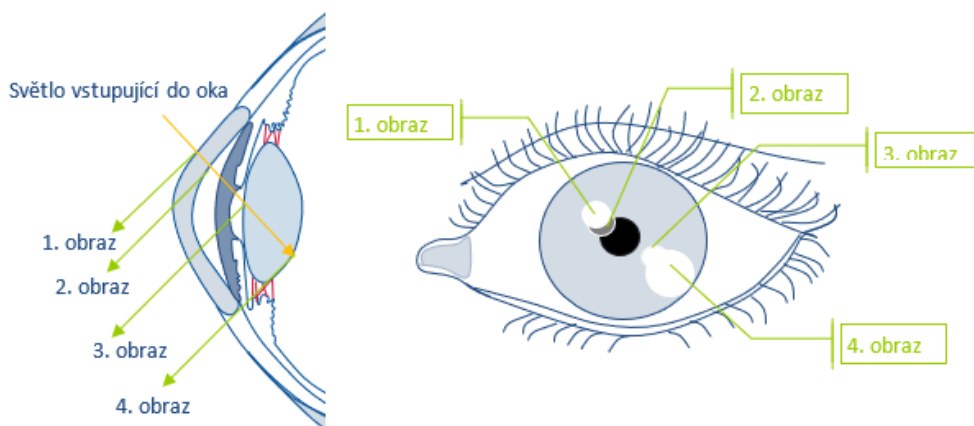
Na korekci se používají torické (cylindrické) čočky, které lomí světlo v jedné ose jinak než v druhé ose. Tím se kompenzuje asymetrický tvar rohovky (Obrázek 26-2).



Obrázek 26-2 Korekce horizontálního astigmatismu torickými čočkami.

Hodnocení astigmatismu

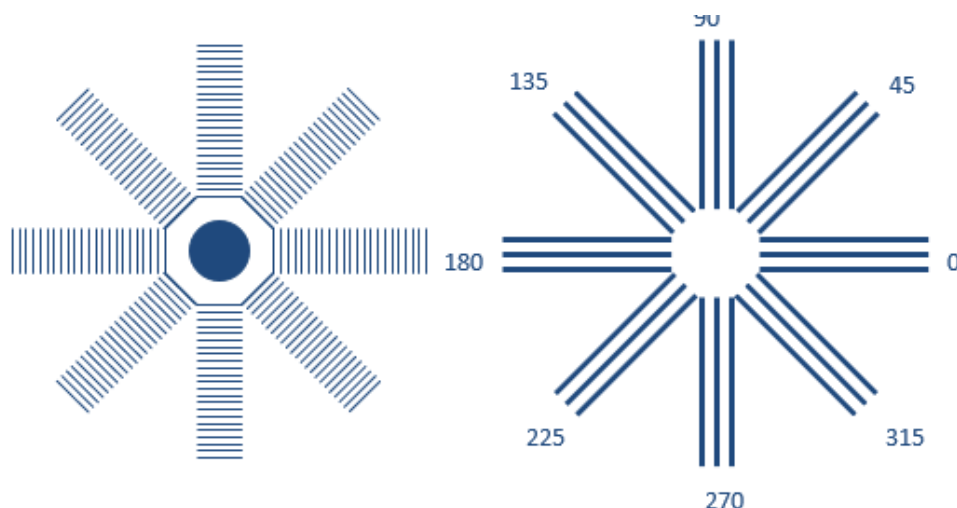
Objektivně lze zjistit astigmatismus vyššího stupně pozorováním zkreslení obrazu vytvořeného při vyšetření oka pomocí Purkyňových obrazů (Obrázek 26-3). Purkyňovy obrazy vznikají odrazem od různých struktur oka při jeho nasvícení. V případě přítomnosti astigmatismu se pak první Purkyňův obraz zobrazí deformovaně (kruh jako elipsa).



Obrázek 26-3 Purkyňovy obrazy

Komentář: Když světlo vstupuje do oka, vytváří se na každém rozhraní optického povrchu odraz (Purkyňovy obrazy). První odraz se projeví na povrchu rohovky, druhý na zadní straně rohovky, třetí na předním povrchu čočky a čtvrtý na zadním povrchu čočky. Druhý a třetí obraz nemusí být vždy vidět, záleží na zakřivení rohovky a čočky a na úhlu, ve kterém vstupuje světlo do oka.

Subjektivně se lze o astigmatismu přesvědčit pozorováním obrazců, složených z jemných rovnoběžných linií, jež jsou v jednotlivých segmentech orientovány různým směrem (Obrázek 26-4). Linie, jejichž směr je kolmý k rovině odchylně zakřivených poledníků, splynou ve stejnoměrně šedou plochu. Mezi takové subjektivní samovyšetřovací metody patří vyšetření pomocí Fuchsova obrazce. Fuchsův obrazec tvoří růžice, jejíž paprsky jsou složeny z dosti jemných příčných proužků. Pozorujeme-li tento obrazec ze vzdálenosti tří metrů (každé oko vyšetřujeme samostatně), přičemž oko fixuje střed růžice, vidíme jen některé z paprsků růžice.

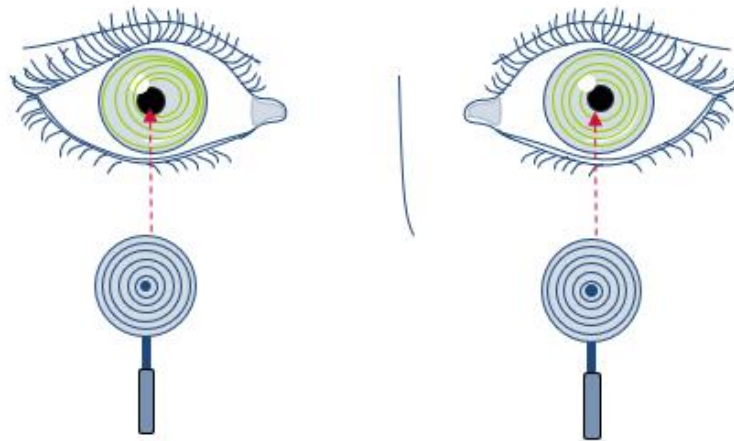


Obrázek 26-4 Fuchsovy obrazce (kerataskopy).

Komentář: Obrazce jsou umístěny ve vzdálenosti 3 m od testované osoby, která fixuje vždy střed obrazce a zároveň sleduje, zda paprsky z něho vycházející vnímá rovnoměrně proužkovaně. V případě astigmatismu se „slévají“ čáry do sebe nebo tvoří jiný tvar než kružnici.

Některé paprsky vidíme jako příčně pruhované, kdežto jiné, zpravidla k nim kolmé paprsky, jsou stejnoměrně šedé nebo alespoň jejich proužkovaná struktura je méně zřetelná. Metoda je velmi citlivá, dá se jí prokázat i astigmatismus fyziologický.

Subjektivní metoda vyšetření astigmatismu probíhá pomocí Placidova keratoskopu (Obrázek 26-5). Metoda je podstatně méně citlivá než metoda pomocí Fuchsovy růžice a nelze jí zjistit fyziologický astigmatismus. Keratoskop je bílý kruhový terč s pozorovacím otvorem uprostřed, v němž je umístěna silnější lupa. Kolem otvoru jsou silnými čarami nakresleny soustředné kružnice. Keratoskop přiložíme zadní stranou k vlastnímu oku a přiblížíme se oku vyšetřovaného tak blízko, aby obraz kružnice na rohovce zaplnil celou plochu rohovky pozorovaného oka. Na normální rohovce se tvoří kruhový obraz soustředných kružnic, je-li přítomen astigmatismus jsou kružnice elipsovitě deformovány. I při jiných nepravidelnostech rohovky se objeví výrazná deformace rohovkového obrazu.



Obrázek 26-5 Vyšetření pomocí Placidova keratoskopu.

Komentář: Placidovým keratoskopem sleduje vyšetřující přes jeho střed oko (zornici) pozorované osoby (obraz kruhů se v zornici odráží). Při nepřítomnosti významného astigmatismu vyšetřující pozoruje rovnoměrné kruhy (obrázek vpravo), při astigmatismu se objevují elipsy nebo jiné deformace (obrázek vlevo).

27 ČASOVÁ A PROSTOROVÁ SUMACE U KOSTERNÍHO SVALU

27.1 Poznámky ke cvičení

Myografie a elektromyografie

Myografie je metoda umožňující registraci kontrakce kosterního svalu. Naopak elektromyografie (EMG) je metoda sloužící k registraci elektrické aktivity svalu z povrchu těla diskovými elektrodami nebo přímo z vlastního svalu vpichovými elektrodami.

Stavba svalového vlákna

Základem svalového vlákna jsou kontraktilní filamenta: tenké filamentum aktin a tlusté filamentum myozin. Myozinové filamentum je tvořeno tyčinkovitým úsekem, z kterého se oddělují globulární "hlavové" úseky. Hlavice myozinu se za spotřeby ATP pohybují („ťapkají“) po aktinu. Tenké myofilamentum je tvořeno aktinem. K aktinu se přikládá vlákno tropomyozinu, které schovává vazebná místa pro myozinovou hlavici. Vazebné místo pro myozin se na aktinu odhaluje až po navázání vápníkového iontu na troponin C. Až vyplavení vápníku do cytoplazmy umožňuje navázání myozinu na aktin (myozin má k aktinu velkou afinitu). ATP je také potřeba k odpojení myozinu od aktinu a k narovnání hlavice, která se pak připojí na další vazebné místo, čímž se vlákno posune dále po aktinu.

Typy svalových vláken:

- S (slow = pomalé) – málo se unaví, výhodné při dlouhodobém výkonu, mnoho mitochondrií, dobře prokrvené, mnoho myoglobinu
- F (fast = rychlé) – rychlé kontrakce, rychle se unaví, hodně glykogenu, málo myoglobinu

„Spřažení excitace – kontrakce“ u kosterního svalu

Kosterní sval je inervován alfa motoneurony uloženými v předních rozích míšních a jejich axony končí na nervosvalové ploténce (synapse se svalovým vláknem). Příchodem akčního potenciálu dojde k vylití acetylcholinu do synaptické štěrbiny. Acetylcholin se váže na acetylcholinové receptory (nikotinové) na postsynaptické membráně inervovaného svalu. Svou vazbou na acetylcholinový receptor způsobí otevření sodíkových kanálů a vznik depolarizačního ploténkového potenciálu. Pokud depolarizace na membráně svalového vlákna (sarkolemě) přesáhne prahovou hodnotu, vzniká akční potenciál. Akční potenciál se šíří po sarkolemě i do oblasti T-tubulů, kde je cytoplazmatická membrána blízko sarkoplazmatického retikula (vytvářející triády – cisterny dvou sarkoplazmatických retikul přiléhající k T-tubulu). Sarkoplazmatické retikulum je membránová organela schopná skladovat, uvolnit a odčerpávat Ca^{2+} ionty. Příchodem akčního potenciálu vede k vyplavení Ca^{2+} iontů ze sarkoplazmatického retikula. Vápník pak umožní navázání myozinu na aktin.

Není-li přítomen vápník v cytoplazmě, nedochází ke spojení vláken. Je-li přítomen vápník v cytoplazmě, ale je nedostatek ATP, dochází k trvalému spojení aktinu a myozinu a „zatuhnutí svalového vlákna“ (příčina posmrtné svalové ztuhlost – tzv. rigor mortis).

Nepřichází-li další akční potenciál, jsou vápníkové ionty rychle „vyklizeny“ zpět ze sarkoplazmy (cytoplazma svalové buňky) do sarkoplazmatického retikula. Snížení koncentrace vápníkových iontů v sarkoplazmě vede k zakrytí vazebných míst na aktinu pro myozinové hlavice. Nastává relaxace svalu.

Motorická jednotka

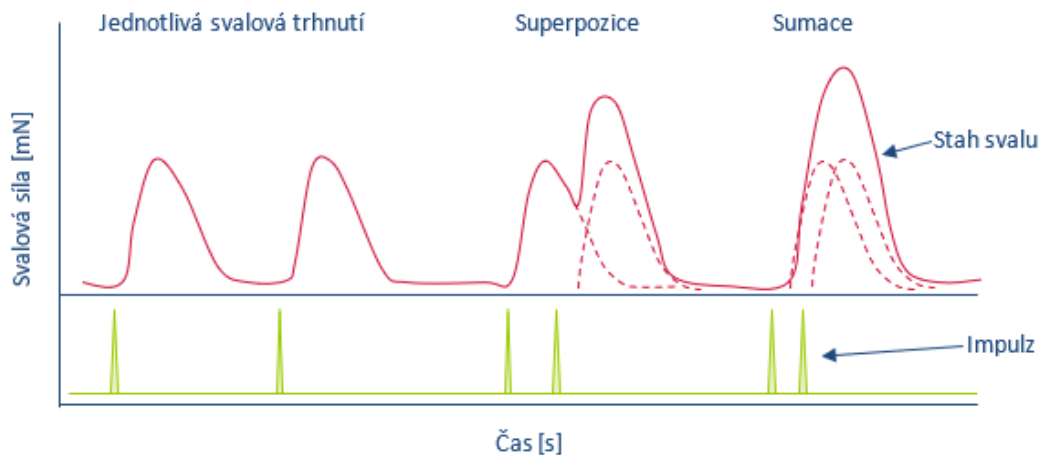
Množství svalových vláken inervované jedním alfa motoneuronem nazýváme motorickou jednotkou. Velikost motorické jednotky se liší dle typu svalu. Nejmenší motorickou jednotku najdeme v okohybných svalech, což zajišťuje dokonalou přesnost pohybu. Naopak největší motorické jednotky se nacházejí v antigravitačním posturálním svalstvu.

Stupňování síly kontrakce u kosterního svalu

Odpovědí na podráždění alfa motoneuronu je stah svalových vláken, inervovaných tímto motoneuronem. Jedna kontrakce svalu vyvolaná jedním podnětem se nazývá svalové trhnutí. Myografický záznam má část vzestupnou, odpovídající postupnému zkracování svalu, vrchol a část sestupnou, odpovídající postupnému ochabování svalu. Trvání vzestupné a sestupné části křivky je rozdílné u různých svalů (v závislosti na podílu rychlých a pomalých vláken) a u téhož svalu se mění v závislosti na stavu svalové tkáně a na zevních faktorech (např. teplota). Stupňování síly stahu kosterního svalu je zajištěno dvojím způsobem, a to prostorovou a časovou sumací.

Časová sumace

Časová sumace spočívá ve zkracování intervalu mezi jednotlivými podrážděními, při zvyšování frekvence akčních potenciálů. Jednotlivý izolovaný podnět vede k trhnutí svalového vlákna, ale nevede k maximálnímu možnému zkrácení. Zvýšení frekvence akčních potenciálů vede k další stimulaci svalového vlákna, a to ještě v průběhu předcházejícího trhnutí, tedy v době, kdy svalové vlákno nestačilo plně relaxovat na klidovou délku. Dochází tak ke dvěma možným stavům – superpozici nebo sumaci (viz Obrázek 27-1).

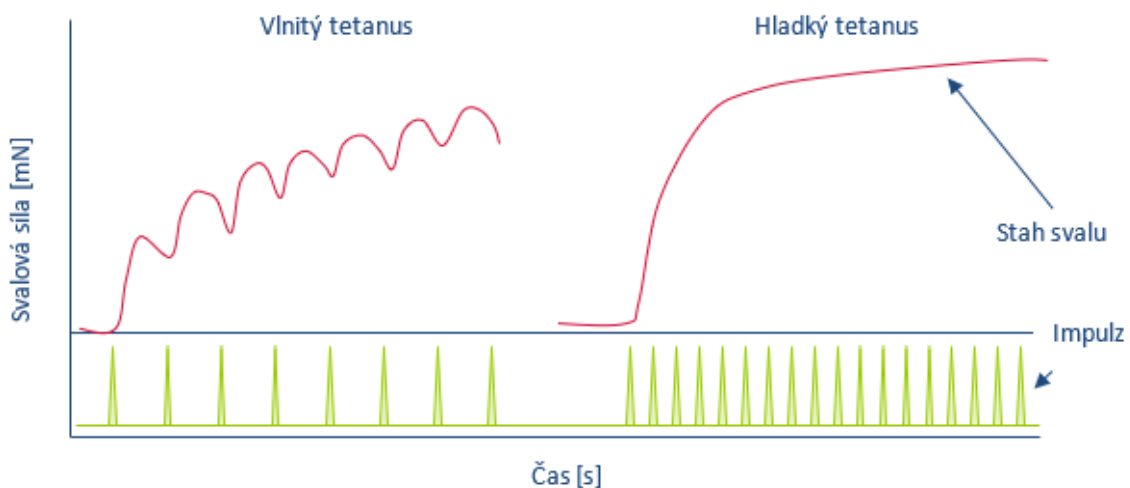


Obrázek 27-1 Vznik superpozice a sumace u kosterního svalu.

Při superpozici nastupuje druhý podnět v průběhu ochabování vlákna (na sestupné části křivky), u sumace se objevuje dříve, a to v období vlastního zkracování (na vzestupné části křivky).

(Poznámka: superpozice je typ sumace – v předchozí textu mírně zjednodušíme popisy křivek, správně bychom měli psát o superpozičním typu sumační křivky, a o „čistě“ sumačním typu křivky)

Série podnětů o frekvenci vyvolávající superpozici vede k vlnitému (neúplnému) tetanickému stahu. Při sérii podnětů o frekvenci vyvolávající sumaci vzniká úplný tetanický stah – hladký tetanus (viz Obrázek 27-2).

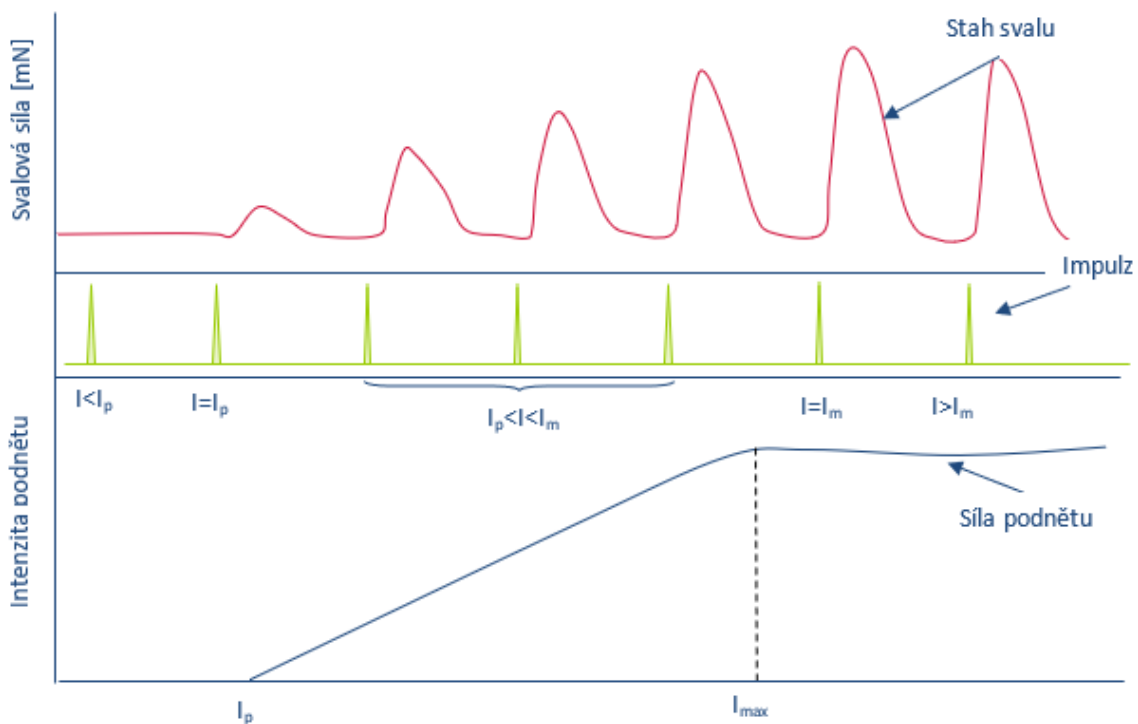


Obrázek 27-2 Vznik vlnitého a hladkého tetanického stahu.

Proč je síla stahu při zvyšování frekvence podnětů větší? Zvyšování frekvence podnětů vede k častějšímu vyplavování vápníku do cytoplazmy, vápník není vyklízen zpět do sarkoplazmatického retikula dostatečně rychle a jeho koncentrace v plazmě zůstává vysoká. Více vápníku se tak váže na troponin C a tím se zvětšuje počet odhalených vazebných míst na aktinu pro myozin, vzniká více vazeb mezi vlákny a síla stahu tak roste.

Prostorová sumace

Při prostorové sumaci dochází k současné aktivaci většího počtu alfa motoneuronů označované jako „nábor motorických jednotek“ a tím podmíněnou kontrakci svalových vláken. Množství aktivovaných motorických jednotek je přímo závislé na velikosti intenzity podnětu a době jejího působení, tzn. čím větší je intenzita podnětu, tím vyšší bude síla stahu. Toto ovšem platí pouze v určitých hranicích. Je-li intenzita podnětu nižší než prahová intenzita I_p , žádná motorická jednotka se neaktivuje a ke kontrakci nedojde. Naopak přesáhne-li intenzita podnětu maximální intenzitu I_{max} , s dalším zvyšováním intenzity se již síla stahu nebude stupňovat. V tomto okamžiku se na kontrakci podílejí všechny motorické jednotky daného svalu a více jich už nabrat nelze (Obrázek 27-3).



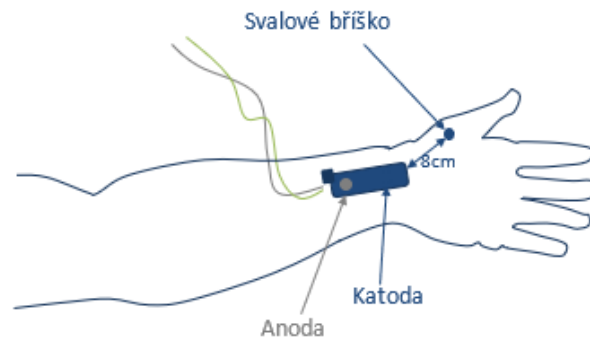
Obrázek 27-3 Závislost síly stahu na intenzitě podnětu.

Komentář: I_p je prahová intenzita, kdy se začínají stahovat první svalová vlákna. I_{max} je maximální intenzita, kdy jsou nabrány všechny motorické jednotky.

V klinické elektrofyziologii se pro stimulaci nervů používají stimulátory generující pravoúhlé elektrické pulzy různé délky, obvykle od 0,1 do 1 ms. Intenzita stimulu může být nastavována v mV nebo v mA (nastavení v mA je považováno za vhodnější). V klinice se kromě povrchových elektrod využívají také jehlové elektrody, které se mohou lépe přiblížit zkoumanému svalu nebo nervu.

V praktickém cvičení použijeme tzv. izolovaný stimulátor zabudovaný do zesilovače systému PowerLab. Při takové stimulaci proud prochází lokálně pouze tkání mezi oběma póly stimulační elektrody. Provedeme

stimulaci musculus abductor pollicis brevis povrchovou bipolární stimulační elektrodou přiloženou na volární stranu zápěstí, nad průběh n. medianus.



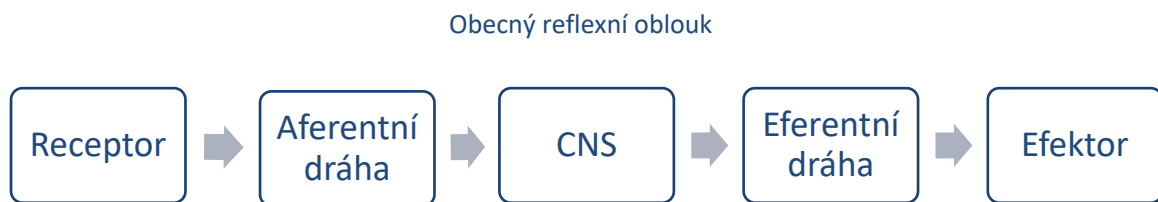
Obrázek 27-4 Schéma zapojení elektrody na předloktí.

Komentář: Stimulační elektroda má dva póly: negativní (katoda) a pozitivní (anoda). K depolarizaci dochází pod katodou, pod anodou naproti tomu k hyperpolarizaci. Při bipolární stimulaci (kompaktní povrchová stimulační elektroda) jsou oba póly uloženy podél nervu asi 2–3 cm od sebe, katodou blíže k registrovanému svalu (v případě snímání sumačního akčního svalového potenciálu katodou blíže snímací aktivní elektrodě). Při monopolární stimulaci je katoda uložena nad nervem, zatímco anoda je v určité vzdálenosti od nervu.

28 REFLEXY U ČLOVĚKA

28.1 Poznámky ke cvičení

Reflex je automatická mimovolní odpověď na nervový podnět. To znamená, že jde o základní funkční jednotu nervového systému, která udává, jakým způsobem tělo reaguje na podněty. Aby reflex proběhl, musí projít cestou od dráždění až po konečnou podobu reflexní odpovědi, tato cesta se nazývá reflexní oblouk. Každý reflexní oblouk je tvořen receptorem, aferentní dráhou (dostředivá), centrem, eferentní dráhou (odstředivá) a efektem (Obrázek 28-1).



Obrázek 28-1 Schéma obecného reflexního oblouku (CNS – centrální nervová soustava).

Smyslem reflexů (zejména somatických) je ochrana (snížení intenzity škodlivého podnětu) nebo korekce nechtěných změn. Vyvolání reflexu vede k stereotypní reflexní odpovědi, která je do jisté míry pod vlivem nadřazených struktur CNS. Na alfa motoneuronu tak dochází k integraci signálů z vyšších oddílů CNS, především motorické kůry a z drážděných receptorů cestou aferentních drah.

Čím více synapsí se nachází v reflexním oblouku, čím komplexnější je reflex, tím více může být modulován z vyšších nervových center. Jelikož jednotlivé reflexy mají striktně definované dráhy, jejichž poškození vede k změně reflexní odpovědi, umožňuje vyšetření reflexů přesně topicky lokalizovat místo léze nervového systému.

Typy reflexů

Podle uložení receptoru:

Interoreceptorový – receptor přijímá informaci z vnitřního prostředí

- Proprioreceptorový – receptor je umístěn v pohybovém aparátu, je součástí efektorového orgánu (proprioreceptor – svalové vřeténko, šlachové tělísko, receptory v kloubech)
- Viscerální – receptor je v orgánech (například chemoreceptory, baroreceptory)

Exteroreceptorový – receptor přijímá informace z vnějšího prostředí

- Kožní (receptory dotyku, tlaku, bolesti, tepla, chladu, ...)

- Smyslové (receptorem je smyslový orgán: oko, ucho včetně vestibulárního systému, chuťové a čichové buňky, ...)

Podle efektorů

- Somatické (např. proprioreflexy)
- Autonomní (vegetativní, např. baroreflex, dávicí nebo kýchací reflex; mnoho autonomních reflexů obsahuje i somatickou složku)

Podle získání reflexu

- Vrozené – nepodmíněné
- Získané – podmíněné

Podle toho, kde je centrum reflexu

- Centrální – centrum v CNS (mozek, mícha)
- Extracentrální – centrum mimo CNS (gangliový, axonový reflex)

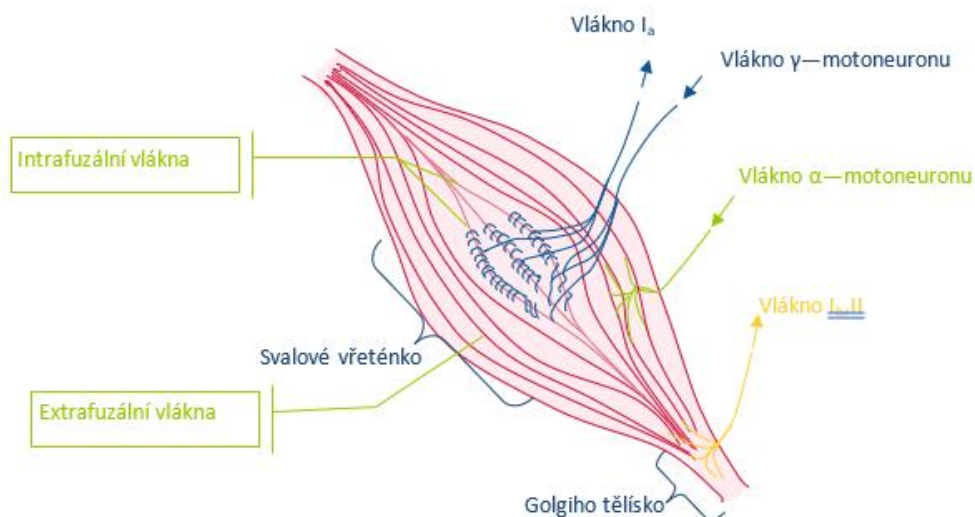
Podle počtu neuronů (počtu synapsí mezi aferentním a eferentním neuronem)

- Monosynaptické (např. napínací reflex)
- Bisynaptické – do reflexní dráhy je zařazen jeden interneuron (např. obrácený napínací reflex)
- Polysynaptické – do reflexního oblouku jsou zařazeny dva a více interneuronů (např. flexorový a extenzorový reflex)

Proprioreceptory a proprioreflexy

Proprioreceptory jsou tzv. svalové vlastní receptory (z lat. proprius = vlastní), které se účastní proprioreflexů.

Proprioreflex je totiž reflex, kde je receptor umístěn v efektorovém orgánu. Do proprioreceptorů patří svalové vřeténko, šlachové (Golgiho) tělísko a receptory v kloubech (Obrázek 28-2). Svalové vřeténko je receptorem napínacího reflexu a šlachové tělísko je receptorem obráceného (inverzního) napínacího reflexu (brání přetržení šlachy). Vzhledem k umístění receptorů v pohybovém systému je jejich hlavní funkcí registrace a regulace polohy a pohybu těla a udržování svalového tonu a rovnováhy (odolávání gravitaci).

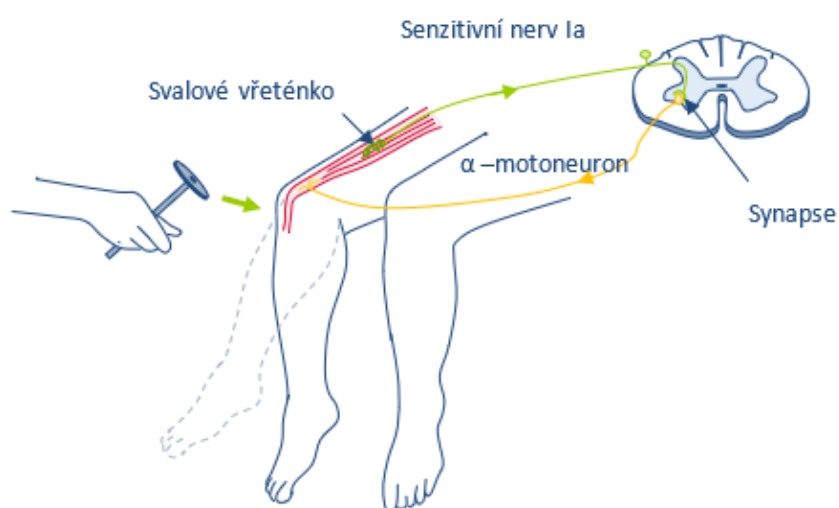


Obrázek 28-2 Schematický popis svalového vřeténka.

Komentář: Svalové vřeténko reguluje délku svalu. Golgiho aparát uložený ve šlaše reaguje na svalové napětí.

Napínací reflex – regulace nechtěného protažení svalu

Receptorem napínacího reflexu je svalové vřeténko. Svalové vřeténko je umístěno paralelně s ostatními (extrafuzálními) svalovými vlákny (Obrázek 28-3). Skládá se z několika intrafuzálních vláken, které mají nekontraktilní střed a kontraktilní konce. Na nekontraktilní části vřeténka jsou umístěna zakončení aferentního nervového vlákna typu Ia. Tato zakončení jsou citlivá na protažení. Kontraktilní část vřeténka je inervována eferentním γ -motoneuronem. Vřeténko může měnit svoji délku, a tím i senzitivitu. Funkcí napínacího reflexu je regulovat délku svalu.



Obrázek 28-3 Napínací reflex.

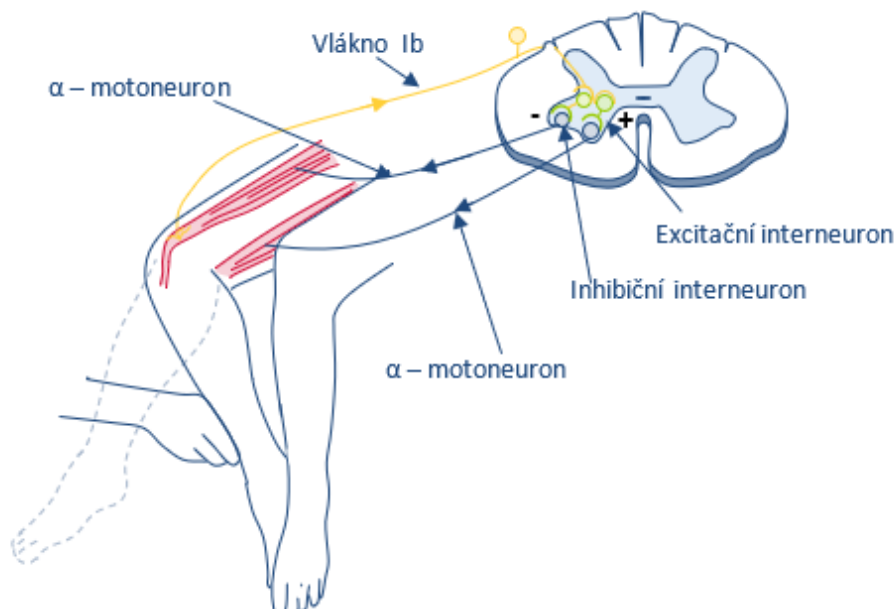
Komentář: Reflex je vyvoláván poklepem vyšetřovacího kladívka na šlachu. Tím dojde k lehkému leč nechtěnému protažení svalu příslušného ke šlaše. Ačkoliv poklepeme na šlachu, drážděno je svalové vřeténko.

Dojde-li k takovému protažení, protáhnou se i nekontraktilní části svalového vřeténka, což je zaznamenáno nervovými zakončeními. Informace o protažení svalu je vedena I_a nervovými vlákny do zadních míšních rohů (Obrázek 28-3). V míše se přepojuje přes jednu excitační synapsi na α -motoneuron, který inervuje ten stejný sval, ve kterém je podrážděné vřeténko umístěno a přes inhibiční neuron tlumí zároveň α -motoneurony antagonistických svalů. Reakcí na podráždění svalového vřeténka je stah příslušného svalu a relaxace antagonistických svalů. Vzhledem k jednoduchosti reflexu a jedné synapsi v reflexním oblouku, je tento reflex velice standardní a rychlý.

V případě, že z vyšších nervových center přijde povel k úmyslnému protažení svalu, dojde k inhibici jak α -motoneuronu inervujícího sval, tak γ -motoneuronu inervujícího kontraktilní část svalového vřeténka. Sval i svalové vřeténko se zároveň prodlouží, a tak nedojde k vyvolání reflexu. Cílem γ -motoneuronu je regulovat délku vřeténka a tím i jeho citlivost na protažení svalu, a tak zesílovat kontrakci vyvolanou α -motoneuronem (alfa – gama koaktivace).

Obrácený napínací reflex

Receptorem obráceného napínacího reflexu je šlachové (Golgiho) tělísko. Tělísko je ke zbylým svalovým vláknům umístěno sériově a registruje napětí ve svaly. Z tělíska vedou nervová aferentní vlákna I b nebo II do zadních míšních rohů (Obrázek 28-4).



Obrázek 28-4 Obrácený napínací reflex.

Zde se nervová vlákna přepojují přes jeden inhibiční interneuron na α -motoneuron daného svalu. Zároveň dojde k přepojení přes jeden excitační interneuron na α -motoneuron antagonistického svalu. Při zvýšeném napětí ve svaly a podráždění šlachového tělíska dojde k relaxaci příslušného svalu a kontrakci

antagonistického svalu. Tento reflex chrání sval a šlachy před natržením. Citlivost šlachového tělíska je výrazně menší než svalového vřeténka, proto tyto reflexy většinou nepůsobí proti sobě. Inverzně napínací reflex je vyvolán až silným napětím ve šlachách.

Únikové reflexy: flexorový a zkřížený extenzorový reflex

Reakcí na bolestivý podnět (podráždění nociceptoru) je reflexní odtažení dané části těla od zdroje bolesti – flexorový reflex. Například při šlápnutí na hřebík dojde k flexi (pokrčení) nohy v koleni. Je-li podnět intenzivní, dojde nejen k flexi poškozené končetiny, ale zároveň i k extenzi (natažení) druhé nohy – zkřížený extenzorový reflex. Extenze druhé nohy umožní zachovat stabilitu. Informace se přenáší i do sousedních míšních segmentů, kde jsou aktivovány analogické motoneurony. Cílem těchto ochranných reflexů je zabránit poškození tkáně jejím oddálením od zdroje poškození. Jedná se o polysynaptické míšní exteroceptorové reflexy, které jsou regulovány z vyšších nervových center. Například chceme-li chodit po žhavém uhlí, bude tento reflex značně utlumen.

Hodnocení reflexů

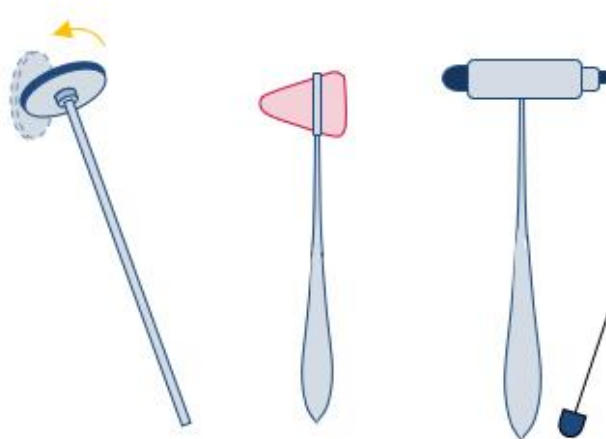
Při vyšetřování reflexů sledujeme:

1. vybavitelnost reflexu – každý reflex může chybět v určitém procentu případů i u zdravého jedince.
2. kvantitativní změny odpovědi – zeslabení (hyporeflexie) nebo zesílení (hyperreflexie) odpovědi, případně rozšíření reflexogenní zóny, tj. zvětšení plochy, odkud lze reflex vyvolat.
3. kvalitativní změny odpovědi – na stejný podnět dostáváme odpověď jiného druhu než normálně (kyvadlový reflex, iradiace reflexu aj.).

Vždy srovnáváme odpovědi stejných reflexů pravé a levé strany těla a zjišťujeme, zda kvalita i kvantita odpovědí jsou stejné na obou stranách. Jednostranné změny, i slabé, jsou u některých reflexů závažnější nežli oboustranné. Při některých poruchách ústředního nervstva se objevují další normálně nevybavitelné reflexy, tzv. reflexy patologické.

Typy neurologických kladívek

Při vyvolávání reflexu se používají neurologická kladívka mnoha různých tvarů. Jejich výběr je nezávazný, existují doporučení, k jakému užití jsou určité typy kladívek vhodné, je však výhradně na výběru vyšetřujícího, které si zvolí.



Obrázek 28-5 Různé typy neurologických kladívek.

Komentář: Vlevo – Babinski kladívko. Uprostřed – Taylorovo kladívko. Vpravo – Trömmerovo kladívko s jehlou.

1. Kladívko Babinski je robustní kladívko, poměrně výrazně těžké s polohovatelnou hlavicí. Používá se k vyvolání napínacích reflexů.
2. Kladívko Taylor je univerzální kladívko s trojúhelníkovou pryží na konci používané spíše v USA. Je výrazně lehčí než jiná kladívka, proto se lépe hodí pro hyperreflexní pacienty nebo pro děti.
3. Trömmerovo reflexní kladívko je tvarováno jako dvouhlavá palička.
4. Jehla bývá často součástí Taylorových a Trömmerových kladívek, slouží k vyvolání exteroceptivních reflexů.

29 REAKČNÍ DOBA

29.1 Poznámky ke cvičení

Reakční doba je čas, který uplyne od přijetí podnětu (obraz, zvuk, dotek apod.) příslušným receptorem k domluvené výsledné reakci vyšetřované osoby. Reakční doba závisí na mnoha faktorech: pohlaví, věk, motivace, aktuální duševní rozpoložení, složitost podnětu z pohledu typu, složitost sensorického zpracování daného podnětu a podobně.

Reakční doba zahrnuje několik komponent:

- Detekce stimulu – stimul je detekován příslušným smyslovým orgánem a dále formou impulzů akčního napětí veden do centra jeho rozpoznání v mozkové kůře.
- Kognitivní procesy – vědomé zpracování sensorické informace, její další analýza případně rozhodování se
- Motorická odpověď – aktivování příslušných svalů k výkonu domluvené reakce (klik myší u počítače, stlačení klávesy apod.)

Z pohledu složitosti reakce na daný typ stimulu lze reakci rozdělit na:

1. **Jednoduchou** – reakce zahrnuje jednoduchý stimul a jednoduchou odpověď na něj (stimul nastal = reaguji, stimul nenastal = nereaguji). Jedná se například o zrakový test, kdy sledovaná osoba zareaguje, když na monitoru uvidí hvězdičku.
2. **Složitou** – reakce, která vyžaduje kromě rozeznání stimulu a okamžité motorické odpovědi na něj také aktivitu vyšších rozhodovacích center (stimul nastal = reaguji jen v případě, že stimul má vybranou charakteristiku, na jiný symbol nereaguji). Například Go/No-go zrakový test, při kterém je stimulem hvězdička nebo dolar, přičemž na dolar je vyšetřovaný instruován nereagovat (probíhá rozhodování).

Testování reakční doby zahrnuje mnoho typů testů, které se používají převážně v psychologii, psychiatrii a neurologii. V psychologii se například používá Go/No-go testování, které slouží nejen pro určení reakční doby, ale také k určení schopnosti provést vhodnou reakci pod časovým tlakem. Reakční doba se tak v důsledku pro rozhodování nutných kognitivních procesů prodlužuje bez ohledu na typ počátečního stimulu.

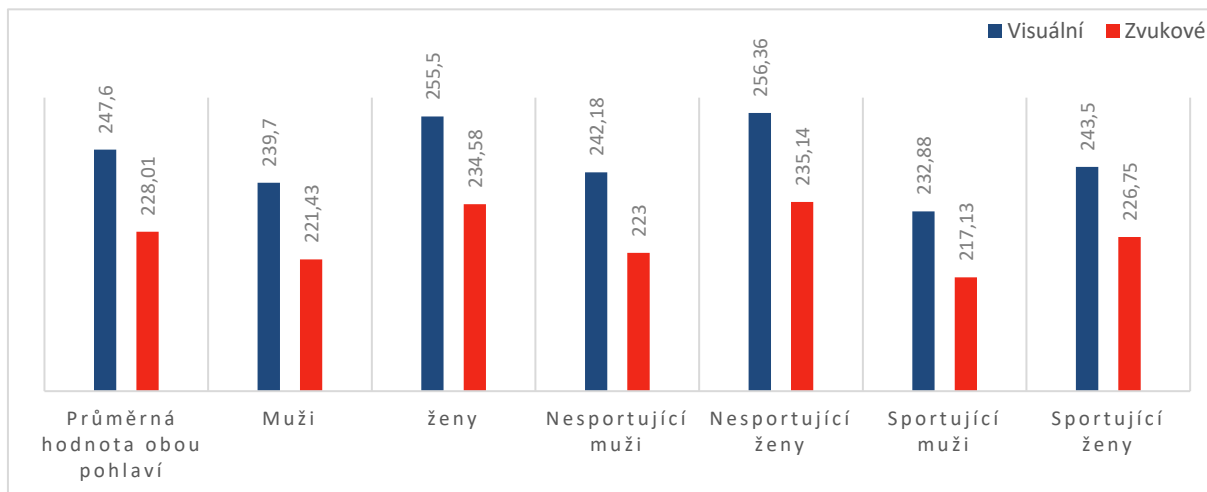
Předmětem testování ve cvičení bude posouzení reakční doby na dva typy stimulů – zrakový a sluchový (případně jejich kombinaci). Světlo a zvuk mají diametrálně odlišnou fyzikální podstatu, jejich způsob detekce a tím i stavba smyslových orgánů tomu odpovídají. Na rozdíly ve zpracování stimulů částečně poukazuje Tabulka 29-1.

Tabulka 29-1 Tabulka zjednodušeně poukazující na různou složitost zpracování příslušných stimulů smyslovými orgány.

Smysl	Délka nervové dráhy	Buňky nutné pro převod stimulu na impuls akčního napětí	Centrum zpracování v mozkové kůře	Mozkem vyhodnocované parametry stimulu
sluch	4 neurony	vláskové buňky (Cortiho orgán)	temporální lalok	výška tónu barva tónu hlasitost zdroj zvuku v prostoru
zrak	4 neurony	tyčinky čípky Mullerovy buňky horizontální buňky bipolární buňky amakrinní buňky bipolární buňky gangliové buňky (vše v sítnici)	okcipitální lalok	tvár jas kontrast vůči okolí pohyb barva velikost odhad vzdáleností domýšlení rozměrů fúze obrazů ze 2 očí (obrazy se mírně liší)

Složitost zpracování podnětu se musí zákonitě odrazit také v reakční době. Rozdíly v reakčních dobách a tyto 2 podněty v závislosti na pohlaví a trénovanosti jedince sumarizuje Graf 29-1.

Graf 29-1 Rozdílné hodnoty reakčních dob u vizuálního a zvukového podnětu v závislosti na pohlaví a trénovanosti jedince (zdroj: Int Appl Basic Med Res 2015, May-Aug 5(2):124-127).



30 STABILOMETRIE

30.1 Poznámky ke cvičení

Posturální rovnováha

Pojem „posturální rovnováha“ je definován jako schopnost udržovat a ovládat těžiště těla tak, aby se zabránilo ztrátě rovnováhy jak ve statických, tak dynamických pozicích. Rovnováha je statický pohyb, který je zajišťován tonicitou svalů (hlavně extenzorů).

Existují dvě složky, které zajišťují tonus posturálních svalů: svalová a nervová. Svalová složka je dána mechanickými vlastnostmi svalových vláken, tj. jejich pružností nebo napětím. Nervová složka je spojena s aktivitou nervového systému díky implementaci nepodmíněného reflexu způsobeného svalovým napětím („reflexní tonus“).

Na regulaci svalové posturální aktivity se podílejí různé úrovně centrálního nervového systému (CNS): spinální (míšní, úroveň motoneuronů), subkortikální (řízení podpůrné a účelové motoriky) a kortikální (řízení ideokinetické motoriky), které zpracovávají informace ze sensorických systémů různé modality: propioceptivních, vestibulárních, vizuálních nebo taktilních. Vznikají kortikální a subkortikální motorické reakce, jejichž cílem je aktivace axiálních svalů a svalů končetin, zejména dolních, což umožňuje pomocí koordinovaných pohybů udržovat posturální rovnováhu. Pro regulaci vertikální polohy těla je nejdůležitější z výše uvedených systémů propioceptivní.

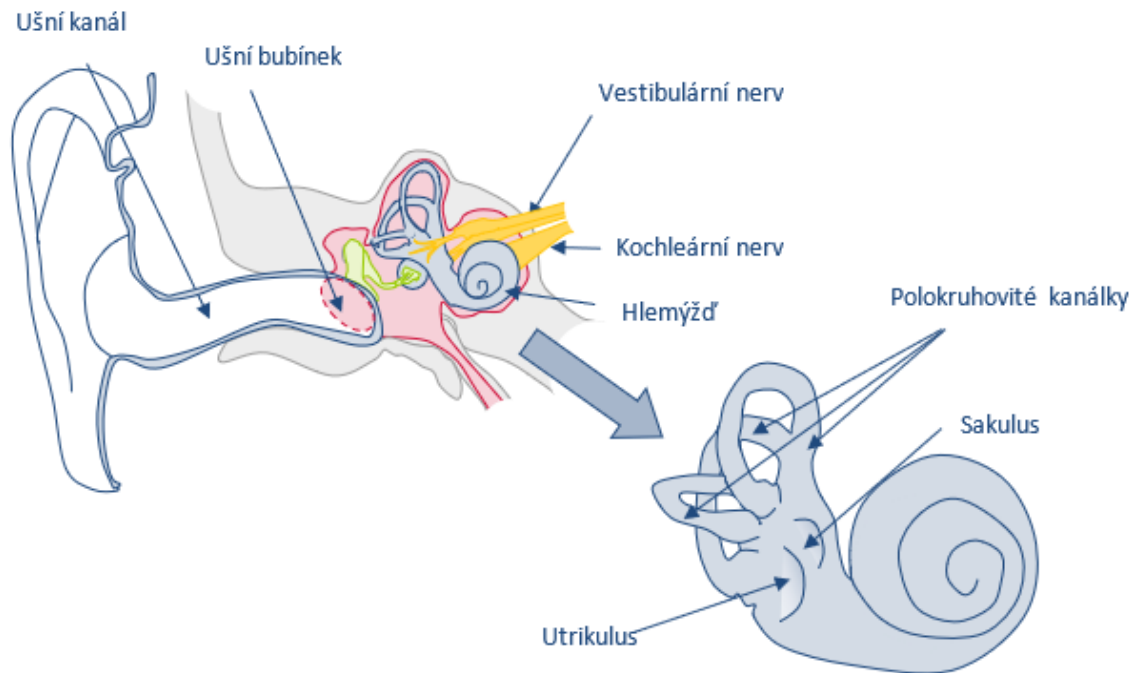
Díky propiocepci vnímáme polohu končetin, jejich pohyb i stupeň jejich svalového tonu. Proprioceptory se nacházejí ve svalech, šlachách, fasciích, kloubních pouzdrech a v kůži (Tabulka 30-1).

Tabulka 30-1 Proprioceptory

Receptor	Lokalizace	Podnět a odpověď
Svalová vřeténka, stretch receptory	nachází se ve svalech	Receptory registrují změnu délky svalů, umožňují naplánovat, kdy a jak daleko natáhnout nohy při chůzi nebo ruce pro dosažení předmětu.
šlachové (Golgiho) tělísko	nachází se ve šlachách	Receptory registrují změny svalového napětí. Cítí, jaké napětí vyvíjí sval a co je potřeba k provedení pohybu.

Vestibulární aparát

Vnitřní ucho je místo, kde je uložen sluchový a vestibulární aparát. Základním nástrojem vnímání zvuku, pohybu i polohy je mechanoreceptorová vlásková buňka. Tyto buňky jsou umístěny uvnitř vnitřního ucha v různých oddílech a jsou specializované na různé úkony - jedny vnímají pohyb, další zrychlení a jiné zvuk (Obrázek 30-1).

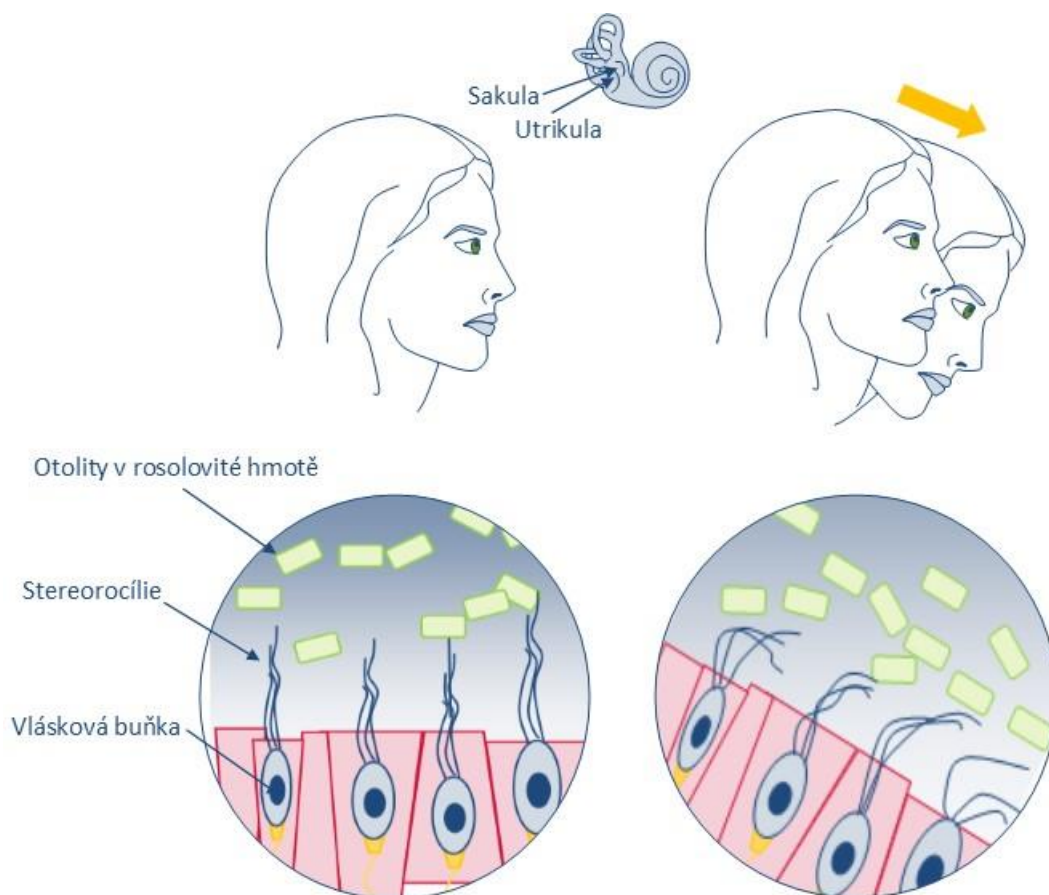


Obrázek 30-1 Schéma vestibulárního aparátu.

Komentář: Vestibulární aparát je smyslový orgán, dominuje při zajištění rovnováhy hlavy a těla v prostoru (v součinnosti s ústrojím zrakovým a proprioceptivním). Základními orgány pro vnímání polohy a pohybu hlavy v prostoru jsou polokruhové kanálky, utrikulus a sakulus.

Pozice hlavy je snímána utrikulem a sakulem (liší se typem vnímaného zrychlení), zatímco pohyb hlavy je snímán polokruhovými kanálky. Nervové signály generované ve vestibulárním gangliu jsou přenášeny vestibulárním nervem do mozku a mozečku.

Utrikulus a sakulus jsou z velké části složeny z makulární tkáně (množné číslo = maculae). Makula se skládá z vláskových buněk obklopených podpůrnými buňkami.

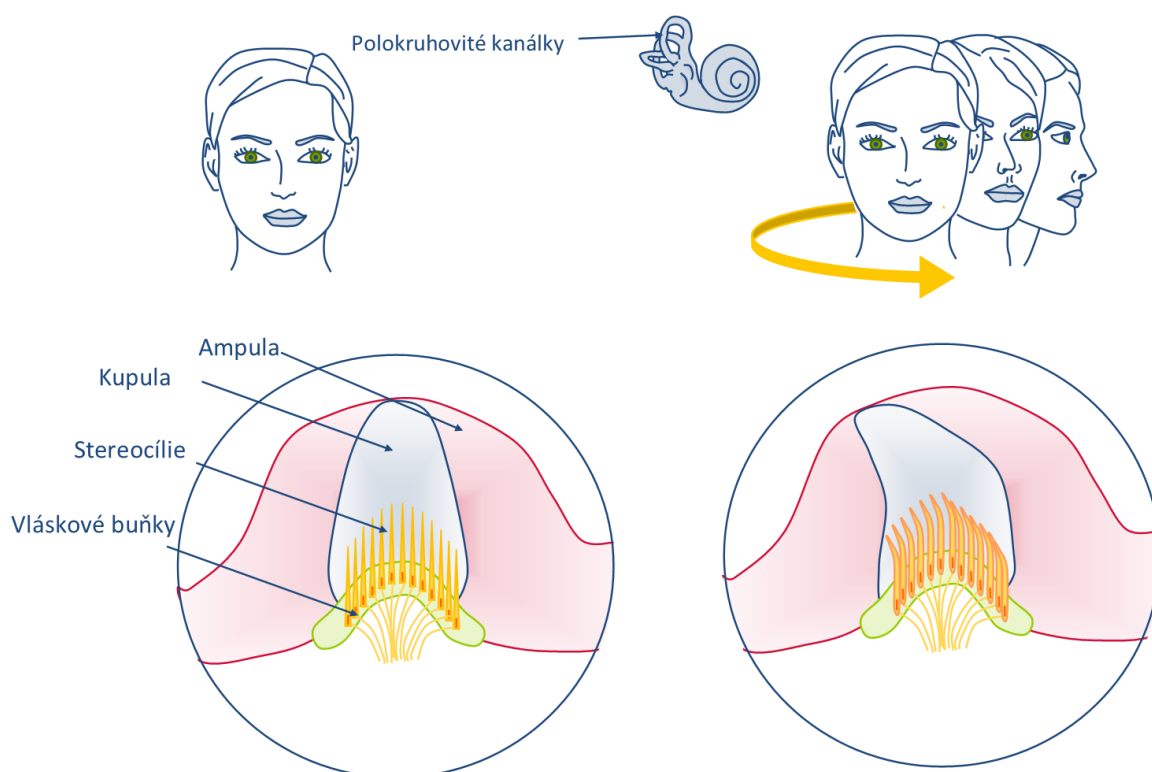


Obrázek 30-2 Utrikulus a sakulus obsahují vláskové buňky se stereocíliemi.

Komentář: Stereocílie vláskových buněk sahá do viskózního gelu nazývaného otolitická membrána. Na vrcholu otolitické membrány je vrstva krystalů uhličitanu vápenatého – tzv. otolity. Otolity v podstatě způsobují, že otolitická membrána je poměrně těžká. Otolitická membrána se pohybuje samostatně od makuly v reakci na pohyby hlavy. Naklonění hlavy způsobí, že otolitická membrána sklouzne přes makulu ve směru gravitace. Tímto se ohýbají stereocílie, což způsobuje depolarizaci nebo hyperpolarizaci vláskových buněk.

Pohyb vlásků je při pohybu hlavy interpretován mozkiem a udává tak jednu z informací pro udržení stability (Obrázek 30-2).

Polokruhové kanály jsou tři prstencová rozšíření vestibulu. Jsou orientovány v rovinách horizontální, vertikální a laterální. Základna každého polokruhového kanálu, kde se setkává s vestibulem, se spojuje s rozšířenou oblastí známou jako ampula. Porovnáním relativních pohybů jednotlivých ampulí potom může vestibulární systém detekovat směr většiny pohybů hlavy v trojrozměrném (3D) prostoru (Obrázek 30-3).

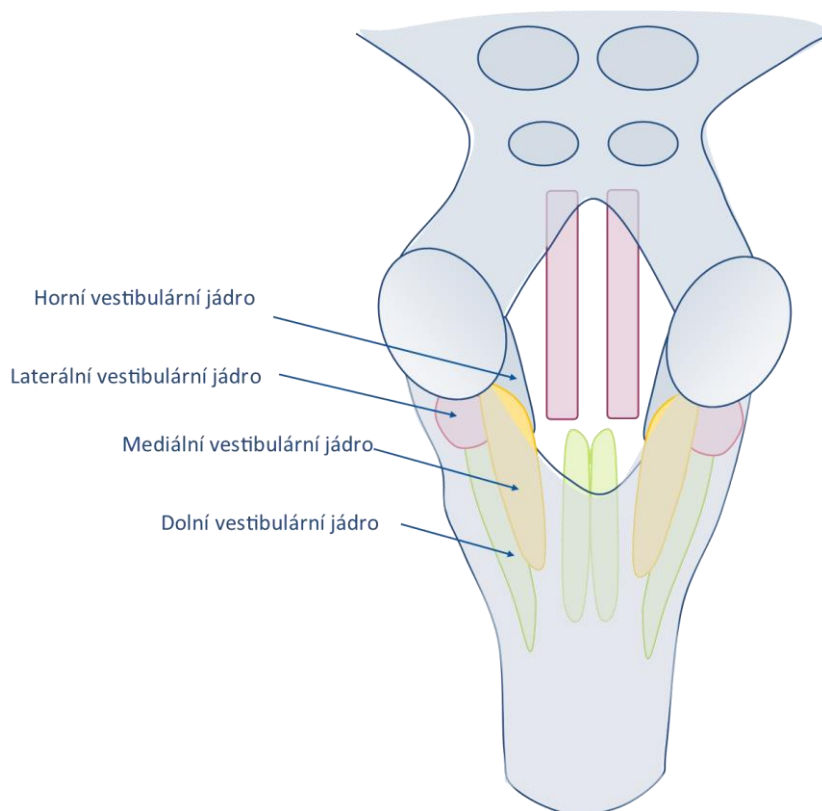


Obrázek 30-3 Ampula a vlásokvé buňky při pohybu hlavy

Komentář: Ampula obsahuje vlásokvé buňky, které reagují na rotační pohyb, jako je otáčení hlavy a vyslovení „ne“. Stereocílie těchto vlásokvých buněk sahá do kupuly, což je membrána, která se váže na horní část ampuly. Jak se hlava otáčí v rovině rovnoběžné s polokruhovým kanálem, tekutina zpožďuje a vychýlí kupulu ve směru opačném k pohybu hlavy. Polokruhové kanály obsahují několik ampul, některé jsou orientovány horizontálně a jiné vertikálně.

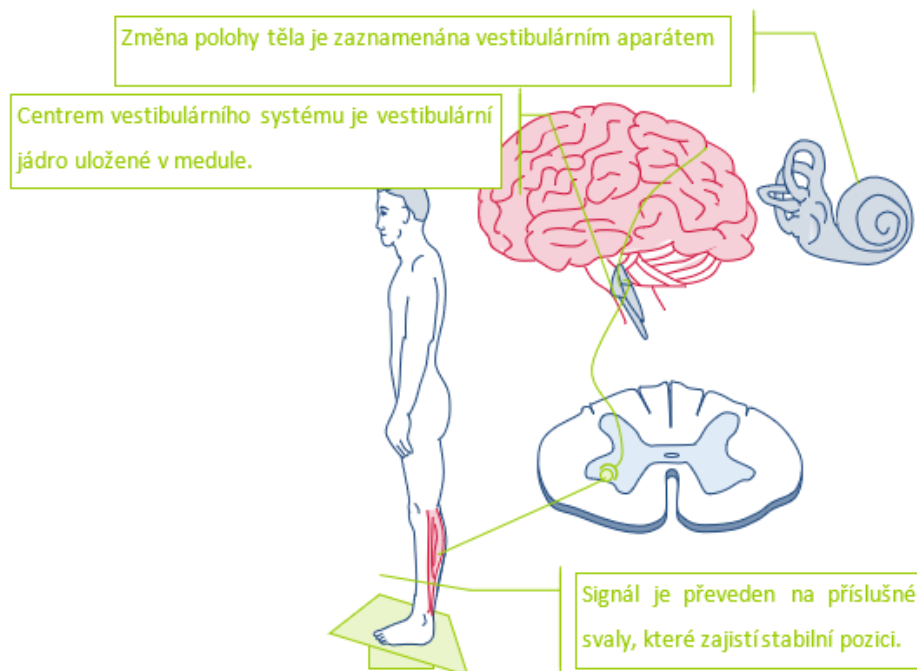
Vestibulospinální reakce

Veškeré informace z vestibulárního aparátu jsou přenášeny vestibulárním nervem do prodloužené míchy a odtud do mnoha částí CNS (mozečku, jader okohybného nervu, mozkové kůry, retikulární formace a autonomních ganglií). Neurony vestibulárních jader mají schopnost reagovat na změny polohy končetin, otáčení těla a hlavy, signály z vnitřních orgánů. Navíc zajišťují kontrolu a řízení různých motorických, popřípadě autonomních reakcí. Nejdůležitější z těchto reakcí jsou vestibulospinální (dynamická redistribuce napětí kosterního svalstva a reflexní reakce nezbytná k udržení rovnováhy), vestibulovegetativní (reakce kardiovaskulárního, gastrointestinálního systému - například mořská nemoc) a vestibulookulomotorické (nystagmus).



Obrázek 30-4 Uložení vestibulárních jader v prodloužené míše

Mediální vestibulospinální trakt vychází z mediálního vestibulárního jádra. Směřuje předními míšními kořeny do krční a středně hrudní úrovně a končí na interneuronech mediální skupiny páteřní míchy.



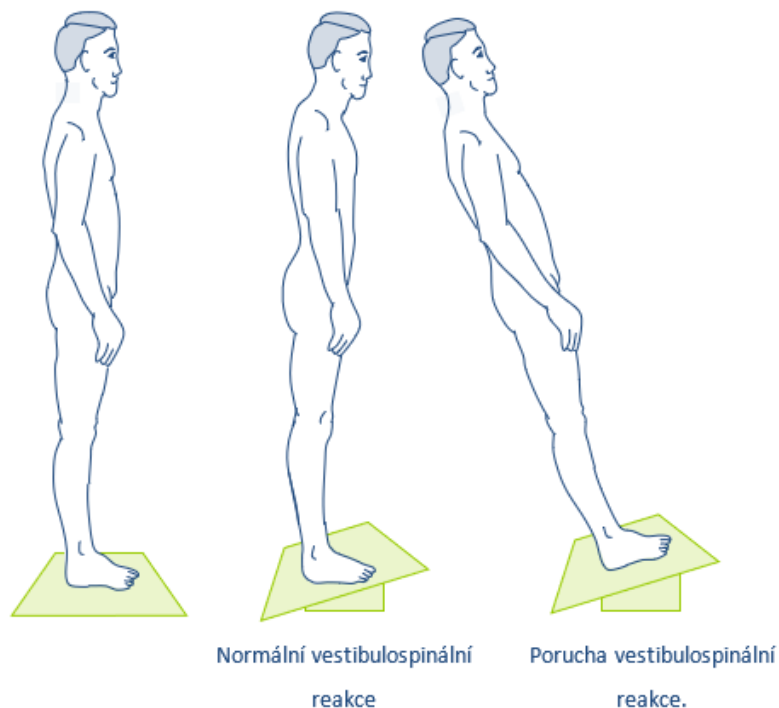
Obrázek 30-5 Vestibulospinální reakce na pohyb těla.

Mediální vestibulární jádro přijímá smyslový vstup z labyrintů vnitřního ucha, hlavně z polokruhovitých kanálků. Tato cesta tedy reguluje polohu hlavy, když je vystavena úhlovým zrychlením.

Laterální vestibulospinální trakt vede excitační signály do interneuronů, které přenášejí signál na motorické neurony v antigravitačních svalech. Tyto antigravitační svaly jsou extenzorové svaly nohou, které pomáhají udržovat vzpřímené držení a rovnováhu těla (viz Obrázek 30-5).

Vestibulovegetativní reakce

Mozková kůra se aktivně podílí na regulaci vestibulovegetativních reakcí jako faktor, který omezuje a normalizuje vegetativní projevy během kinetózy. Slabá kortikální inhibice autonomních center způsobuje zvýšenou citlivost na kinetózy. Při aktivních pohybech vestibulární aparát reaguje adekvátními reakcemi, založenými na koordinaci jeho funkcí s funkcemi jiných aferentních systémů těla, včetně autonomního



Obrázek 30-6 Vestibulospinální reflex (VSR) u zdravého člověka a u člověka s poruchou VSR.

nervového systému. Při pasivním pohybu (jízda autem, plavba na lodi) dochází k dysbalanci mezi pasivní aktivací vestibulárního aparátu a funkční inhibicí motorického systému.

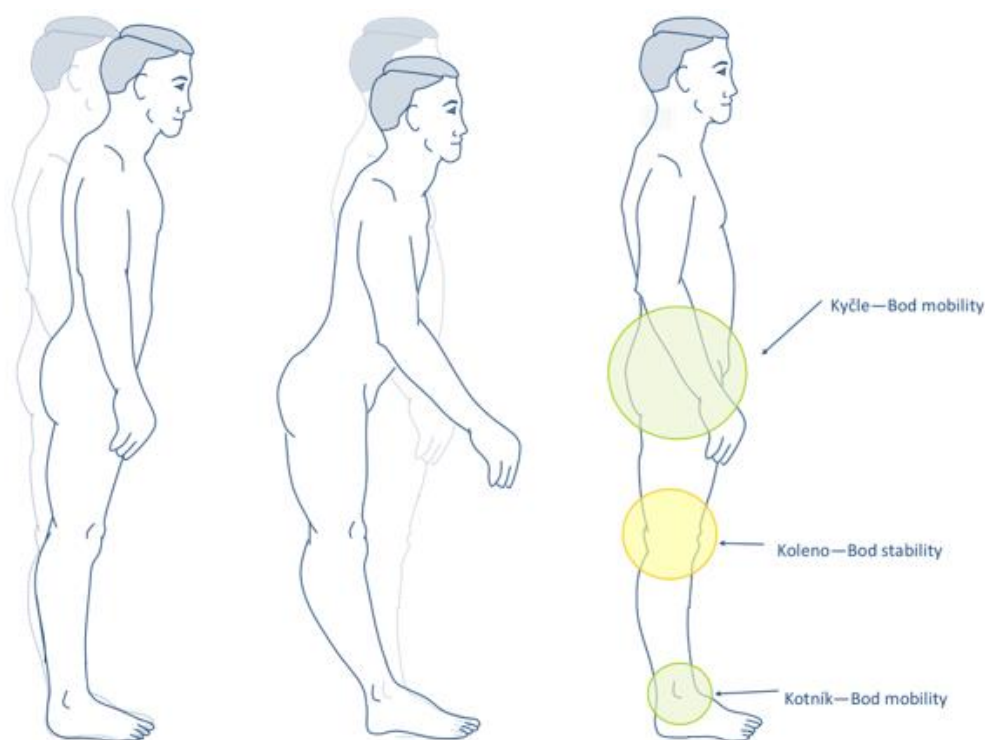
Vestibulookulomotorické reakce spočívají v optokinetickém nystagmu anebo vestibulookulárním reflexu (viz Kapitola EOG).

Hodnocení stability těla

Pro posouzení stability těla se používá metoda dynamické posturografie – stabilometrie. Při studiu udržování tělesné rovnováhy ve svislé poloze na stabilometrické platformě jsou data zaznamenána ve dvou rovinách: frontální (vlevo, vpravo) a sagitální (dopředu, dozadu). Stabilita těla v těchto směrech závisí na stavu tonu svalů, které jsou v těchto směrech aktivní a na senzoryckých, vizuálních a motosenzorických

systemech (proprio- a taktilní receptory). Řízení vertikální polohy je nejsložitější v sagitální rovině, protože v této rovině je největší amplituda výchylek těžiště těla.

V sagitální rovině je popsáno několik modelů udržování rovnováhy těla s převažováním modelu jedno řetězcového/ jednočlánekového obráceného kyvadla (Obrázek 30-7). Takový model je velmi nestabilní a používá se k popisu posturálních odchylek při udržení statické pózy. Při minimálních odchylkách člověk používá strategii „kotníku“ (změnou úhlu v kotníku), při velkých a častých odchylkách se používá „kyčelní“ strategie, při které je stabilita dosažena díky kyčelním kloubům. Tento model jednočlánekového obráceného kyvadla má svá omezení, což vedlo k vývoji složitějšího modelu s ohledem na pohyb ve třech kloubech – v kotníku, v kolenu a kyčlích.



Obrázek 30-7 Strategie těla pro udržení stability na úrovni nohou.

Komentář: Zatímco kotník a kyčle jsou zodpovědné za mobilitu těla, koleno je bodem stability. To znamená, že ovlivňování těžiště těla je prováděno skrze klouby mobility, klouby stability mají za úlohu udržet stálou polohu.

Stabilometr

Stabilometr snímá momenty oporných sil stojícího člověka ve dvou na sebe kolmých směrech horizontální roviny. Jedná se o mechanicko-elektrický převodník s automatickým vyrovnáváním vlivu hmotnosti subjektu na stabilometrické signály. Funkční rozsah stabilometru je 20–120 kg hmotnosti subjektu. Snímaný signál zaznamenáváme v čase jako výchylku polohy centra oporných sil (COP) od středu stabilometru v předozadním a bočním směru (stabilogram) nebo jako umístění COP v souřadných osách horizontální roviny

(statokinesigram). Průsečík os leží ve středu stabilometru, pozitivní hodnota na ose X představuje výchylku doprava, na ose Y výchylku dopředu.

Stabilometrický test je charakterizován několika parametry:

1) *Mean COP X,Y (mm)* - průměrná hodnota souřadnic x a průměrná hodnota souřadnic y ze všech bodů křivky statokinesigramu. Závisí na pozici vyšetřované osoby vůči středu stabilometru a na míře a směru naklonění těla.

2) *Mean distance from the centre (mm)* - průměrná vzdálenost COP v pravolevém (x osa) a předozadním (y osa) směru od mean COP X,Y. Je přímo úměrně závislá na ploše, již zaujímá trajektorie vykonaného pohybu COP.

3) *Mean velocity (mm/s)* - průměrná rychlost pohybu COP. Charakterizuje úroveň svalového úsilí vynaloženého na udržení vzpřímeného postoje.

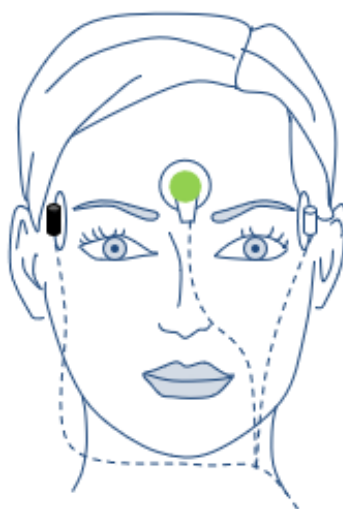
4) *X, Y - axis movement (mm)* - dráha, kterou absolvovalo COP v pravolevém (X) a předozadním (Y) směru. Informuje o převládajícím směru pohybu COP a je přímo úměrná délce trajektorie pohybu.

Všechny uvedené parametry (kromě *Mean COP X, Y*) popisují celkovou stabilitu postoje. Zvýšené hodnoty znamenají snížení stability.

31 ELEKTROOKULOGRAFIE

31.1 Poznámky ke cvičení

Elektrookulografie (EOG) je diagnostická metoda pro sledování pohybu očních bulbů a zprostředkovaně také směru pohledu vyšetřovaného při sledování určitého objektu. Fyzikálním podkladem této metody je existence potenciálového rozdílu mezi přední a zadní částí očního bulbu, tzv. korneoretinální klidový potenciál. Lidské oko tedy považujeme za fixní elektrický dipól, který je orientovaný rovnoběžně s optickou osou (kladně nabitá rohovka (+) a záporně nabitá sítnice (-)). Existence tohoto potenciálového rozdílu zvykne být připisována zvýšené míře metabolismu v sítnici (vrstevnatá struktura složená ze sensorických a nervových buněk konvertující dopadající světlo na akční potenciál nervových buněk) oproti rohovce (světlo lomivá zcela průhledná bezcévná buněčná struktura). Oko vykazuje tyto elektrické vlastnosti i ve tmě, tzn. bez ohledu na míru stimulace světelnými paprsky z vnějšího prostředí. Metoda EOG je tedy založena na principu, kdy změnou orientace elektrického dipólu v prostoru mezi elektrodami dochází ke změně napětí mezi nimi (EOG přístroj je v podstatě sofistikovanější voltmetr).

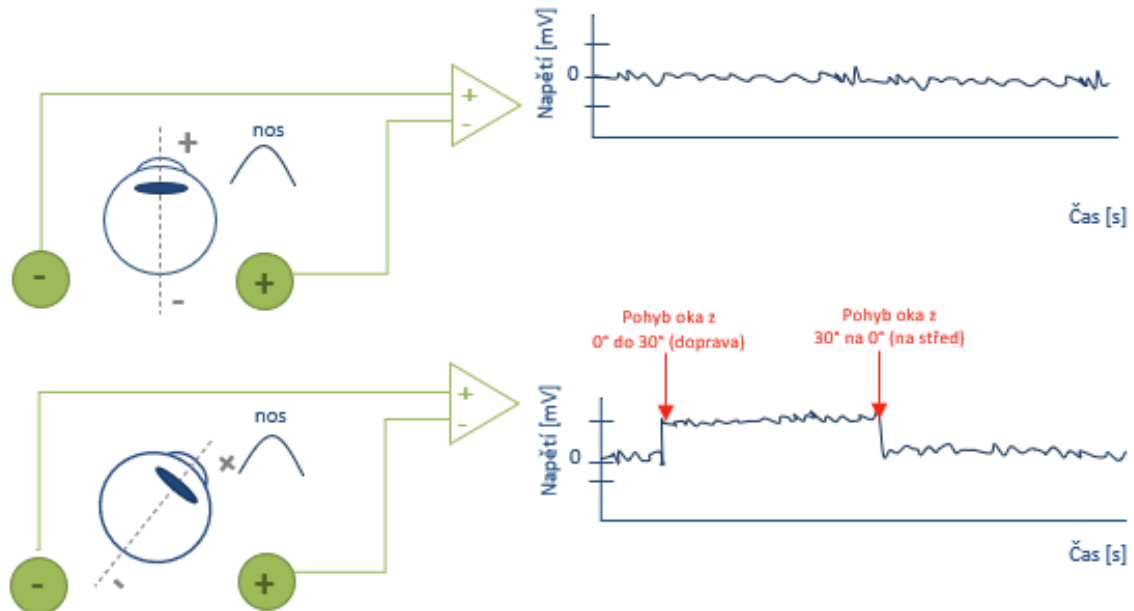


Obrázek 31-1 Schéma rozmištění elektrod u EOG metody.

Komentář: Ukázka rozmištění elektrod a správného připojení kabelů dle barevného kódování - černý kabel připojen k elektrodě vpravo, bílý k elektrodě vlevo, zelený k elektrodě umístěné přibližně 1 cm nad kořenem

Měření signálu EOG (elektrookulogramu) lze provést za pomoci 3 elektrod (Obrázek 31-1). Po kalibraci přístroje a následné fixaci zraku na přibližný střed zorného pole je signál EOG v úrovni 0 mV (nastaveno knoflíkem předzesilovače). Při identickém rozložení elektrod viz Obrázek 31-2, bude pohyb očí doprava iniciovat výchylku měřeného signálu do kladných hodnot (nahoru), pohyb doleva způsobí výchylku do

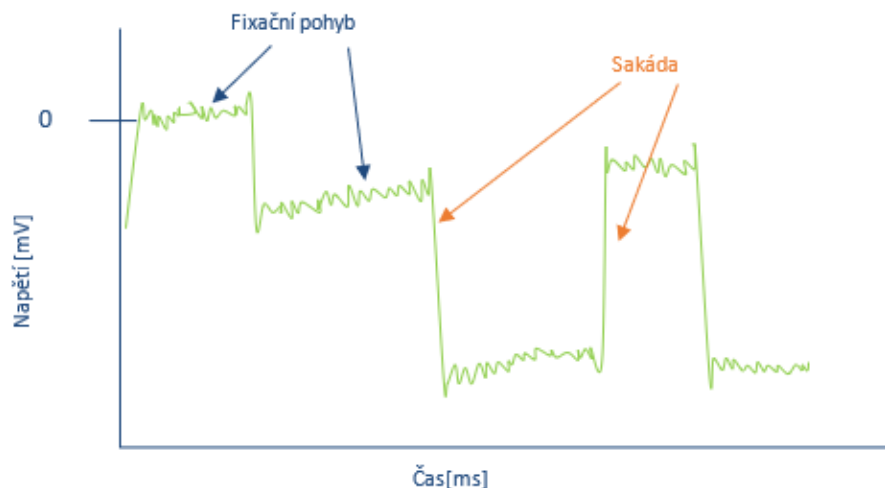
záporných hodnot (dolů, Obrázek 31-2 vpravo). Velikost sklonu křivky v grafu udává rychlost pohybu očního bulbu.



Obrázek 31-2 Princip vzniku signálu EOG.

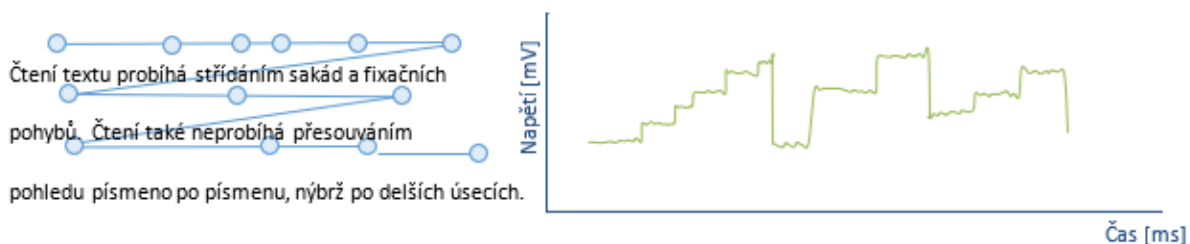
Komentář: Nahoře: klidová situace - oko se dívá vpřed (0°). Snímaný signál je přibližně nulový. Dole: pohyb-oko se otáčí nasálním směrem (ke kladné elektrodě), čímž dochází ke změně orientace elektrického dipólu a tím i vlastností elektrického pole. Ty jsou následně elektrodami detekovány jako výchylka napětí do kladných hodnot.

Sakadické (skokové) pohyby očních bulbů se zobrazují jako strmé vertikální výchylky signálu (Obrázek 31-2, Obrázek 31-3), jejichž amplituda je přímo úměrná velikosti tohoto pohybu (platí pro sakády v rozsahu do cca 30°). Rychlost sakadického pohybu závisí na velikosti sakády (amplitudě signálu). Pro 20° sakádu se uvádí hodnota 420 ± 70 °/s, rychlost pod 250°/s je považována za patologickou. Fixační pohyby slouží k neustálé stabilizaci obrazu na sítnici tak, aby obraz dopadal do místa nejostřejšího vidění (žlutá skvrna).



Obrázek 31-3 Vymezení sakadických a fixačních pohybů v signálu EOG.

Při čtení se malé skokovité pohyby očí doprava zobrazují jako strmé výchylky o nízké amplitudě směřující nahoru („schody nahoru“). Následná strmá výchylka opačné polarity o větší amplitudě pak odpovídá velkému sakadickému pohybu doleva při přeskočení oka na začátek dalšího řádku (Obrázek 31-4).



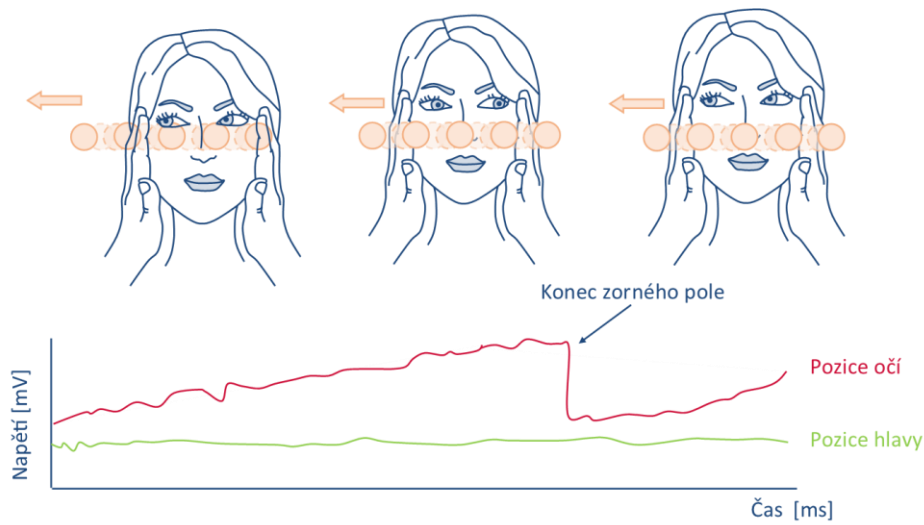
Obrázek 31-4 Ukázka sakadických očních pohybů

Komentář: Rychlost čtení je velice individuální. Do velké míry je determinována počtem fixací zraku (sakád) nutných k přečtení jednoho řádku. Tréninkem technik rychločtení je možné tento počet fixací snižovat. Ti nejlepší pak nefixují několik bodů v rámci jednoho řádku, nýbrž v rámci celé stránky. Nejvyšší doložená rychlost čtení byla zaznamenána na 27 minut a 56 vteřin/328 stran (1 stránka tedy čtena přibližně 5 sekund). To je 4700 slov za minutu (průměr je 250–300 slov za minutu).

Sakadické pohyby se mimo čtení vyskytují také při prohlížení statických předmětů, jejichž obraz přesahuje rozsah žluté skvrny, nebo jako součást optokinetického nystagmu (OKN, Obrázek 31-5) či vestibulookulárního reflexu (VOR, Obrázek 31-6).

Optokinetický nystagmus představuje pravidelné pohyby očí, které buď stabilizují obraz předmětu při rovnoměrných pohybech hlavy, nebo při stabilní pozici hlavy, kdy se předmět dostane mimo zorné pole.

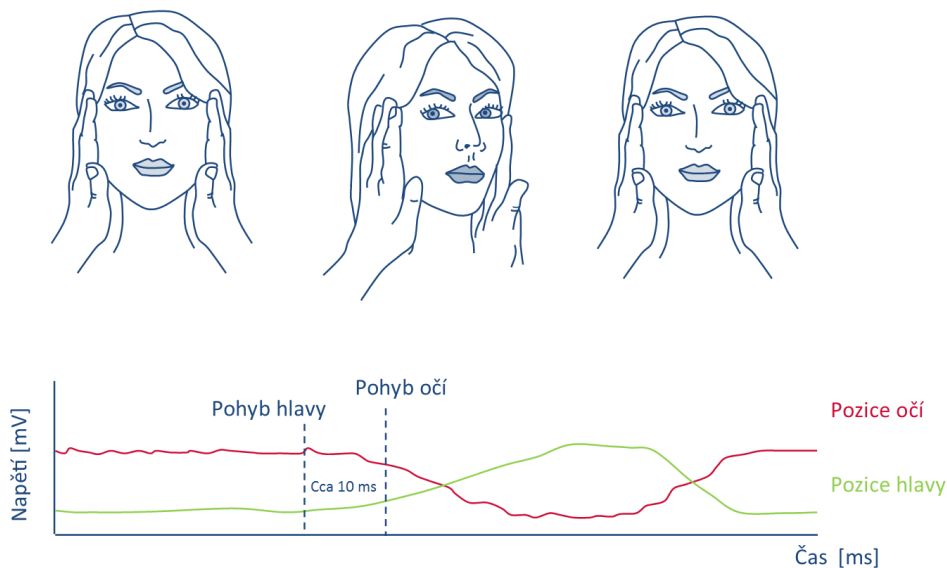
Typickým příkladem je sledování okolí z okna v pohybujícím se vlaku nebo sledování míhajících se stínů na zdi.



Obrázek 31-5 Optokinetický nystagmus.

Komentář: Při sledování objektu, který se vůči očím pohybuje v jednom směru, dochází k fixačnímu pohybu, který ve chvíli, kdy se předmět dostane mimo zorné pole, bude přerušen rychlou sakádou. Ta „najde“ v zorném poli nový předmět zájmu, který bude opět fixován pohledem.

Vestibulookulární reflex slouží ke stabilizaci obrazu předmětu na sítnici při nerovnoměrných a náhlých pasivních pohybech hlavy. Tento reflex má receptory v polokruhovitých kanálcích vestibulárního aparátu, které reagují na pohyb endolymfy.



Obrázek 31-6 Vestibulookulární reflex

Komentář: Reflex udržuje fixovaný předmět v zorném poli při neočekávané rotaci hlavy. Reakce vestibulárního aparátu a aktivace okohybných svalů probíhá s jistým zpožděním (cca 7–15 ms).

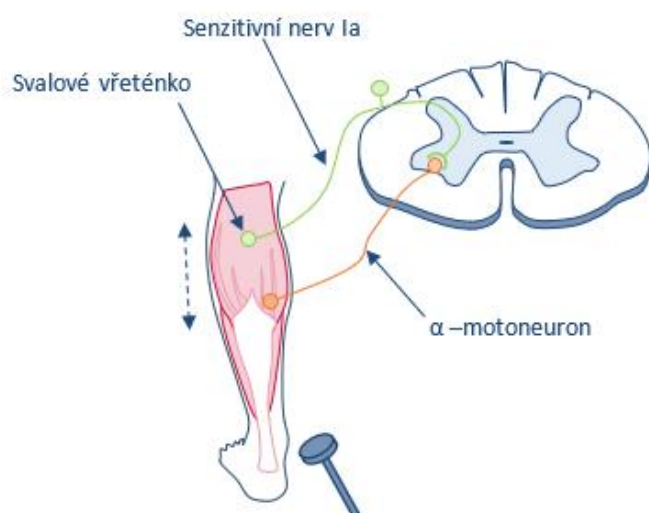
Při podráždění receptorů rotací hlavy dojde k aktivaci oko-hybných svalů, které zajistí stabilizaci fixace předmětu tím, že rotují oční bulby opačným směrem (Obrázek 31-6). Při poruše VOR, může docházet k vymizení vyrovnávacího pohybu svalů nebo jejich nestandardnímu zpoždění.

32 REGISTRACE REFLEXU ACHILLOVY ŠLACHY

32.1 Poznámky ke cvičení

Registrace reflexu Achillovy šlachy slouží k hodnocení mechanické a elektrické odpovědi příslušných svalů na mechanické dráždění této šlachy.

Reflex Achillovy šlachy patří do propioceptivní skupiny reflexních reakcí, která je spojena s řízením a regulací svalového napětí. Proprioceptivní receptory jsou uloženy ve svalu nebo šlaše, dojde-li k pasivnímu natažení svalu, natáhnou se spolu s ním i jeho intrafuzální vlákna ve svalových vřeténkách, která způsobí zvýšené dráždění příslušného senzitivního nervu. Podráždění senzitivních nervů automaticky způsobí aktivaci α -motoneuronu, který je uložen ve stejném svalu a způsobí dráždění extrafuzálních vláken. Výsledkem celé reakce je kontrakce svalu, která zabrání přetržení.



Obrázek 32-1 Napínací reflex při dráždění Achillovy šlachy.

Komentář: Pokud se jedná o pasivní dráždění svalu, dochází k aktivaci svalového vřeténka svalu protažením příslušné šlachy. Natažení vláken vede ke zvýšenému dráždění příslušného senzitivního nervu, který vydává signál ke svému α -motoneuronu, který vyvolá naopak zkrácení svalových vláken.

Právě poklepem kladívka na Achillovu šlachu dochází k pasivnímu natažení převážně m. gastrocnemius, který vyvolá kaskádu reakcí, jejímž účelem je ochrana svalu před neadekvátním natažením (Obrázek 32-1). Výsledkem reflexní reakce je zkrácení tohoto svalu, který sledujeme pomocí EMG a goniometru.

Funkce štítné žlázy

Štítná žláza je žlázou s vnitřní sekrecí produkující hormony ovlivňující metabolismus celého našeho těla. Vlastní žláza je uložena v oblasti krku před tracheou a je tvořena dvěma laloky spojenými istmem. Vlastní parenchym je tvořen žlázovými folikuly. V jejich centru se nachází koloid, tvořící zásobárnu tyroidních hormonů. Folikuly jsou obklopeny bohatě se větvícími fenestrovanými kapilárami a parafolikulárními C-buňkami produkující hormon kalcitonin. Produkce tyroidních hormonů je závislá na dostatečném příjmu jódu, který je esenciální součástí jejich lipofilní molekuly. Jód je vstřebáván do folikulárních buněk z krve v podobě jodidu a enzymem tyreoperoxidázou je oxidován na elementární jód a pumpován do koloidu. Zde se váže na tyrozylové zbytky proteinu tyreoglobulinu bohatě zastoupeného v koloidu, jehož molekula obsahuje více než 100 tyrozinových aminokyselin. Spojením jodovaných mono a diiodotyrozlů vznikají vlastní tyroidní hormony trijodtyronin (T3) a tetrajodtyronin (T4, či tyroxin). T3 je aktivní forma, která na periférii vzniká dejodací z T4 enzymem 5'-dejodázou. Obě formy hormonu jsou v krvi transportovány ve vazbě na proteiny – tyroxin vázající globulin (TBG) a albumin.

Účinky tyroidních hormonů

Tyroidní hormony, jako všechny lipofilní hormony, prostupují přes cytoplasmatickou membránu a váží se na intracelulární receptory – tyroidální receptor. Receptory s navázanými hormony vytváří dimery a prostupují do jádra, kde ovlivňují transkripci genů. Účinky se projeví zvýšenou produkcí Na^+/K^+ ATPázy, zmnožením mitochondrií a jejich krist, beta receptorů a zvýšenou produkcí enzymů glykolýzy, lipolýzy a glukoneogeneze.

Hypertyreóza

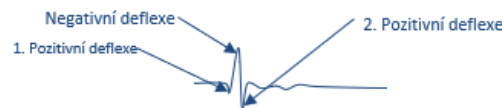
Hypertyreóza je onemocnění spojené s nadměrnou produkcí tyroidních hormonů. Pacient je typicky hyperaktivní, roztěkaný a emočně labilní. Objektivně pozorujeme astenického pacienta s výrazným třesem a zvýšeným pocením. U pacientů trpících autoimunitní Graves–Basedowovou chorobou může docházet k výraznému bilaterálnímu exoftalmu, způsobenému zmnožením vazivové tkáně v orbitě. Vyšetřením pacienta odhalíme zvýšení rychlosti reflexu Achillovy šlachy, tachykardii se zvýšeným krevním tlakem a často doprovázenou i palpitacemi.

Hypotyreóza

Nedostatek tyroidálních hormonů známý jako hypotyreóza se u dospělých projevuje celkovým zpomalením, snížením intelektu, únavností a apatií. Kvůli snížení bazálního metabolismu pacienti postupně přibírají na váze. V oblasti krku a obličeje vzniká typický otok zvaný myxedém. Vlasy a chlupy ztrácí svou kvalitu a pacienti mají často studenou periférii, časté jsou i pocity chladu. Při vyšetření je typická bradykardie a snížení rychlosti reflexů Achillovy šlachy. U dětí se hypotyreóza projevuje jako kretenismus. Děti trpí disproporciálním nanismem (tělesné proporce nejsou zachovány), výrazným zpomalením psychomotorického vývoje, apatií, bradykardií a problémy s udržením tělesné teploty.

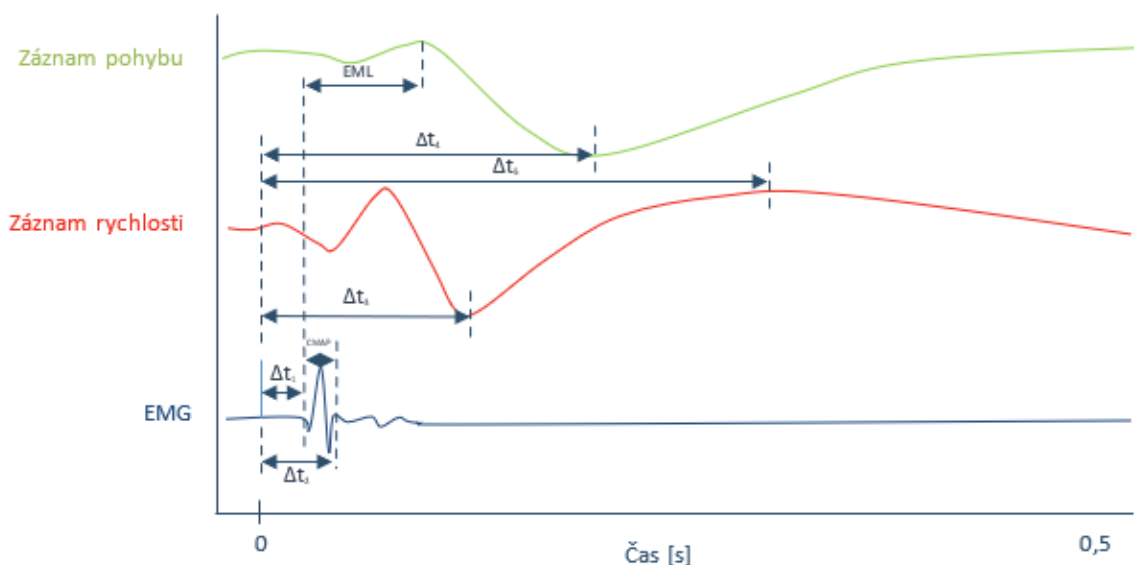
Hodnocení reflexu Achillovy šlachy

Okamžik stimulace je společný pro všechny kanály a zobrazuje se jako svislá značka ve třetím kanále *EMG* v čase 0 s. Záznam elektrické odpovědi reflexu Achillovy šlachy elektromyografickou metodou začíná izoelektrickou linií. Případné menší výchylky jsou způsobeny pohyby kůže proti elektrodám při úderu kladívka. S určitou latencí Δt_1 se objevuje pozitivní deflexe (výchylka dolů), pak negativní deflexe (na záznamu směřuje nahoru) a následně druhá pozitivní deflexe (Obrázek 32-2).



Obrázek 32-2 EMG: tvar sumačního akčního svalového potenciálu (CMAP) při záznamu elektrické odpovědi reflexu, po úderu kladívkem na Achillovu šlachu.

Tento trifázický záznam CMAP má určité trvání ($\Delta t_2 - \Delta t_1$) a jeho tvar závisí na uložení snímacích elektrod. Fyziologické hodnoty latence $\Delta t_1 = 32 \text{ ms} \pm 3 \text{ ms}$ (závisí hlavně na výšce a věku vyšetřované osoby), trvání CMAP: $\Delta t_2 - \Delta t_1 = 14,9 \text{ ms} \pm 2,5 \text{ ms}$.



Obrázek 32-3 Záznam goniometru (záznam pohybu nohy při aktivaci Achillovy šlachy).

Komentář: záznam goniometru sleduje zpoždění mezi podrážděním šlachy a samotnou mechanickou odpovědí svalu, která spočívá v reflexním stažení svalu.

S určitým zpožděním (elektromechanická latence – EML) od začátku depolarizace je zahájena vlastní mechanická odpověď. Záznam mechanické odpovědi reflexu Achillovy šlachy v prvním kanálu *Movement*

(pohyb) sestává z jednoho nebo více krátkých hrotnatých úvodních kmitů vyvolaných úderem a z negativní vlny: sestupná část vlny odpovídá stahu, vrchol v čase Δt_4 ukončení stahu a vzestupná část relaxaci svalu.

V kanálu *Velocity* (rychlost) pozorujeme nejdříve úvodní kmity – stimulační artefakty. Následuje negativní vlna – kontrakce; vrchol vlny v čase Δt_3 odpovídá maximální rychlosti dosažené během stahu svalu. Pozitivní vlna – relaxace, směřuje na opačnou stranu než vlna kontrakční; vrchol vlny v čase Δt_5 odpovídá maximální rychlosti dosažené během uvolnění svalu. Fyziologické rozmezí Δt_3 je 115-130 ms.

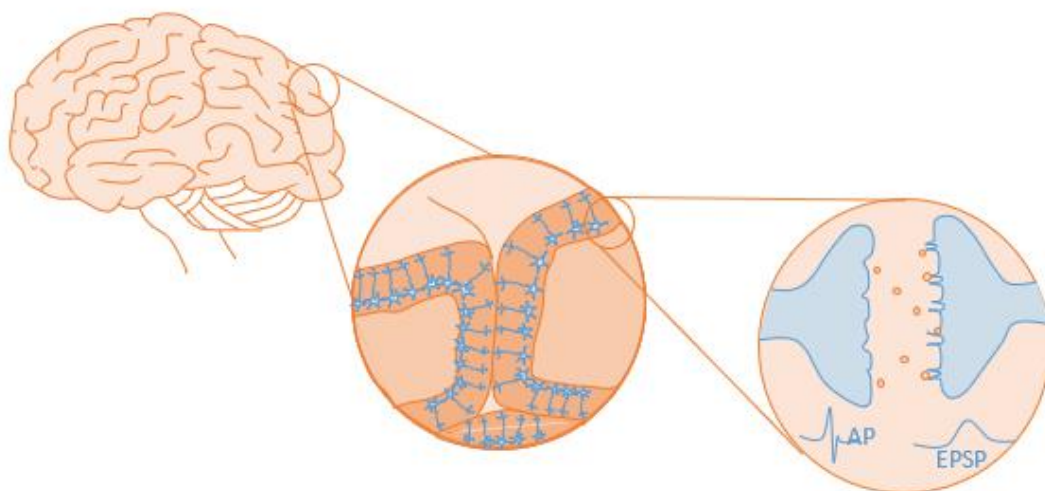
Pro orientační hodnocení funkce štítné žlázy lze použít hodnotu Δt_5 , která se u zdravého jedince nachází v rozmezí 280–360 ms (± 10 ms).

33 ELEKTROENCEFALOGRAFIE

33.1 Poznámky ke cvičení

Elektroencefalografie (EEG) je diagnostická metoda sloužící k záznamu elektrické aktivity mozku z povrchu hlavy. Mozková aktivita je projevem aktivity jednotlivých neuronů a skupin neuronů a je doprovázena změnou elektrického a magnetického pole. Ne každé takto mozkiem generované pole je dostatečně silné na to, aby bylo měřitelné za pomoci konvenčních metod. Mějte také na paměti, že mozek je uložen v lebce, přičemž kost je velice dobrý elektrický izolant. Signál naměřený pomocí EEG je tedy výsledkem nikoliv aktivity jednoho neuronu, nýbrž synchronizované aktivity několika miliard neuronů uložených především v mozkové kůře (povrchová část mozku uložená nejbliž k lebce, a tedy i k povrchovým elektrodám). I tak se amplituda EEG signálu pohybuje jen v řádu desítek mikrovoltů.

Detekovatelnou elektrickou aktivitu vyvolávají především pyramidové neurony (patří mezi největší neurony v mozku) uložené v mozkové kůře ve vrstvách kolmo na její povrch (Obrázek 33-1 uprostřed). Toto unikátní, v podstatě homogenní uspořádání, umožňuje snímání stabilního EEG signálu za všech oblastí kůry.



Obrázek 33-1 Vznik akčního potenciálu pro snímání EEG signálu.

Komentář: Vlevo – vizualizace mozkové kůry na povrchu mozku; uprostřed – zjednodušené schématické znázornění mozkové kůry, kde jsou pyramidové neurony uloženy kolmo na povrch kůry; vpravo – vznik excitačních postsynaptických potenciálů v oblasti postsynaptické membrány (sumací mnoha těchto potenciálů může být nervová buňka depolarizovaná až tak, že dojde k překročení prahové hodnoty membránového napětí a vzniká akční potenciál šířící se do dalších buněk).* EPSP - excitační postsynaptické potenciály , AP – akční potenciál.

EEG signál je tvořený především sumací excitačních postsynaptických potenciálů (EPSP), které vznikají v místě postsynaptické membrány (Obrázek 33-1 vpravo). EPSP depolarizují tuto membránu (polarizují ji k pozitivním hodnotám) a vzájemnou sumací tak zvyšují pravděpodobnost vzniku akčního potenciálu. Akční potenciály mozkových neuronů mají sice vyšší amplitudu, mají však výrazně kratší trvání a jsou méně časté.

V případě neinvazivního měření EEG jsou elektrody umístěny na povrchu hlavy (tzv. skalpové EEG). Elektrody se však mohou nacházet i v přímém kontaktu s mozkovou kůrou – elektrokortikogram (ECoG). Další invazivní variantou je taktéž stereotaktické zavedení hloubkových elektrod do určitých mozkových struktur při neurochirurgické operaci – stereoelektroencefalogram (SEEG).

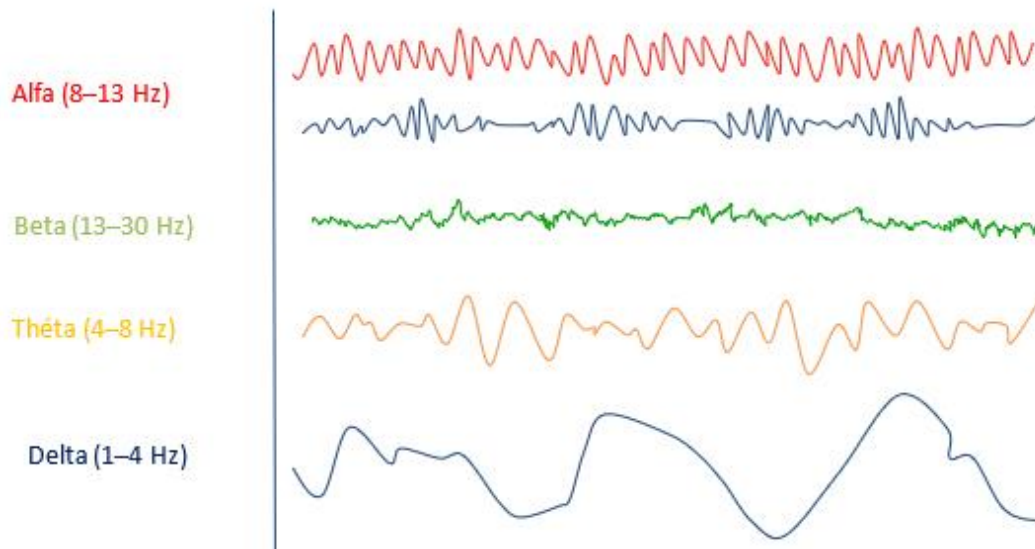
Snímaný EEG signál je odrazem funkčních stavů mozku. Mozková aktivita prodělává velké změny za fyziologických i patologických podmínek. Mění se v závislosti na věku, bdělosti, otevření či zavření očí nebo jiných zevních stimulacích. V klinice má tato metoda všestranné využití v řadě zejména neurologických a neurochirurgických oborů. Má nezastupitelnou roli v diferenciální diagnostice záchvatovitých stavů (epilepsie) a s nimi spojených tumorů; psychiatrii; vnitřním lékařství: v diferenciální diagnostice komatózních stavů.

EEG křivka je tvořena vlnami (Obrázek 33-2), u kterých hodnotíme jejich amplitudu a frekvenci (počet úplných cyklů za 1 sekundu). Podle frekvence rozlišujeme několik frekvenčních pásem (Tabulka 33-1):

Tabulka 33-1 Frekvenční rozsahy jednotlivých snímaných rytmů (složek signálu EEG), jejich lokalizace a výskyt.

	Frekvence	Výskyt	Lokalizace
Alfa rytmus *	8–13 Hz	- u zdravých dospělých v bdělém stavu - při zavřených očích - utlumí se / vymizí při zvýšené pozornosti a otevření očí	parieto-okcipitální oblast, směrem frontálně se aktivita snižuje
Beta rytmus	13–30 Hz	- u zdravých dospělých v bdělém stavu - není tlumený otevřením očí	frontální oblast, okcipitálním směrem se aktivita snižuje
Theta rytmus	4–8 Hz	- u zdravého dospělého pouze v povrchných spánkových stádiích - v bdělém stavu jen za patologických podmínek	/
Delta rytmus	1–4 Hz	- u dospělého fyziologicky jen za hlubokého NREM spánku - v bdělém stavu VŽDY patologické	/

*Alfa aktivita je nejlépe viditelná v okcipitálních svodech při zavřených očích, fyzické a mentální relaxaci. Za těchto podmínek se zastoupení alfa vln do 30 % hodnotí jako skupinky, zastoupení 30–50 % jako aktivita a nad 50 % jako rytmus.



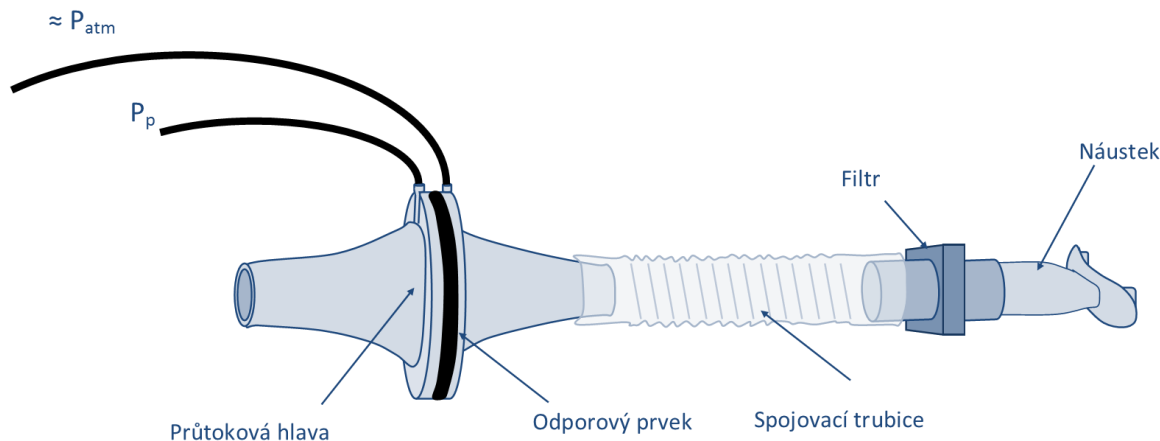
Obrázek 33-2 Ukázky základních typů signálů, ze kterých je složený výsledný naměřený EEG signál.

34 PNEUMOTACHOGRAFIE

34.1 Poznámky do cvičení

Pneumotachometry (průtokoměry) jsou založeny na měření rychlosti proudění vzduchu definovaným průřezem, tedy průtoku. Pro měření průtoku obecně využívají různých fyzikálních principů. Nejběžněji v medicíně používané jsou průtokoměry s diferenciálním senzorem tlaku, ultrazvukové průtokoměry, turbínkové průtokoměry a anemometry se žhaveným drátem. Objem vzduchu během dýchacího cyklu je možné stanovit nepřímo, integrací průtoku v čase. Výhody a nevýhody jsou přímo spjaty s vlastním principem daného pneumotachometru. Ultrazvukový průtokoměr například nepředstavuje pro proud vzduchu žádnou překážku a je tak v porovnání s diferenciálním průtokoměrem vhodnější při měřeních spojených s inhalací aerosolů. Výhody těchto zařízení jsou kompaktní rozměry a jednoduchost manipulace. Nevýhody zahrnují nutnost zajistit laminární proudění, linearitu, a poměrně velký mrtvý prostor.

Pneumotachografy jsou zařízení s fixním pneumatickým odporovým prvkem, který způsobí tlakový rozdíl proudícího vzduchu před a za odporovým elementem. Měřená změna tlaku je přímo úměrná rychlosti proudění vdechovaného nebo vydechovaného vzduchu. Odporovým prvkem může být metalická síť s jemnými oky (Silverman-Lilly) nebo častěji svazek paralelně uspořádaných malých kapilár (Fleisch) o průměru 0,2 – 3 mm a délce 3 cm, který je použit při tomto cvičení.



Obrázek 34-1 Základní schéma pneumotachografu.

P_{atm} – tlak na vnějším konci pneumotachografu před odporovým prvkem je přibližně rovný tlaku atmosférickému; P_p – tlak na ústním konci pneumotachografu za odporovým prvkem. Hadičky jsou napojeny na tlakový snímač měřící diferencí tlaků před a za odporovým prvkem.

Tlak na vnějším konci trubice pneumotachografu přibližně odpovídá tlaku atmosférickému (P_{atm}) a klademe ho rovným nule. Průtok vzduchu (\dot{V}) je přímo úměrný rozdílu tlaků (ΔP) a nepřímo úměrný odporu pneumotachografu (R_p). Jedná se o analogii s Ohmovým zákonem ($I = U/R$; I proud, U napětí, R odpor). Při

dýchání do pneumotachografu proudí vzduch přes dva za sebou zařazené odpory: odpor pneumotachografu (R_p) a odpor dýchacích cest (R_d). Pokud známe tlak v alveolech (P_{alv}), tlak na ústním konci trubice pneumotachografu (P_p) a odpor pneumotachografu (R_p), pak platí:

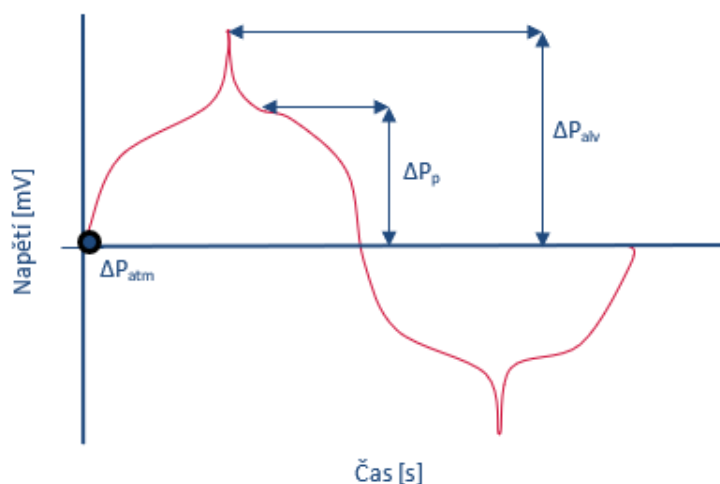
$$\frac{P_p - P_{atm}}{R_p} = \dot{V} = \frac{P_{alv} - P_p}{R_d} \quad (1)$$

Zavedením vztahu: $\Delta P_p = P_p - P_{atm}$ a $\Delta P_{alv} = P_{alv} - P_{atm}$

lze odvodit rovnici pro výpočet odporu dýchacích cest:

$$R_d = R_p \cdot \left(\frac{\Delta P_{alv}}{\Delta P_p} - 1 \right) \quad (2)$$

Pneumotachograf měří ΔP_p . Pro zjištění ΔP_{alv} v průběhu dýchání uzavřeme krátce vnější konec pneumotachografu připravenou záklopkou, čímž dojde k vyrovnání tlaků v alveolech a v dýchacích cestách. Modifikace průběhu naměřeného signálu je zřejmá – viz. Obrázek 34-2. Velikost odporu pneumotachografu $R_p = 0,086 \text{ kPa}\cdot\text{s/l}$.



Obrázek 34-2 Vývoj změny tlaků v průběhu měření.

Komentář: Při normálním dechovém cyklu je pneumotachografem měřen rozdíl tlaků ΔP . Po uzavření vnějšího konce pneumotachografu záklopkou dochází k vyrovnání tlaků v alveolech a v dýchacích cestách a měřenou veličinou je ΔP_{alv} . V případě cvičení je výsledkem graf napěťového signálu, přičemž fyzikální jednotka mV se ve zlomku vzorce zkrátí.

Průtočný odpor dýchacích cest

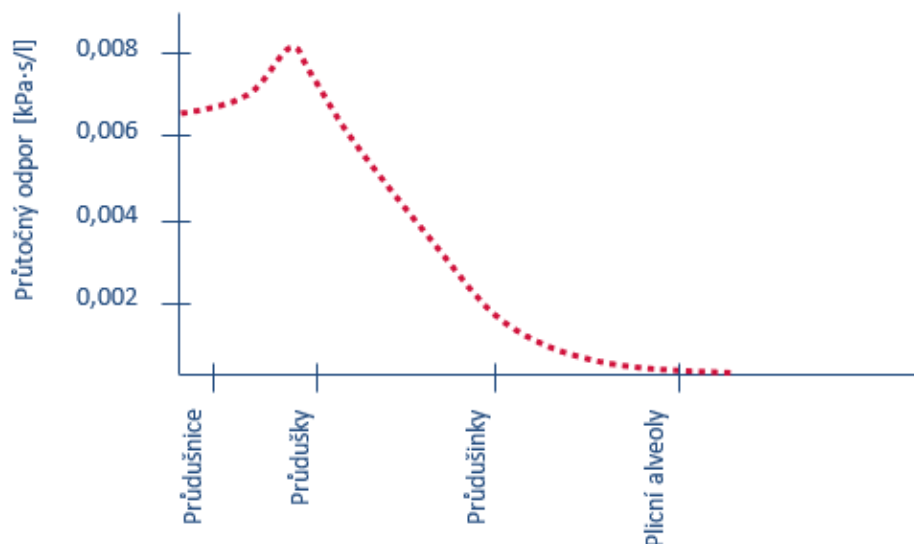
Průtočný odpor dýchacích cest vzniká následkem tření mezi proudícím plynem a stěnou dýchacích cest během dechového cyklu. Závisí na poloměru dýchacích cest a fyzikálních vlastnostech vdechovaného plynu (především viskozitě).

Z Hagen-Poiseuilleova zákona lze odvodit, že relativně malé změny poloměru dýchacích cest mají velký dopad na jejich odpor. Dojde-li například k dvojnásobnému zvětšení poloměru trubice, sníží se odpor se čtvrtou mocninou - s faktorem 16. K průtočnému odporu dýchacích cest největší měrou přispívají průdušky (viz Obrázek 34-4).

$$Re = \frac{8\eta l}{\pi r^4} \quad (3)$$

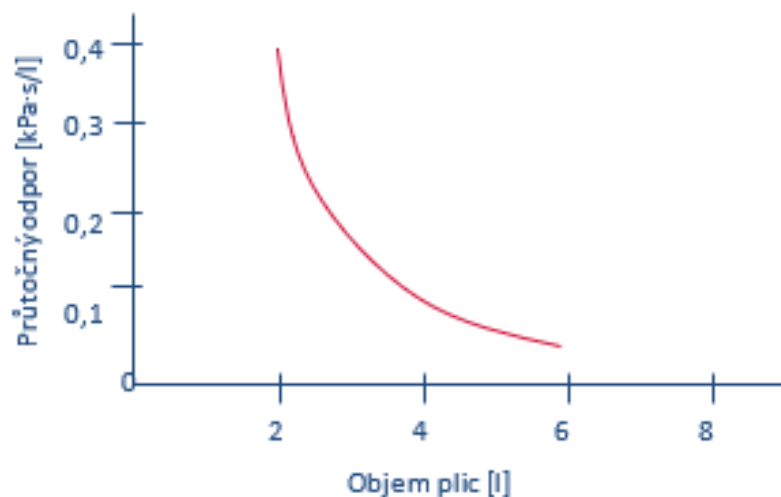
Při vysokých rychlostech proudění plynu přechází laminární proudění v turbulentní (např. během nuceného výdechu). V případě turbulentního proudění není závislost změny tlaku na rychlosti proudění lineární. Chování proudícího plynu je možno posoudit za pomoci Reynoldsova čísla Re . Přibližně platí, že proudění je převážně laminární pro kritickou hodnotu $Re < 2200$, přechodové (rychlostní profil je nestabilní) pro $2200 \leq Re \leq 4000$ a turbulentní pro $Re > 4000$.

Při nízkých objemech plic dochází v důsledku zmenšeného průměru dýchacích cest ke zvýšení průtočného odporu. Taktéž nemoci, při kterých dochází ke zúžení dýchacích cest, jako je chronické obstrukční plicní onemocnění a astma, jej zvyšují.



Obrázek 34-3 Závislost průtočného odporu dýchacích cest na změně objemu plic (ve vzpřímené poloze).

U spontánně dýchajícího dospělého člověka se fyziologický průtočný odpor dýchacích cest pohybuje v rozmezí 2–3 cmH₂O/L/s neboli 0,196 – 0,294 kPa·s/l. Zajímavostí je, že u novorozenců je odpor dýchacích cest mnohonásobně vyšší a dosahuje hodnot v rozmezí 19–28 cmH₂O/L/s neboli 1,863 – 2,746 kPa·s/l.



Obrázek 34-4 Průměrný odpor dýchacích cest v závislosti na generaci jejich větvení.

Komentář: Z důvodu paralelního řazení malých dýchacích cest (průměr <2 mm) a jejich velkého množství představují větší odpor proudícímu vzduchu velké a středně velké dýchací cesty (průměr >2 mm).

Spirometr vs pneumotachometr

Spirometrické vyšetření může být obecně prováděno s mnoha různými typy zařízení. Kvůli rozdílnému principu funkce je dobré mít na paměti rozdíly mezi původním spirometrem a pneumotachometrem.

Spirometr je zařízení, jehož hlavní částí je krycí zvon o objemu 7 až 10 litrů zavěšený v nádobě s vodou. Otevřený konec zvonu je pod hladinou vody. Dechová aktivita pacienta způsobuje při nádechu posun zvonu dolů a při výdechu naopak nahoru. Vertikální posun zvonu je přímo úměrný objemu vzduchu během dýchacího cyklu. Objem vzduchu byl po mnoho let zaznamenáván perem na otáčecím se bubnu s papírem (kymograf). Spirometr byl s postupem času technologicky zdokonalován a krycí zvon s vodou nahradila suchá válcová těsnění a měchy. Spirometr musí mít obecně malou setrvačnost a nízký odpor ve vztahu k procházejícímu vzduchu. Výhodou těchto systémů je možnost přímého měření objemu a poměrně snadné ověření přesnosti a linearity. Nevýhodou je nárůst CO_2 v nádobě a velké rozměry.

Pneumotachometry jsou založeny na měření rychlosti proudění definovaným průřezem, tedy průtoku. Pneumotachometry pro měření průtoku obecně využívají různých fyzikálních principů. Integrací průtoku v čase je možné stanovit objem vzduchu během dýchacího cyklu.

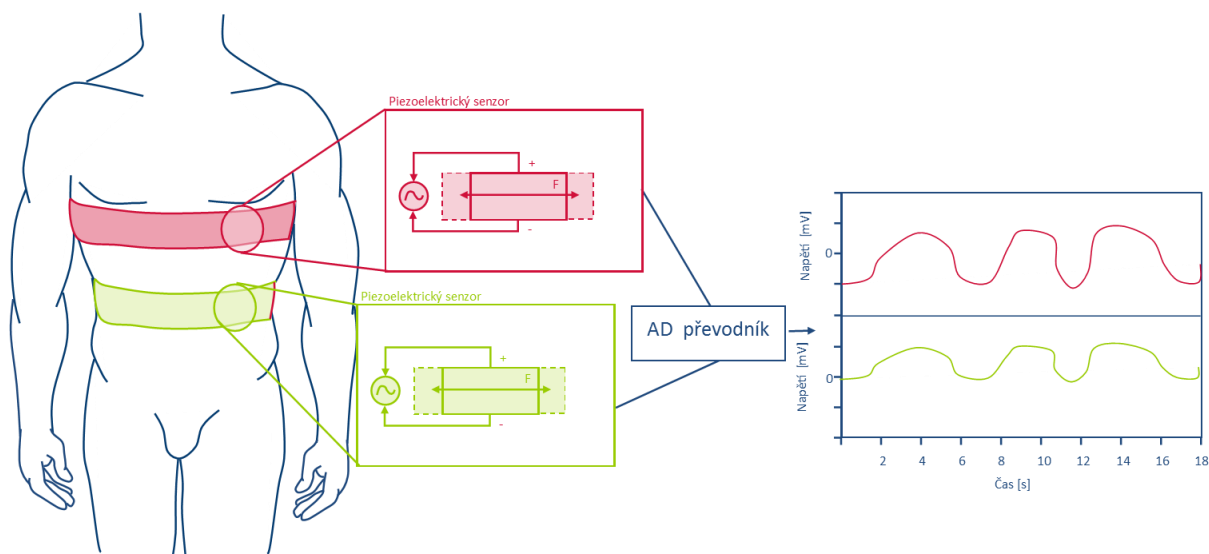
V praxi jsou často veškerá zařízení využívána pro spirometrické vyšetření obecně nazývána spirometry. To je způsobeno nahrazováním původních vodou uzavřených spirometrů pneumotachografy. Tyto vodou uzavřené spirometry a jejich variace byly jako hlavní metoda pro diagnostiku plic používány více než 100 let a je možné se s nimi setkat i dnes.

35 PNEUMOGRAFIE

35.1 Poznámky ke cvičení

Pneumografie je metoda registrace dýchacích pohybů. Zaznamenává se při ní frekvence a hloubka dýchání v čase. Existuje řada pneumografických zařízení využívajících různých fyzikálních principů (např. pneumatický, impedanční, tenzometrický). U pneumatické pneumografie slouží jako snímač respirační pás (vrapovaná trubice naplněná vzduchem s tlakovým senzorem), obepnutá kolem hrudníku vyšetřované osoby. Pohyby hrudníku jsou pomocí změny tlaku v trubici převáděné na výstupní elektrický signál. Během inspirace se hrudník rozšiřuje a způsobuje natahování trubice, což zvyšuje tlak uvnitř měřicího systému. Při výdechu naopak tlak v trubici klesá. Respirační křivka má typický průběh (Obrázek 35-1), který nese informaci o frekvenci dýchání v cyklech za minutu. Amplituda signálu je přímo úměrná objemovému rozepnutí hrudníku. Při zátěži lze touto metodou demonstrovat vztah nepřímé úměry mezi dechovou frekvencí a amplitudou signálu (zvýšení dechové frekvence při zátěži může vést ke snížení dechového objemu).

Výhodou metody je možnost přesného, dlouhodobého a neinvazivního měření dechové frekvence.



Obrázek 35-1 Záznam dechových pohybů pomocí respiračních pásů.

Komentář: Respirační pásy (vrapované hadice) jsou umístěny v oblasti hrudníku a břicha. Piezoelektrický senzor detekuje změnu tlaku uvnitř hadice v důsledku pohybů hrudníku v rámci dechového cyklu.

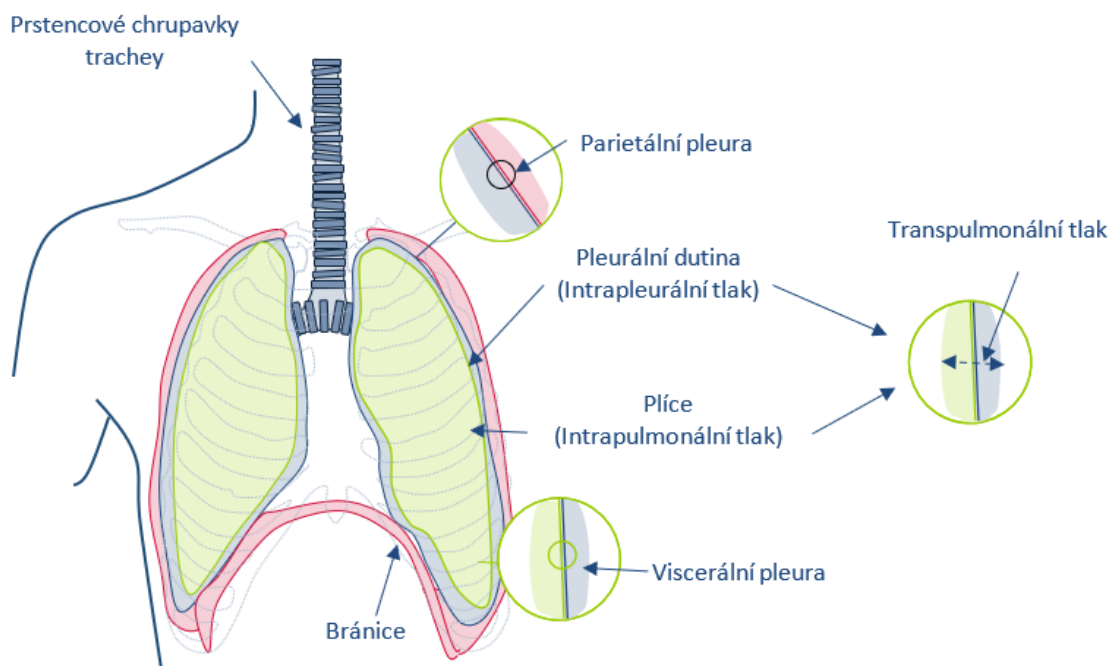
Nevýhodou je nutnost použití měřicích pásů, které mohou sklouznutím při pohybu hrudníku negativně ovlivnit dechový vzor. Rovněž informace o amplitudě rozepnutí hrudníku je pouze relativní.

Mechanika dýchání, dechový cyklus

Je důležité si uvědomit, že plíce samy o sobě nemění svůj objem nebo tvar. Plíce mimo hrudník jsou zkolabovány v důsledku vlastní elasticity tkáně, a v tomto stavu setrvávají. Z tohoto důvodu jsou plíce uloženy v hrudníku, který je pomocí dýchacích svalů schopen pohybu a tím i změny vlastního objemu.

Kolapsu plic zabraňuje podtlak (subatmosférický tlak–tlak nižší než atmosférický) v pleurální dutině, který taktéž umožňuje naplnění plic vzduchem. Pleurální dutina je úzký prostor mezi dvěma plicními pleurami každé plíce (známými jako viscerální a parietální). Obsahuje 10–15 ml vodnaté serózní tekutiny, která působí jako lubrikant a umožňuje pleurám bez námahy klouzat proti sobě během respiračních pohybů. Podtlak v pleurální dutině působí proti vlastní elasticitě plicní tkáně. Plíce jsou tak udržovány v rozepjatém stavu a svým pohybem kopírují pohyby hrudníku (Obrázek 35-2).

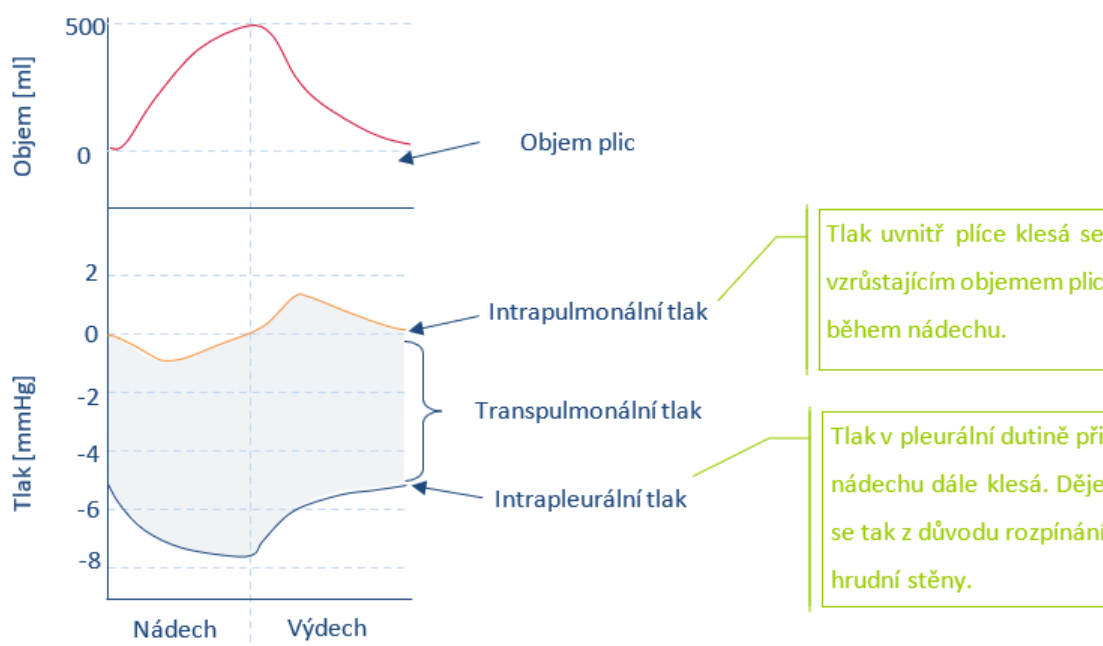
Porušení podtlaku v pleurální dutině, způsobené například nahromaděním vzduchu v důsledku traumatu, se nazývá pneumotorax. Postižená část plic je částečně nebo zcela zkolabována a tím vyřazena z ventilace.



Obrázek 35-2 Tlakové poměry plic a hrudníku.

Komentář: Umístění plic v hrudníku a vztah mezi intrapulmonární, intrapleurálním a transpulmonálním tlakem. Podtlak v pleurální dutině zabraňuje kolapsu plic. Hlavním dýchacím svalem je bránice zajišťující až 80 % ventilace.

Dechový cyklus se skládá z fází nádechu (inspiria) a výdechu (expiria). Tyto fáze se periodicky střídají a garantují tak dostatečně vysoký parciální tlak O_2 , a naopak dostatečně nízký parciální tlak CO_2 v alveolech. Udržení těchto parciálních tlaků je zcela nezbytné pro efektivní výměnu dýchacích plynů přes alveolokapilární membránu (dostatečná extrakce CO_2 , a zároveň dostatečné sycení krve O_2).



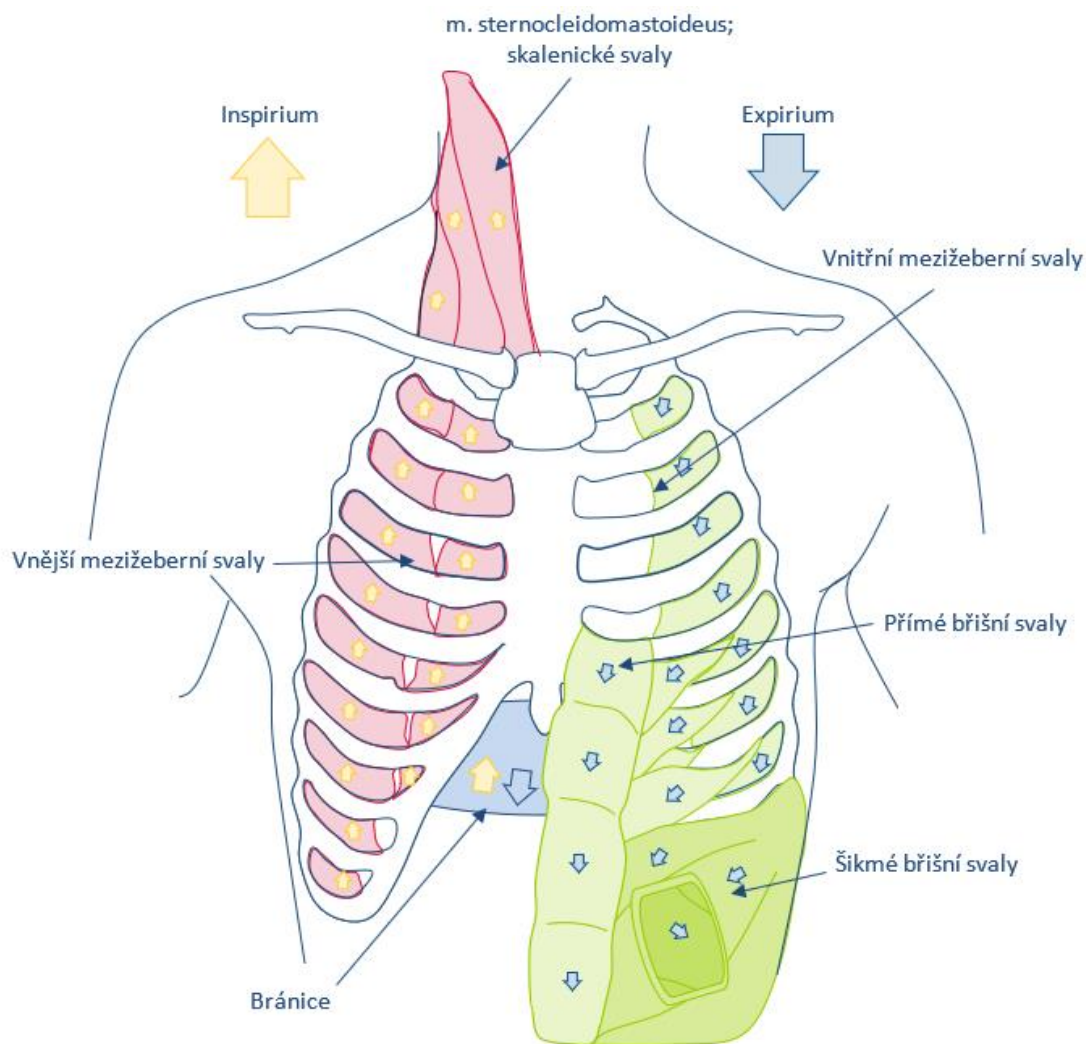
Obrázek 35-3 Změny objemu plic ve vztahu k měnícímu se intrapulmonálnímu, transpulmonálnímu a intrapleurálnímu tlaku během klidového dýchání. Inspirace je dosaženo vytvářením stále negativnějšího intrapleurálního tlaku.

Hlavním svalem, který se uplatňuje při klidovém dýchání, je bránice. Bránice je klenutý sval oddělující hrudní a břišní dutinu. Při kontrakci bránice se snižuje její vklnutí do hrudního koše a tím se zvětšuje objem hrudní dutiny. Chování bránice si tedy lze představit jako pohyb pístu zajišťujícího až 80 % plicní ventilace.

Nádech je za fyziologických podmínek vždy aktivní děj. Při nádechu je tlak v alveolech nižší než je tlak v okolní atmosféře (Obrázek 35-3). Tlakový rozdíl je způsobený také díky kontrakci vnějších mezižeberních svalů. Jejich kontrakce zvětšuje objem hrudníku tím, že zvedá žebra dopředu a nahoru (kraniálně a ventrálně). Při usilovném nádechu se uplatňují také přídatné dýchací svaly (např. pektorální, skalenické či m. sternocleidomastoideus). V momentě, kdy ustane činnost dechových svalů (Obrázek 35-4), je vzduch z plic vypuzován vlivem elastické síly plicní tkáně a samotné hrudní stěny. Klidový výdech je tedy děj pasivní, neúčastní se jej žádné svalstvo a plíce se smrští na svůj původní objem (je exspirován stejný objem vzduchu, jako byl inspirován). Při usilovném výdechu a v nemoci (např. obstrukční plicní nemoc) se mohou zapojovat i expirační svaly (břišní svaly, ev. vnitřní mezižeberní svaly). Vnitřní mezižeberní svaly táhnou hrudní koš dolů a zpět (kaudálně a dorzálně).

Heringův-Breuerův reflex

Heringův-Breuerův inflační reflex slouží k zamezení nadměrného nádechu. Stretch receptory umístěné v plicní tkáni monitorují její napětí, aby byly plíce chráněné před poškozením.

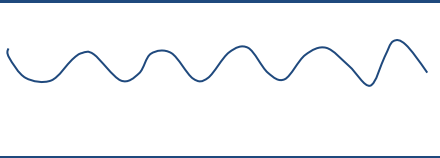
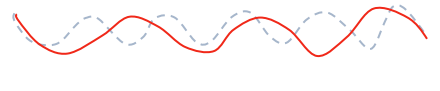
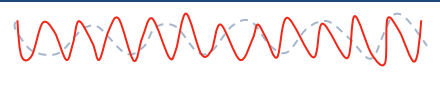

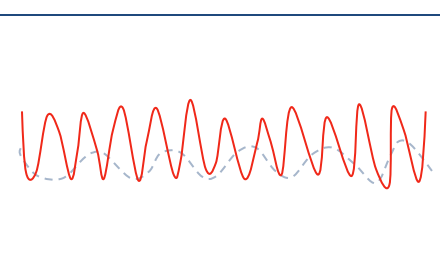
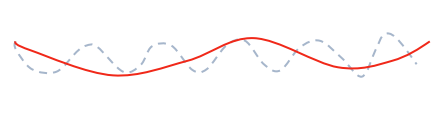
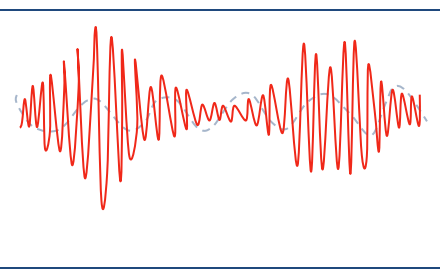
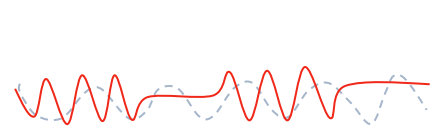


Obrázek 35-4 Anatomická lokalizace dýchacích svalů a jejich různé zapojení při nádechu (inspiriu), resp. výdechu (expiriu).

Typy dýchání a dýchací vzory

Dýchací vzory se liší mezi jednotlivci a mohou být ovlivněny faktory, jako jsou bolest, emoce, tělesná teplota, spánek, pozice těla a úroveň tělesné aktivity. Změny v dýchacím vzoru mohou dále indikovat přítomnost plicních, srdečních, metabolických nebo nervových patologií. Optimálním časem pro klinické vyšetření dýchacího cyklu je situace, kdy si pacient není inspekce vědom. Znalost fyzikálního vyšetření může podvědomě ovlivnit dýchací cyklus pacienta (tzv. syndrom bílého pláště). Podle dechové frekvence a hloubky dýchání rozlišujeme různé typy dýchání (Tabulka 35-1).

Tabulka 35-1 Přehled typů dýchání a přidružených dýchacích vzorů (přerušovaná čára ukazuje fyziologický dechový vzor).

Dýchací vzor	Typ dýchání	Popis
	Eupnoe	Fyziologické dýchání, 12–16 dechů/min
	Bradypnoe	Zpomalené dýchání, <10 dechů/min
	Tachypnoe	Zrychlené dýchání, >20 dechů/min
	Apnoe	Bezdeší, 0 dechů/min
	Hyperventilace	Zrychlené (tachypnoe) a prohloubené (hyperpnoe) dýchání vyskytující se současně se označuje hyperventilace. Přísun vzduchu při hyperventilaci je větší než jaké jsou aktuální potřeby organismu.
	Hypoventilace	Mělké (hypopnoe) a zpomalené (bradypnoe) dýchání, při kterém je přísun vzduchu menší než jaké jsou aktuální požadavky organismu.
	Cheyne-Stokes	Patologický dýchací vzor charakterizovaný progresivně hlubším a občasným rychlejším dýcháním, po kterém následuje postupné snižování dechové aktivity. To může mít za následek až dočasné zastavení dýchání
	Biot	Patologický dýchací vzor charakterizovaný skupinami rychlých, mělkých inspirací následovaných pravidelnými nebo nepravidelnými obdobími zástavy dýchání

36 SPIROMETRIE

36.1 Poznámky ke cvičení

Spirometrie je v klinické praxi nejrozšířenější metodou pro základní hodnocení stavu respiračního systému člověka. Podobně, jako měření krevního tlaku hodnotí celkovou funkci kardiovaskulárního systému, je spirometrie klíčová pro screening a diagnostiku funkce plic. Při spirometrickém vyšetření jsou zaznamenávány změny objemu vzduchu během dýchacího cyklu. Měřenou veličinou může být objem nebo průtok vzduchu.

V případě, že je prováděna vyškoleným personálem, je spirometrie jednoduchou a spolehlivou metodou pro detekci změn a rozsahu onemocnění. Dostatečná kvalita měření je důležitá pro zajištění užitečných a reprodukovatelných výsledků, jinak může dojít k nesprávné interpretaci.

Referenční hodnoty pro hodnocení spirometrie

Spolehlivost interpretace výsledků spirometrického vyšetření závisí také na dostupnosti vhodných referenčních hodnot. Ty pomáhají rozlišovat mezi zdravými a nemocnými jedinci a dále určit povahu a míru onemocnění plic. Referenční hodnoty jsou derivovány z měření zdravé skupiny populace a mají reprezentovat fyziologické hodnoty. Při interpretaci výsledků je tedy vhodné brát v úvahu charakteristiky vyšetřované populace a přizpůsobit tak diagnostiku plicních onemocnění nejnovějším poznatkům. Referenční hodnoty jsou volně dostupné a aktualizované například Evropskou respirační společností (ERS).

Veškeré níže uvedené hodnoty plicních objemů a kapacit předpokládají dospělého zdravého jedince (dolní hranice hodnot pro ženu, horní hranice hodnot pro muže).

Plicní objemy

Plicní objemy jsou měřitelné prostory v plicích, které nabírají vzduch během dýchacího cyklu. Jsou závislé na pohlaví, věku, tělesných rozměrech (hmotnost, výška, tělesný povrch) a etnické příslušnosti. Rozlišujeme statické a dynamické plicní objemy. Plicní objemy napomáhají při diagnostice restričních a obstrukčních plicních poruch (Tabulka 36-1). Reziiduální objem a mrtvý objem nelze přímo měřit spirometrií.

Tabulka 36-1 Plicní objemy

Český název	Anglický název	Fyziologické rozmezí	Popis
Dechový objem	Tidal Volume (TV)	≈ 0,5 l	Objem vdechovaného nebo vydechovaného vzduchu při klidovém dýchání.
Inspirační rezervní objem	Inspiratory reserve volume (IRV)	1,9–3,3 l	Maximální objem vzduchu, který může být vdechnut po skončení klidového nádechu.
Expirační rezervní objem	Expiratory reserve volume (ERV)	0,7–1,2 l	Maximální objem vzduchu, který může být vydechnut z klidové výdechové polohy.
Reziduální objem	Residual volume (RV)	1,1–1,2 l	Objem, který zůstane v plicích po maximálním výdechu
Mrtvý prostor	Dead space (DS)	0,15–0,2 l	Anatomický mrtvý dýchací prostor. Označuje objem dýchacích cest nebo oblast plic, které se nezúčastní výměny dýchacích plynů difuzí.

Dynamické plicní objemy a parametry napomáhají především při diagnostice obstrukčních plicních poruch (Tabulka 36-2).

Tabulka 36-2 Dynamické plicní parametry

Český název	Anglický název	Fyziologické rozmezí	Popis
Dechová frekvence	Respiratory rate (f)	12–16 dechů/min	Počet dechů za minutu.
Minutová ventilace	Minute ventilation (MV)	6–9 l/min	Objem vzduchu vyměněného v plicích za jednu minutu při klidovém dýchání.
Usilovná vitální kapacita	Forced vital capacity (FVC)	3,7–4,8 l	Maximální objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu vydechnout s maximálním úsilím.
Jednosekundová vitální kapacita	Forced expiratory volume in 1 s (FEV1)	> 80 % FVC	Objem vzduchu prudce vydechnutý s maximálním úsilím za první sekundu výdechu.
Maximální výdechový průtok	Peak expiratory flow (PEF)	≈ 300–670 l/min	Nejvyšší průtok dosažený během usilovného výdechu.

			Fyziologické hodnoty podle EN 13826.
--	--	--	--------------------------------------

Plicní kapacity

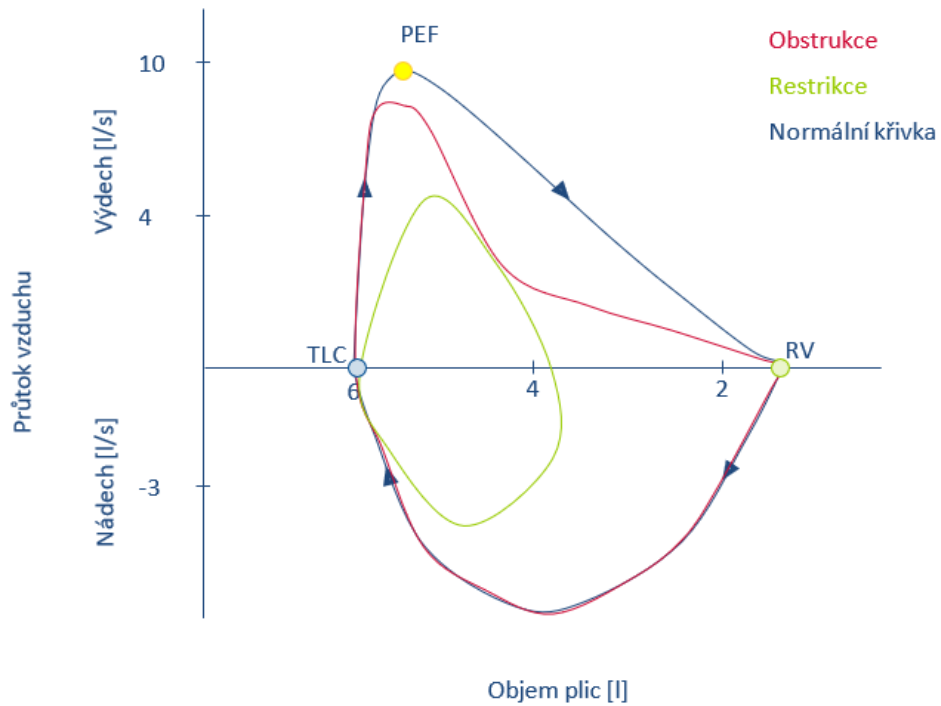
Plicní kapacity vznikají kombinací jednoho nebo více plicních objemů (Tabulka 36-3).

Tabulka 36-3 Plicní kapacity

Český název	Anglický název	Výpočet	Fyziologické rozmezí	Popis
Vitální kapacita	Vital Capacity	$VC = TV + IRV + ERV$	3,1–4,8 l	Maximální objem, který může být vypuzen z plic usilovným výdechem po maximálním nádechu.
Celková plicní kapacita	Total lung capacity	$TLC = VC + RV = IRV + TV + ERV + RV$	4,2–6,5 l	Objem vzduchu, který je v plicích po maximálním nádechu.
Inspirační kapacita	Inspiratory capacity	$IC = IRV + TV$	2,4–3,8 l	Maximální objem vzduchu nadechnutý po klidovém výdechu.
Funkční reziduální kapacita	Functional residual capacity	$FRC = RV + ERV$	1,8–2,4 l	Množství vzduchu, které zůstane v plicích po klidném výdechu.
Expirační kapacita	Expiratory capacity	$EC = TV + ERV$	/	Maximální objem vzduchu vydechnutý po klidovém nádechu.

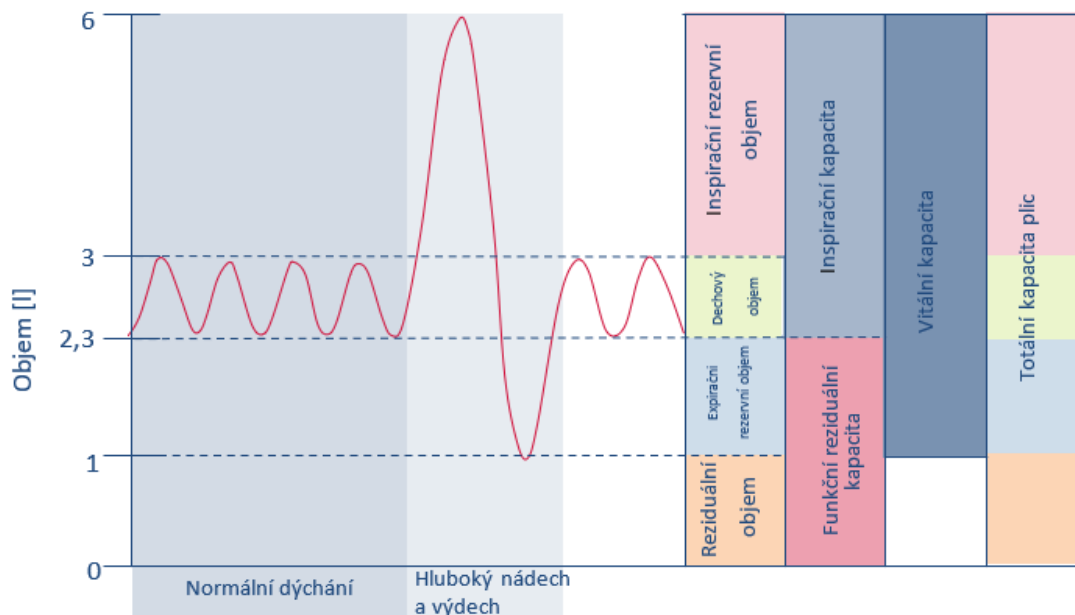
Obstrukční a restriční plicní poruchy

Nejdůležitějším spirometrickým manévrem pro detekci obstrukční nebo restriční plicní poruchy je manévr maximálního, usilovného, co nejrychlejšího výdechu, kterým je změřena usilovná vitální kapacita (FVC). Jedná se o objem vzduchu, který lze po maximálním nádechu prudce vydechnout při maximálním úsilí pacienta. Zdravý jedinec dokáže obecně vydechnout více než 80 procent objemu vzduchu z plic během první sekundy výdechu. Usilovný expirační objem za jednu sekundu (FEV1) je objem vzduchu vydechovaného v první sekundě manévru FVC. Tiffeneauův index je poměr $FEV1 / FVC$ vyjádřen v procentech a výrazně napomáhá při diagnostice plicních onemocnění (Tabulka 36-4).



Obrázek 36-1 Křivka průtok – objem při usilovném výdechu a nádechu.

Komentář: Kladné hodnoty reprezentují výdech s maximální výdechovou rychlostí (PEF) na vrcholu křivky. Záporné hodnoty představují nádech. Změny tvaru křivky napomáhají při diagnostice plicních onemocnění (např. lokalizace obstrukce v horních/dolních cestách dýchacích, restrikce plic). Prostou spirometrií není možné měřit reziduální objem.



Obrázek 36-2 Grafické znázornění jednotlivých měřených spirometrických objemů a kapacit.

Tabulka 36-4 Porovnání charakteristik nápomocných pro diagnostiku obstrukčních a restričních plicních poruch.

Plicní porucha	Obstrukční	Restriční
Charakteristika	Limitace průtoku vzduchu z důvodu částečné nebo úplné obstrukce	Snížená poddajnost hrudníku nebo plic doprovázená sníženou celkovou kapacitou plic
Onemocnění	Astma, emfyzém, chronická bronchitida, bronchiektázie	Pneumonie, sarkoidóza, resekce plic, idiopatická plicní fibróza
Celková kapacita plic (TLC)	Normální nebo zvýšená	Snížená
Usilovná vitální kapacita (FVC)	Normální nebo snížená	Omezená
Usilovný expirační objem za 1 s (FEV1)	Snížený	Omezený nebo normální
Tiffeneauv index (FEV1 / FVC · 100)	Snížený (<80 %)	Normální nebo zvýšený

Spirometrie v klinické praxi

Před vlastním měřením je nutné měřicí zařízení zkalibrovat. K tomu se využívá kalibrační stříkačka o definovaném objemu (1 l nebo 3 l). Kalibrace zařízení je doporučena podle pokynů výrobce, minimálně každé ráno, před příchodem pacientů. Před vyšetřením je dále nutné zaznamenat identifikační údaje pacienta, které jsou nezbytné ke korektnímu hodnocení naměřených dat a taktéž vyloučit kontraindikace. Je důležité také dbát na správnou techniku, pozici těla pacienta a použití nosní svorky. Podle typu zařízení musí být použit antibakteriální filtr nebo jednorázová měřicí součást. Čas by měl být vyhrazen i na seznámení pacienta s dechových manévrem, což je kritické u dětí a seniorů.

Světové odborné společnosti uvádějí, že pro správně provedené spirometrické vyšetření by mělo platit dosažení tří akceptovatelných manévrů. Akceptovatelný manévr je definován následovně:

- Začátek je rychlý a bez zaváhání, provedený s maximální úsilím nádechu a výdechu.
- Nedochází k uzavření hlasivek (*glottis*) ani k zastavení proudu vzduchu (např. zaváháním nebo zablokováním náustku).
- Není přítomný kašel (zejména během první sekundy), nebo známky netěsností.
- Výdech trvá po dobu ≥ 6 s, přičemž objem < 50 ml byl vydechnut v posledních dvou sekundách.

Po naměření akceptovatelných manévrů je nutné ověřit i kritéria reprodukovatelnosti:

- Pro FEV1 a FVC by nejlepší dvě hodnoty měly být v rozmezí 5 % nebo ± 150 ml, podle toho, která hodnota je větší. Pokud je FVC $< 1,0$ l, měly by být hodnoty v rozmezí ± 100 ml.
- Nejlepší hodnoty FEV1 a FVC získat z různých měření.

Pokud není kritérií dosaženo, měření se opakuje. Celkově se provádí maximálně 8 měření. Poté je dosažení lepších výsledků, z důvodu náročnosti vyšetření, nepravděpodobné.

Pokud výsledky měření poukazují na obstrukční plicní chorobu, může být za účelem přesnější diagnostiky (chronická obstrukční plicní nemoc, astma), proveden i bronchodilatační test. Při testu je podána bronchodilatační medikace s rychle a krátkodobě účinkujícím beta₂-agonistou. Nejčastěji se jedná o 400 μ g salbutamolu ve formě aerosolu. Spirometrické měření je poté opakováno a porovnáno s původním měřením. Pozitivní odpověď na bronchodilatátory je obecně definována jako zvýšení FEV1 nebo FVC ≥ 12 % a zároveň o 200 ml, nebo zlepšení hodnoty PEF ≥ 15 % ve srovnání s výchozím stavem.

37 VYŠETŘENÍ CITLIVOSTI DECHOVÉHO CENTRA NA HYPERKAPNII

37.1 Poznámky ke cvičení

Hyperkapnie je definována jako nárůst parciálního tlaku CO_2 v krvi v důsledku jeho nedostatečného vylučování dýchací soustavou. Mírný nárůst vede ke stimulaci dechového centra ve snaze zbavit organismus přebytkového oxidu uhličitého zvýšením ventilace. Další nárůst pCO_2 způsobí naopak útlum dechových center, v hraničních případech až smrt (Tabulka 37-1).

Tabulka 37-1 Vliv nárůstu parciálního tlaku oxidu uhličitého na lidský organismus.

pCO_2 [mmHg]	pCO_2 [kPa]	Účinek
< 40	< 5,4	Žádný (fyziologické hodnoty)
< 52	< 7	Stimulace dechového centra, zvýšení minutové ventilace
≈ 75	≈ 10	Narkotický účinek, útlum dechového centra, zmatenost
> 90	> 12	Možné poruchy vědomí, kóma až smrt

Citlivost dechového centra na hyperkapnii definujeme jako vzestup minutové ventilace při zvýšení pCO_2 ve vdechovaném vzduchu o 1 mmHg. Průměrné hodnoty jsou 20–40 ml/min na 1 mmHg pCO_2 . Za normální klidovou minutovou ventilaci je považována hodnota 6–9 l/min. Při fyzické práci se zvyšuje metabolická aktivita organismu (kosterní svaly vyžadují zvýšený přísun kyslíku a zároveň zvýšenou eliminaci odpadního oxidu uhličitého), přičemž stupni této metabolické aktivity je úměrná minutová ventilace (objem dýchacích plynů vyměněn za 1 minutu mezi organismem a prostředím).

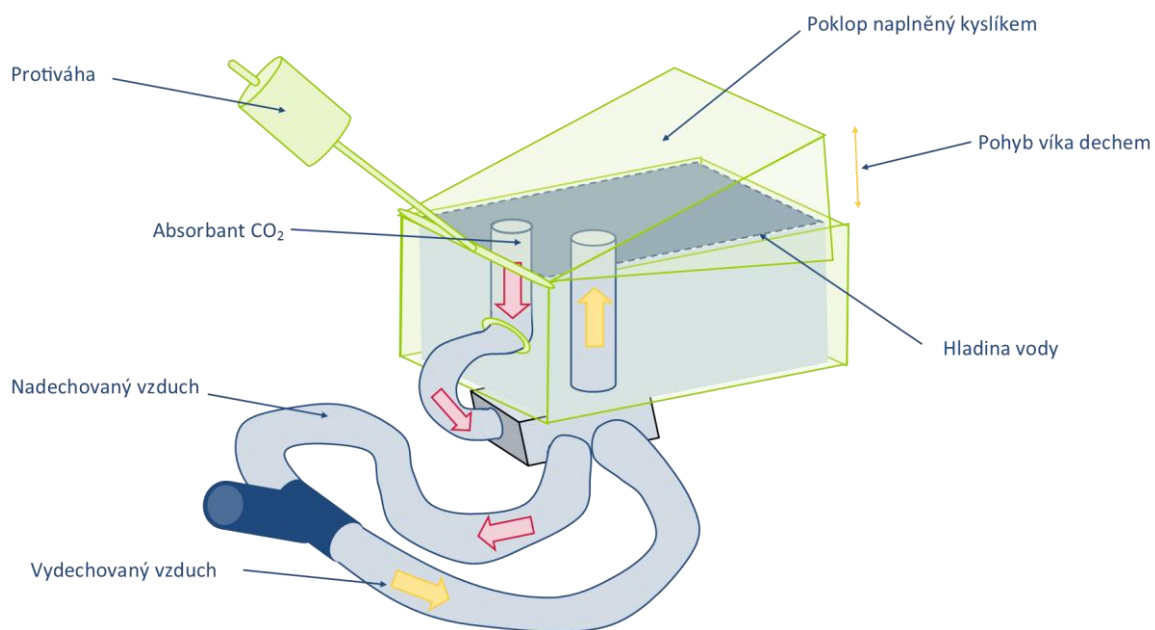
Atmosférický vzduch je složen z několika plynů. S ohledem na podstatu dýchání je evidentní, že zastoupení jednotlivých plynů ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu nebude identické (Tabulka 37-2).

Tabulka 37-2 Zastoupení jednotlivých plynů ve vdechovaném a vydechovaném vzduchu.

Vzduch	Zastoupení jednotlivých plynů [%]			
	O_2	CO_2	N_2	Ostatní
Vdechovaný	21	0,04	78	0,96
Vydechovaný	17	4	78	1

K posouzení citlivosti dechového centra na hyperkapnii je ve cvičení využito zařízení nazvané Kroghův respirometr (Obrázek 37-1). Vzduch vdechujeme ze zásobníku, jehož součástí jsou pohyblivé víko utěsněné

vodou a detektory snímající pohyb. Hadičky, které vedou k náustku, jsou opatřeny jednocestnými ventily, což zajišťuje jednosměrnou cirkulaci vdechovaného a vydechovaného vzduchu. Vydechovaný vzduch pak v závislosti na druhu měření může procházet filtrem, kde je oxid uhličitý absorbován navázáním na natronové vápno. Při určování citlivosti dechového centra na hyperkapnii se natronové vápno nepoužívá z důvodu nutnosti zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v respirometru a následně i arteriální krvi vyšetřovaného. Při dýchání se víko zásobníku pohybuje nahoru a dolů a tento pohyb je registrován. Dříve se záznam zapisoval na rotující válec, dnes se používá elektronická registrace. Jelikož vyšetřovaný dýchá v uzavřeném systému respirometru, objem vzduchu v přístroji by měl v průběhu měření zůstat konstantní. V důsledku netěsností systému však k úbytku zpravidla dochází. Koncentrace oxidu uhličitého je zjišťována pomocí externího zařízení – kapnometru, analyzujícího vzorky vzduchu vydechované vyšetřovanou osobou.



Obrázek 37-1 Schématické znázornění Kroghova respirometru s absencí komponenty pro absorpci oxidu uhličitého ve vydechovaném vzduchu.

Dechová centra

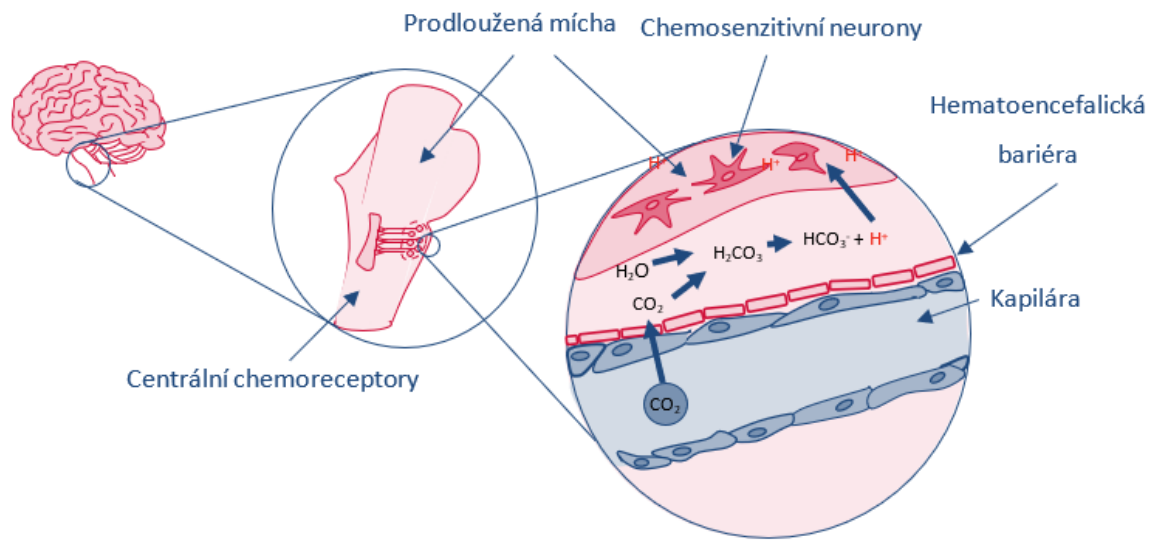
Dýchání je automatický rytmický děj vytvářený komplexní interakcí inspiračních a expiračních neuronů. Nervovou regulaci dýchání řídí dva oddělené nervové mechanismy:

První, mechanismus dechové automacie, je uložen v prodloužené míše a Varolově mostu. Toto nervové centrum je udavatelem rytmu dýchacích pohybů a zároveň je schopno automaticky přizpůsobit dýchání změnám ve vnitřním i vnějším prostředí. Respirační neurony vytvářejí synapse s motoneurony, které inervují svaly hrudníku a břicha. Dechový rytmus a délka každé fáze dechového cyklu jsou stanoveny vzájemným stimulačním a inhibičním propojením těchto neuronů.

Druhý, mechanismus volního dýchání, je umístěn v mozkové kůře a umožňuje jedinci vědomě měnit hloubku a frekvenci dýchání nebo dech zadržet.

Chemická regulace dýchání

Dýchání je jediná vitální funkce podléhající do jisté míry volní kontrole (parametry dýchání možno modifikovat vůlí). Proto existují specializované receptory (chemoreceptory), které podvědomě sbírají informace o potřebách organismu a v případě hrozby narušení homeostázy převezmou nad dýchacími pohyby plnou kontrolu.



Obrázek 37-2 Lokalizace a podstata činnosti centrálních chemoreceptorů v prodloužené míše.

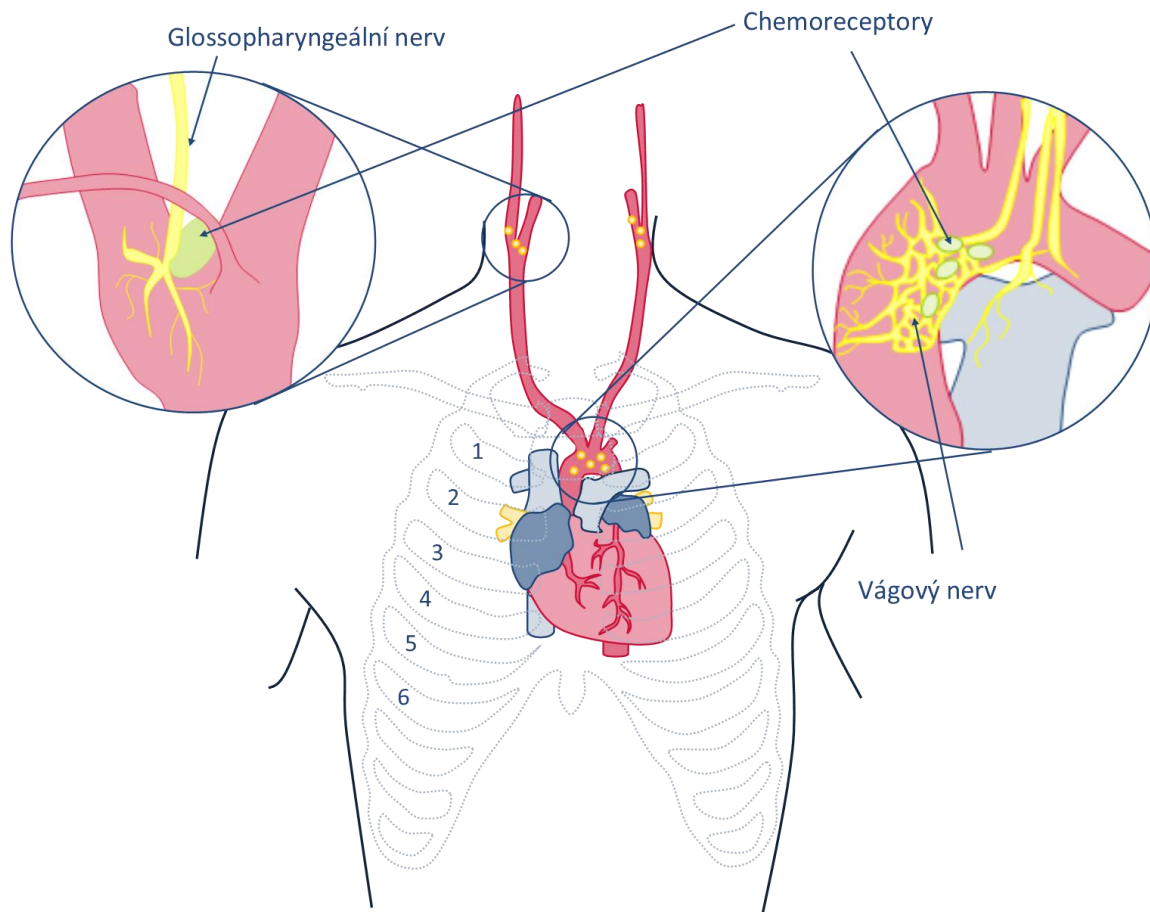
Komentář: Regulace minutové ventilace na základě koncentrace vodíkových kationtů v mozkomíšním moku, která je přímo úměrná parciálnímu tlaku oxidu uhličitého v krvi na podkladě chemické reakce znázorněné na obrázku vpravo.

Chemická regulace dýchání je primárně kontrolována zpětnou vazbou z centrálních a periferních chemoreceptorů, které ovlivňují aktivitu dýchacích center při změnách parciálního tlaku CO_2 , O_2 a pH. Plicní ventilace je regulována tak, že parciální tlak CO_2 v plicních alveolech je za normálních podmínek udržován konstantní. Chemoreceptory, které zprostředkovávají nárůst ventilace při zvýšení arteriálního parciálního tlaku CO_2 , jsou umístěny v prodloužené míše a nazývají se centrální chemoreceptory (Obrázek 37-2).

Centrální chemoreceptory slouží k detekci a integraci informací o:

1. alveolární ventilaci (arteriální pCO_2)
2. průtoku krve mozkiem a jeho metabolismu
3. stavu acidobazické rovnováhy organismu

V reakci ovlivňují míru dýchání, odpor dýchacích cest a krevní tlak. Navíc poskytují tonický „pohon“ (zdroj excitace) nezbytný k vyvolání fyziologického dýchání při normálním $p\text{CO}_2$. Činnost centrálních chemoreceptorů je mocným regulačním mechanismem působícím intenzivní nárůst ventilace při zvýšených metabolických potřebách organismu. Děje se tak na základě detekce přebytku oxidu uhličitého (přesněji detekci H^+ v mozkomíšním moku), nikoliv na základě nedostatku kyslíku. I když reagují na změnu $p\text{CO}_2$ v krvi v řádu minut, jsou centrální chemoreceptory zodpovědné z 80 % za senzitivitu organismu vůči hyperkapnii.



Obrázek 37-3 Umístění periferních chemoreceptorů v cévním systému a jejich inervace příslušným nervem.

Komentář: S nejvyšší denzitou se periferní chemoreceptory nachází v oblouku aorty (*glomus aorticum*) a bifurkaci karotických arterií (*glomus caroticum*), kde reagují především na změnu parciálního tlaku kyslíku ($p\text{O}_2$).

Periferní chemoreceptory jsou rozmístěny v blízkosti cévním systému (Obrázek 37-3). Jedná se o nejrychlejší regulační mechanismus schopný zaznamenat i malé změny parciálního tlaku krevních plynů a stavu acidobazické rovnováhy. I když je jejich odezva v řádu sekund, oproti centrálním chemoreceptorům jsou zodpovědné jen za přibližně 20% senzitivity organismu vůči hyperkapnii. Nejvyšší koncentrace periferních chemoreceptorů je v oblouku aorty a bifurkaci karotid. Rozdíl v regulaci dýchání pomocí centrálních a periferních chemoreceptorů je pouze v rychlosti a míře odezvy.

Zadržení dechu a hyperventilace

Průměrný zdravý člověk bez zvláštního tréninku dokáže zadržet dech po dobu přibližně 30 s. Jedním ze způsobů, jak tuto dobu prodloužit, je hyperventilace (zrychlené a prohloubené dýchání). Hyperventilace má pouze malý vliv na množství kyslíku v těle (zůstává prakticky nezměněný), ale snižuje podíl oxidu uhličitého a zvyšuje pH mozkomíšního moku. Trvá tedy delší dobu než produkováný CO_2 dosáhne prahu, který nutí jedince k nádechu. To je obzvláště nebezpečné při potápění, kdy tlak vody v hloubce zvyšuje parciální tlak plynů v plicích. Díky tomu je i při snižující se hladině O_2 zajištěn dostatečný parciální tlak k udržení vědomí. Problém nastává v momentě, kdy nahromaděný CO_2 nutí plavce k vynoření. Postupně klesající tlak vody při výstupu z hloubky snižuje parciální tlak zbývajících kyslíku v alveolárním plynu, arteriální krvi a tkáních, což může vést ke ztrátě vědomí a utonutí.

Potápěcí reflex savců (diving reflex)

Potápěcí reflex savců je fyziologickou reakcí, kterou je možno vyvolat chlazením nebo smáčením nosu a obličeje při současném zadržení dechu. Jedná se o pozoruhodné chování, které potlačuje základní homeostatické reflexy. Hlavní odezvou jsou změny v kardiovaskulárním systému, který vykazuje periferní vazokonstrikci, zpomalení srdeční frekvence, přesměrování krve do životně důležitých orgánů za účelem zachování dodávky kyslíku, uvolňování červených krvinek uložených ve slezině, ale taky nepravidelnosti srdečního rytmu. Zajímavostí je, že tento reflex u většiny dětí v prvních měsících života vyvolává silnější reakci než u dospělých.