

V.blok

13. Funkce ledvin

14. Zrak

15. SIM glomerulární filtrace, invazivní měření tlaku krve

13. Fyziologie ledvin, bilance vody a solutů

Vstupní znalosti:

Průtok krve ledvinou, glomerulární filtrace, tubulární procesy, prahové látky, význam dlouhé Henleovy kličky pro koncentrační schopnost ledvin, zpětná resorpce obligatorní a fakultativní, hormonální řízení resorpce vody a solutů

Výstupní znalosti, cíl:

- pochopení významu ledvin pro udržení vyrovnané bilance vody a solutů
- porozumění mechanismu, kterým ledviny koncentrují moč
- odpověď na otázku, proč je dekompenzovaný diabetik ohrožen dehydratací

Praktická příprava doma:

- Provedení celodenního měření příjmu tekutin a diurézy ve dvou oddělených dnech v podmínkách:
 - maximální restrikce tekutin
 - výrazně zvýšeného příjmu tekutin (např. 5 l rozloženě v průběhu celého dne)

Výsledky měření přinést na praktika z renálních funkcí

- Na stejné praktikum přinést vzorek ranní moči odebrané ráno před praktikem v nesterilní zkumavce
- **3 zdraví dobrovolníci na skupinu (bez onemocnění ledvin, bez diabetu a jiných chronických onemocnění), u nichž bude na praktiku sledována tvorba moči, dodrží následující pitný režim:**
 - 7.30: nepijí ráno nic
 - 10.45: 250 ml tekutin k snídani (vynechat silnou kávu), dále nic
 - 14.15: 500 ml tekutin během dopoledne, od 12 hodin bez tekutin

Úvod

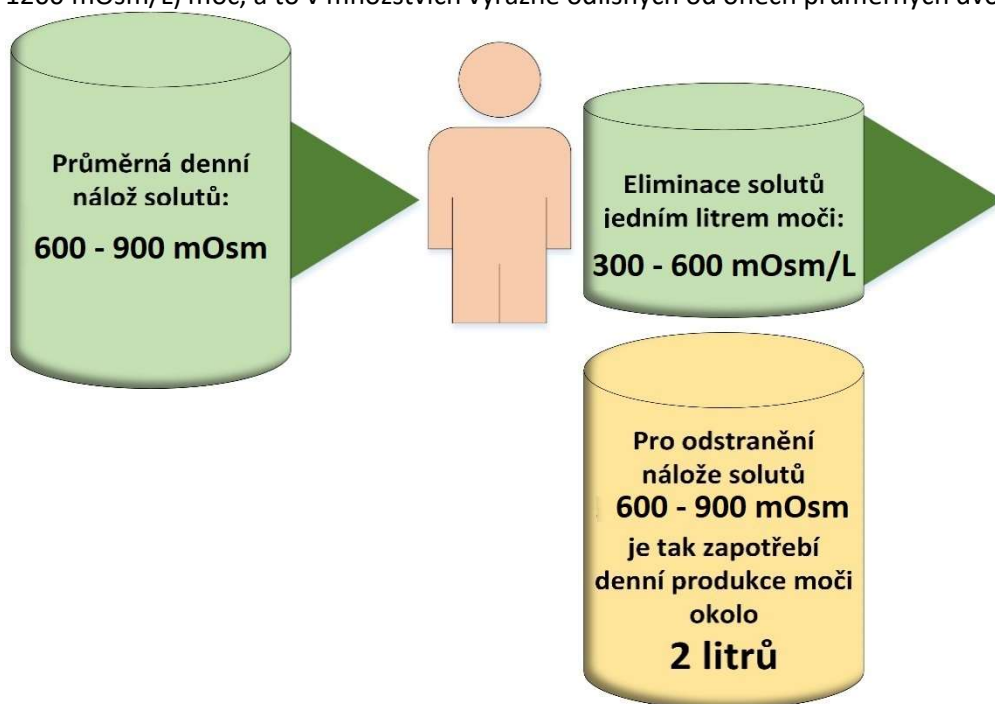
Adekvátní příjem vody a optimální diuréza z hlediska bilanční fyziologie

Při kvantitativních úvahách o příjmu a výdeji vody je potřeba si uvědomit několik skutečností. Tou nejzásadnější je, že příjem a výdej vody v našem těle musí být z dlouhodobého hlediska vyrovnaný, udržující množství vody v našem těle na přibližně stálé hodnotě. Podotýkáme, že **příjem** vody není vždy určován jenom endogenními fyziologickými potřebami jedince (např. pokud má jedinec sklony přijímat větší množství tekutin – např. u konzumentů piva, nebo v důsledku snahy dodržovat pitný režim konzumací větších objemů tekutin, nebo během infuzní terapie), nicméně do **výdeje** vody vůle jedince zasahuje daleko méně a za fyziologických okolností se důsledněji řídí fyziologickými endogenními potřebami udržovat stabilní množství vody a osmolaritu extracelulární tekutiny.

Dalším aspektem ovlivňujícím množství přijaté vody je, že optimalizované eliminační procesy vyžadují za běžných podmínek denní tvorbu moči v objemu kolem dvou litrů (závislého na složení stravy nebo aktivitě jedince), tj. takového objemu, v němž se rozpustí denní nálož solutů (osmoticky aktivních látek tělem přijatých i vytvořených) tak, aby výsledná osmolarita moči výrazně nepřevyšovala osmolaritu extracelulární tekutiny. Osmotická nálož potravy proto patří k důležitým faktorům určujícím množství vytvořené moči, jelikož mění osmolaritu vnitřního prostředí a reguluje pocit žízně a tím i denní příjem tekutin. Připomeňme, že velikost osmotické nálože, kterou běžný jedinec denně přijme s potravou a také vytvoří svým metabolismem, bývá v dlouhodobějším časovém horizontu poměrně konstantní, avšak krátkodobě, např. během dnů, může dosti kolísat.

Uvažujme, že průměrné množství solutů, jež naše **tělo denně vyloučí** (především Na^+ , Cl^- a K^+ ionty pocházející z potravy, metabolismem vytvořenou močovinu a v menší míře další osmoticky aktivní látky), dosahuje zhruba **600 – 900 mOsm/24 hod.** Dále předpokládejme, že bude výhodné vytvářet moč s osmolaritou příliš nepřevyšující osmolaritu extracelulárního prostředí (odpadá potřeba koncentrovat moč na vyšší hodnoty osmolarity) - tedy uvažujeme osmolaritu moči 300 – 600 mOsm/L. Pak lze denní diurézu odhadnout jako podíl vyloučených solutů (např. 600 mOsm/24 hod) a osmolarity moči (např. 300 mOsm/L), vycházející pro uvedené hodnoty 2 L/24 hod. Je zajímavé, že takto odhadnutá diuréza zhruba odpovídá množství tekutin, jež denně běžně přijímáme (nebo bychom měli nebo chtěli přijímat), abychom vylučované soluty v daném množství a osmolaritě moči optimálně rozpustili. Pokud se uvedené hodnoty na straně příjmu změní (příjem vody nebo solutů se ↑ nebo ↓ nad jejich

běžný příjem), mohou ledviny přirozeně produkovat hypotonickou (až do 50 mOsm/L), nebo hypertonickou až do 1200 mOsm/L) moč, a to v množstvích výrazně odlišných od oněch průměrných dvou litrů¹.



Je tedy zřejmé, že vodní a osmotickou bilanci nelze popisovat striktně odděleně, protože to jsou vzájemně „propojené nádoby“, jež jsou homeostatickými mechanismy našeho těla prostřednictvím regulace příjmu potravy (a vody) na jedné straně, a množstvím a osmolaritou moči na druhé straně, vhodně propojené. Je zajímavé si ještě jednou připomenout, že denně vylučovaná osmotická nálož dosahuje zhruba 600–900 mOsm, tj. hodnoty, jež pochází z osmotické nálože potravy doprovázející přirozeně její kalorickou složku tvořenou sacharidy a lipidy (látkami, jež po své metabolizaci vytvářejí minimální osmotickou nálož) a proteiny (jejichž metabolismus vytváří výraznější osmotickou nálož vylučovanou formou močovinou). Po odečtení močovinou, jež se na osmotické náloži podílí zhruba 1/3, nám zůstane osmotická nálož z potravy tvořená ionty Na^+ , Cl^- a K^+ , představující zhruba 600 mOsm za 24h². Tuto iontovou nálož je potřeba denně vyloučit ledvinami³, k čemuž je, jak již bylo řečeno, zapotřebí přijmout s potravou odpovídající množství vody, ve které se tyto ionty danou diurézou z těla adekvátně vyloučí.

Alimentární hledisko hospodaření s Na^+ , Cl^- , K^+ a dalšími ionty a jejich ledvinné bilance

Ionty (především Na^+ , Cl^- a K^+) jsou téměř pravidelně přijímané v naší potravě v nadbytku, a za den se tak do našeho těla potravou dostane 1.5 g – 6 g Na^+ , 2.4 – 9 g Cl^- , 2 g – 4 g K^+ v závislosti na složení potravy a předpokladu průměrného kalorického příjmu. Zhruba 90% těchto iontů je pak proto potřeba vylučovat do moči (za předpokladu, že by se tyto ionty ledvinami nevylučovaly, byl by dlouhodobě udržitelný minimální příjem těchto iontů 1g Na^+ , 1 g K^+ , 1 g Cl^- ⁴).

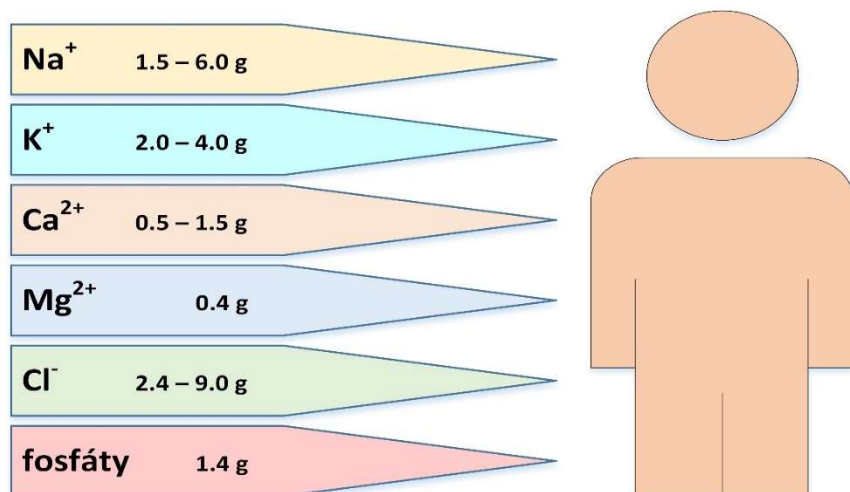
¹ Nutno podotknout, že v těchto načrtnutých úvahách není diskutován vliv extrarenálních ztrát vody ani soli, o kterých však platí, že za běžných okolností, pokud je člověk víceméně v klidu a v termo-neutrálním prostředí, uvedenou bilanci a principy z ní vyplývající příliš neovlivňují.

² Což odpovídá zhruba osmotickému ekvivalentu 18 g NaCl, tj. dávce, jež osmoticky koreluje v našich končinách s běžným denním příjmem 15 g NaCl plus 3 g K^+ .

³ Běžné extrarenální ztráty solí (zejména Na^+) jsou, pokud se Na^+ neztrácí výrazně zvýšeným pocením, cca o řád nižší (kolem jednoho až dvou gramů za den) a tyto ztráty nepřímou naznačují, že kdybychom ledvinami tyto ionty nevylučovali, mohl by být jeden gram Na^+ za den dostatečnou denní dávkou pokrývající jeho ztráty.

⁴ Zhruba 10% K^+ se vylučuje stolicí, avšak pokud je přijímán v potravě ve velkém nadbytku, může být vylučování stolicí až z 30%. Příjem draslíku, zejména jeho bilance, musí být pečlivě hlídána v případě, že je ledvinami ve zvýšené míře uvolňován (vedlejší účinek některých diuretik), nebo naopak ledvinami odstraňován z těla nedostatečně (poruchy funkce ledvin).

Průměrné denní příjmy iontů



Je nutno si uvědomit, že všechny uvedené ionty jsou obsaženy v krevní plazmě a jejich iontová frakce prochází nevyhnutelně filtrací do ultrafiltrátu. Pokud bychom si spočítali množství uniknuvších iontů do ultrafiltrátu, dopočítáme se celkem zajímavých údajů. Například pro Na⁺ to je $180 \text{ L} \times 150 \text{ mmol/L} = 27000 \text{ mmol}$ (množství ultrafiltrátu vynásobeno koncentrací frakce rozpustného iontu v plazmě), neboli 1173 g Na⁺, což je více než jeden kilogram, množství, jež více než o dva řády (zhruba 200×) převyšuje jeho denní příjem v potravě. Pro další ionty Cl⁻, K⁺, Ca²⁺ a Mg²⁺ odpovídající výpočet ukazuje sice menší hodnoty (650 g pro Cl⁻, 35 g pro K⁺, 10 g pro Ca²⁺ a 4 g pro Mg²⁺), nicméně i ty převyšují jejich denní příjem (a pochopitelně také jejich finální exkreci) minimálně o jeden až dva řády.

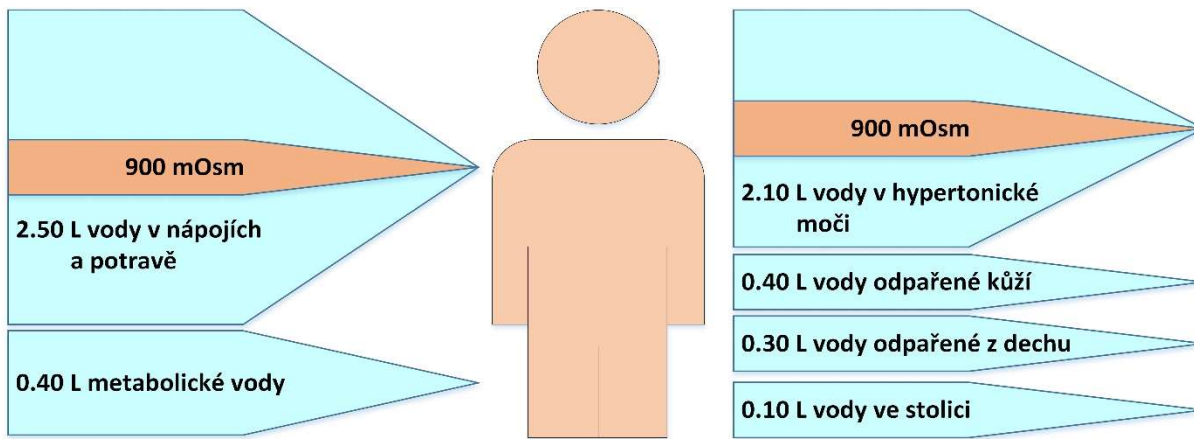
Je proto nezbytné, aby se více než 90% těchto iontů vstřebalo zpět z ultrafiltrátu do krve a zachovala se tak jejich celková bilance. Z uvedené kvantitativní analýzy také přirozeně vyplývá, že výchozí nastavení a regulace resorpčních mechanismů musí být velmi přesně průběžně upravována dle aktuálního stavu těla tak, aby i minimální změny v množství vytvářeného ultrafiltrátu nemohly vést k výrazné iontové dysbalanci, jež může končit život ohrožujícím stavem nebo i smrtí organismu⁵.

Nutno podotknout, že energeticky náročná zpětná tubulární resorpce těchto iontů z ultrafiltrátu je pak odpovídající cenou za očišťovací funkce ledvin umožněné vysokými hodnotami glomerulární filtrace, zbavující se velmi efektivně nepotřebných, potenciálně škodlivých nebo toxických látek, jež automaticky procházejí filtrací do ultrafiltrátu, aniž by musely být tělem cíleně specifickými nebo selektivními mechanismy rozpoznávány.

Hospodaření s vodou a přidružené bilanční úvahy

Příjem vody tělem je ovlivněn mnoha faktory a musí z dlouhodobého hlediska odpovídat jeho výdeji. Pokud pomineme extrarenální ztráty vody pocením a dýcháním, jež jsou detailně popisovány v kapitole termoregulace a dýchání a jež za klidových a termoneutrálních podmínek nečiní více než 600 – 800 ml/den (jsou však přibližně z poloviny kompenzovány tvorbou metabolické vody, tj. cca 300 – 500 ml/den), zbude nám v bilanční rovnici především příjem vody potravou a její vylučování ledvinami (ztráty vody stolicí můžeme v této úvaze zanedbat, jelikož běžně činí jen cca 100 ml/den). Připomeňme ale, co je z hlediska regulace příjmu vody docela zásadní (a na první pohled ne zcela viditelné) - tj. množství potravou přijímaných solutů (**600 – 900 mOsm/24 hod**), jež je potřeba vylučovat močí s přijatelnou osmolaritou (**300 – 600 mOsm/L**). Musíme si uvědomit, že diuréza s vyšší osmolaritou sice množství potřebné přijaté vody jako rozpustidla pro dané množství solutů snižuje, je to ale za cenu vyšších nároků na tvorbu takové moči zatěžujících ledviny. Optimalizace vylučování solutů tak v podstatě určuje rozumný, neboli optimální příjem vody (běžně v množství cca 1.5 - 2.5 L/den), sestávající z vody v potravě (cca 500 - 1000 ml - většinou je zde voda obligatorní složkou) a v nápojích (cca 1000 – 1500 ml – příjem této vody je modulován žízní tak, aby osmotická denní nálož 600 - 900 mOsm/den byla eliminována močí s osmolaritou 300 - 600 mOsm/L, odpovídající zhruba 2 litrové diuréze vyžadující 2 L celkového vodního příjmu).

⁵ Teoreticky, pokud by se z nějakého důvodu zastavila zpětná resorpce těchto iontů v tubulárním systému při nezměněné produkci ultrafiltrátu, již po několika málo hodinách by docházelo k celkovému rozvratu iontové rovnováhy v těle.

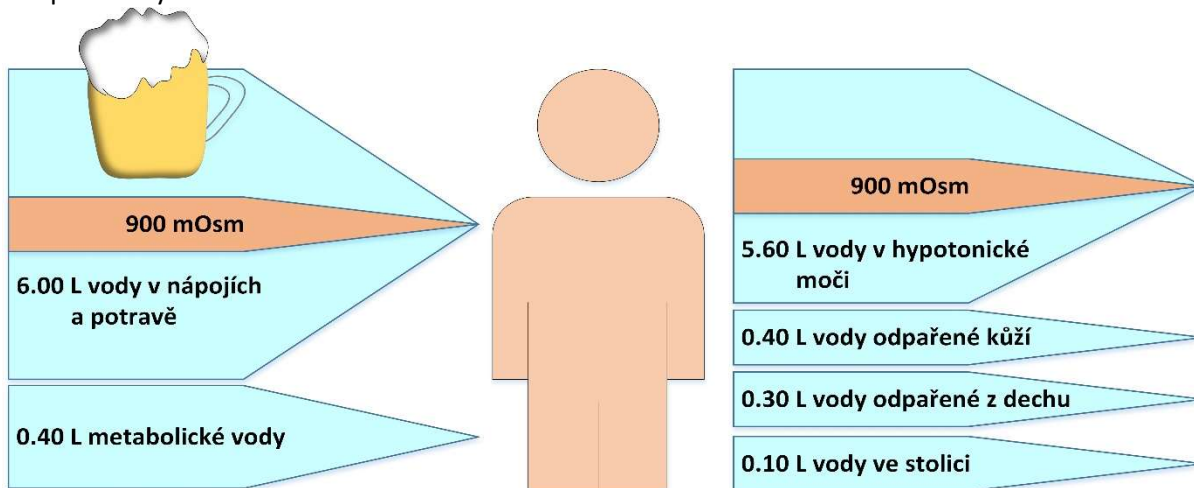


Celkový příjem vody: 2.90 L / den

Celkový výdej vody: 2.90 L / den

Příklad 1. Vylučovaná nálož 900 mOsm rozpuštěná v moči s osmolaritou 428 mOsm/L nám dá $900 \text{ mOsm} / 428 \text{ mOsm/L} = 2.10 \text{ L}$ finální moči a pak do přijatých 2.5 L v potravě (celkově 2.9 L z důvodu tvorby dodatečných 0.4 L metabolické vody) schází 0.76 L - objem, jenž odpovídá extrarenálním ztrátám kůží (200 – 400 ml bez výraznějšího pocení), dýcháním (200 - 300 ml při 25°C a 40% relativní vlhkosti) a stolicí (cca 100 ml při běžné stravě).

Tento příklad bilance je však pouze modelovou ilustrací vysvětlující výchozí běžnou vodní bilanci a poskytující šablonu ke složitějším úvahám (a také složitějším bilančním výpočtům odvozujícím různé parametry vodní a osmotické bilance) pro jedince, jenž přijímá tekutin více (nebo méně) a u něhož nabývá osmotická denní nálož jiných než průměrných hodnot.



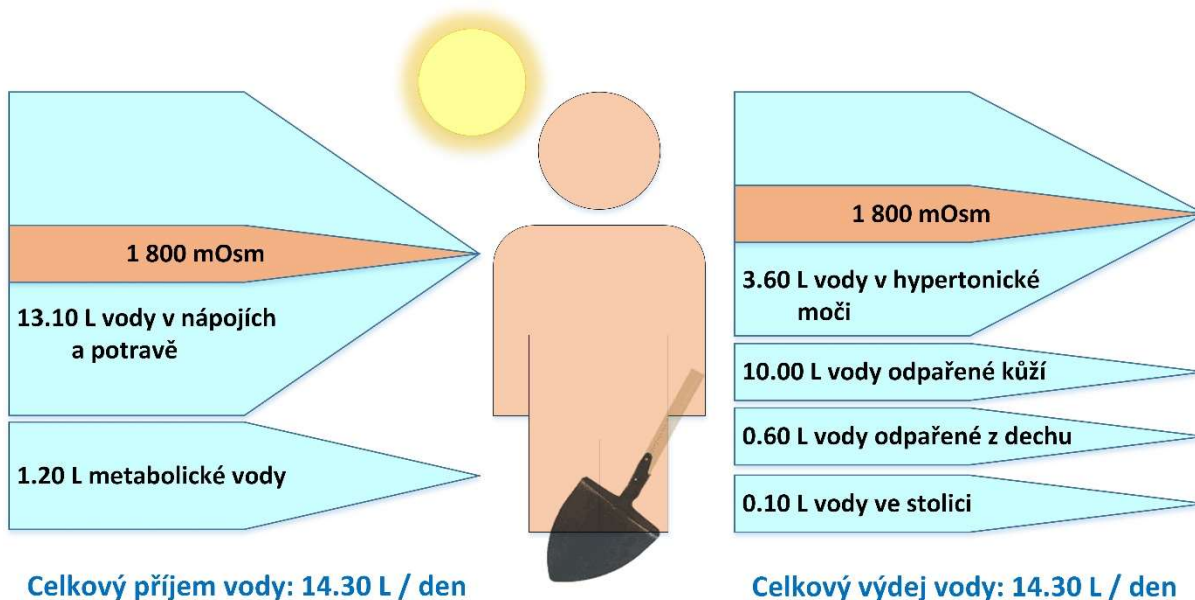
Celkový příjem vody: 6.40 L / den

Celkový výdej vody: 6.40 L / den

Příklad 2. Dalším dobrým ilustračním příkladem může být třeba ne zase tak výjimečná nadměrná konzumace piva, kde při normální nezměněné stravě určující denní osmotickou nálož se osmolarita moči úměrně snižuje s množstvím vypitých tekutin, např. při celkovém denním příjmu vody 6 L a vyrovnané vodní bilanci bude množství moči zhruba $6 \text{ L} - 0.8 \text{ L} + 0.4 \text{ L}$ (0.8 L budou extrarenální ztráty, 0.4 L metabolická voda) a její osmolarita 151 mOsm/L ($850 \text{ mOsm} / 5.6 \text{ L}$), což odpovídá hypotonické moči.

Naopak, u restrikce vodního příjmu, omezeného např. na 1 L denně (např. z důvodu nedostatečného příjmu tekutin z různých důvodů), se musí moč koncentrovat na hodnoty osmolarity daleko vyšší, aby se eliminovala denní osmotická nálož (např. $700 \text{ mOsm/den} : 700 \text{ mOsm/den} / (1 \text{ L} + 0.4 \text{ L} - 0.8 \text{ L}) = 1166 \text{ mOsm/L}$, což se blíží maximální koncentrační schopnosti ledvin 1200 mOsm/L a naznačuje, že s menším množstvím přijatých tekutin již dále nelze udržovat osmotickou bilanci při dané denní osmotické náloži). Připomeneme, že diurézu, pod kterou již není možné s maximální koncentrační schopností ledvin vylučovat běžnou denní osmotickou nálož, nazýváme oligurií a jedná se o množství moči menší než 0.5 L/den.

Načrtnuté příklady rozebíraly bilanci za klidových a termo-neutrálních podmínek. Pokud tyto přestanou platit, nastávají komplikovanější, avšak z kvantitativního hlediska možná ještě zajímavější, situace. Níže je jeden, ne zcela neobvyklý případ:



Příklad 3. Vezměme si třeba těžce pracujícího člověka v teplém prostředí, jenž má průměrný denní metabolismus na trojnásobku běžných hodnot a během práce ztratí 10 L pocením. Z pohledu vodní bilance je pak zajímavou otázkou, kolik vody by měl za den vypít a při jejím řešení se musíme opět zamyslet nejen nad bilancí vodní, ale také nad bilancí iontovou a rovněž kalorickou. Pokračujme předpokladem, že tento jedinec přijímá normální stravu, avšak v trojnásobné dávce a tak mu vychází nutnost vyloučit 3 x 900 mOsm solutů denně zmenšeno o ztráty Na⁺ pocením (10 L x 2.5 g Na⁺/L = cca 900 mOsm) a předpokládajíc rozumnou osmolaritu moči dosahující 500 mOsm/L, potřebujeme vyloučit 1800 mOsm / 500 mOsm/L = 3.6 L moči + 10 L pro pocení, minus zisk metabolické vody, jenž při takto zvýšeném metabolismu bude činit kolem 3 x 0,4 L + ztráty vody dýcháním, jež budou také větší než obvykle (3 x 0,2 L), minus 3 L obligátní vody v trojnásobném množství potravy nám dá 10 L vody dodané nápoji s celkovým optimálním příjmem vody v potravě dosahující 13,1 L.

Praktická úloha

Úloha 1A: provedení na dobrovolnících:

- Hned v úvodu praktika:** Změřit aktuální náplň močového měchýře vymočením do kalibrovaného kelímku, změřit specifickou hmotnost moči. Hodnoty zapsat do tabulky výsledků, moč vylít do mísy.
Během 20 min vypít:
 - Osoba A: kontrola, nepije nic
 - Osoba B 15 ml/kg slabého čaje/vody
 - Osoba C 15 ml/kg vody + 2g/kg sacharózy: jablečná/pomeranč. šťáva (10% roztok sacharózy, 1,5g sacharidů/kg) + sušenky, (0,5g sacharidů/kg)
- Ve stanovených intervalech sbírat moč, měřit její objem a specifickou hmotnost refraktometricky.
- Osoba C navíc testuje moč na přítomnost glukózy glukofanovým proužkem.

A: 0 tekutin			B: H2O 15ml/kg		C: Ø sacharózy 15ml/kg voda+2g sacharózy/kg		
Čas(min)	V(ml)	S.G.(kg/m ³)	V(ml)	S.G.(kg/m ³)	V(ml)	S.G.(kg/m ³)	GLC +/-
ranní							
0							
60							
90							
120							

<p>Poslední příjem tekutin před praktikem: kdy: Objem:</p> <p>jaký nápoj:</p> <p>Režim předchozí den (vyber) Příjem tekutin: ↓ střední ↑ Fyzická aktivita: ↓ střední ↑</p>	<p>Poslední příjem tekutin před praktikem: kdy: Objem:</p> <p>jaký nápoj:</p> <p>Režim předchozí den (vyber) Příjem tekutin: ↓ střední ↑ Fyzická aktivita: ↓ střední ↑</p>	<p>Poslední příjem tekutin před praktikem: kdy: Objem:</p> <p>jaký nápoj:</p> <p>Režim předchozí den (vyber) Příjem tekutin: ↓ střední ↑ Fyzická aktivita: ↓ střední ↑</p>
--	--	--

Shrnutí:

Úloha 1B: provedení ostatní účastníci praktika:

Refraktometrické stanovení hustoty ranní moči

Pro úvahy o koncentrační schopnosti ledvin by se nejlépe hodilo stanovení osmotické koncentrace moči. Vzhledem k tomu, že osmometr je velmi nákladné zařízení, použijeme jako náhradní metodu refraktometrické stanovení hustoty moči. Hustota moči rovněž dobře vypovídá o schopnosti ledviny koncentrovat moč, i když ji nelze na osmolaritu jednoduše přepočítat. Záleží totiž nejen na počtu částic v roztoku, ale i na jejich molární hmotnosti. Fyziologicky se pohybuje mezi 1002-1040kg/m³.

Patologicky může být hustota moči větší, jsou-li v ní přítomné nefyziologické příměsi jako například glukóza nebo proteiny.

Rozptyl hustot moči ve skupině, příklady		
nejvyšší dosažená hodnota	průměrná hodnota	nejnižší hodnota
Režim předchozí den (vyber) Příjem tekutin: ↓ střední ↑ Fyzická aktivita: ↓ střední ↑	Režim předchozí den (vyber) Příjem tekutin: ↓ střední ↑ Fyzická aktivita: ↓ střední ↑	Režim předchozí den (vyber) Příjem tekutin: ↓ střední ↑ Fyzická aktivita: ↓ střední ↑

Screening glykosurie: Každý student otestuje vlastní ranní moč na přítomnost glukózy glukofanovým papírkem: **Glc**
- / Glc+ semikvantitativně:.....

Hodnocení výsledků 24 hodinového sběru moči v podmínkách omezeného příjmu tekutin a tekutin v nadbytku, domácí úloha

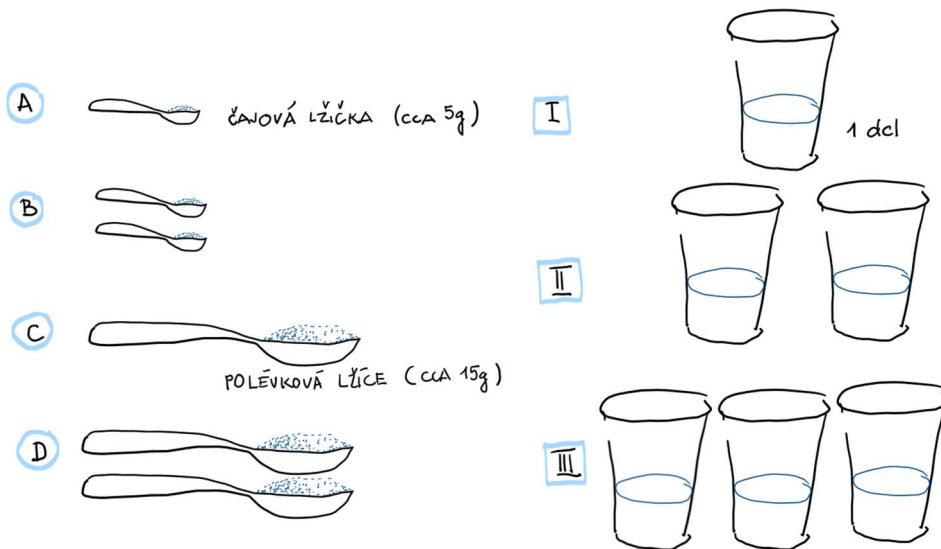
	Objem přijatých tekutin/24 h	Objem vyloučené moči/24 h	Barva moči
Restrikce tekutin			
Distribuce během dne	9-13/13-18/18-23/23-9	9-13/13-18/18-23/23-9	
Zvýšený objem tekutin			
Distribuce během dne	9-13/13-18/18-23/23-9	9-13/13-18/18-23/23-9	

Shrnutí:

Příklady k praktickému cvičení renální funkce

Úloha 2: Polyurie u diabetika

A. Moč špatně léčeného diabetika může celkem běžně obsahovat 10% glukózy. Přiraďte množství glukózy (A/B/C/D) a objem moči (I/II/III), které tuto situaci ilustrují:



B. Kolik glukózy musí mít diabetik v moči, aby to byl důvod pro osmotickou polyurii, pokud má základní osmotickou nálož (ionty, urea) 600 mOsm.

Otázky k úkolu B:

1. Jaká je maximální koncentrační schopnost ledviny?
2. Jak se mění tato schopnost při velkém zvýšení obsahu osmoticky aktivních látek v tubulární tekutině?
3. Jakou diurézu označíte za polyurii?
4. Jaký průběh glykémie u diabetika očekáváte během dne?
5. Jakou osmotickou nálož vyloučí ledviny ve 3 l moči při koncentraci moči 600 mOsm/l?
6. Rozdělte tuto hodnotu na glukózu a ostatní
7. Kolik gramů Glc to je?

C. Jakých glykemií se asi taková glykosurie/polyurie týká?

Otázky k úkolu C:

C.1

Uměle si můžeme představit, že glykémie fluktuuje celý den kolem 15 mmol/l.

Ve skutečnosti bude u většiny diabetiků kolísání větší a bude korelovat s jídly, ale pro jednodušší výpočet si můžeme situaci takto zjednodušit.

1. Jaké minimální diurézy dosáhne tento pacient při maximální koncentrační schopnosti ledvin 600 mOsm/l a náloži ostatních solutů, které rovněž vyloučí ledvinami 600 mOsm/den?
2. Jaký bude odpad glukózy močí?

C.2:

Nyní si představme pacienta, který má po dobu 2 hodin glykémii 40mmol/l.

1. Jak bude po tuto dobu vypadat produkce jeho moči a odpady glukózy.
2. Kolik primárního filtrátu vytvoří?
3. Kolik glukózy zůstane v definitivní moči?
4. Kolik ostatních solutů je potřeba běžně vyloučit za 2 hodiny?

5. Kolik moči by vyloučil tento člověk během těchto 2 hodin, pokud neuvažujeme žádné další látky, které se rovněž ledvinami vylučují a mohou být u diabetika přítomné (např. ketolátky).
6. Jaký bude odpad glukózy močí?
7. Jakou barvu moči při této diuréze očekáváte?
8. Jakou očekáváte hustotu moči.

C.3:

1. Jak se změní množství moči diabetika, pokud během dne vyloučí ještě o 5 g soli více? Zvýší se nebo sníží?
2. Proč?

Shrnutí: Jaké obtíže u takového pacienta očekáváte

14. Vyšetření zraku

(V. Kuthan)

Úkol:

1. Stanovení vzdáleného a blízkého bodu. Akomodační šíře. Zrakové vady (ametropie)
2. Průkaz Purkyňových obrázků
3. Stanovení zrakové ostrosti
4. Vyšetření zorného pole
5. Vyšetřování barvocitu
6. Oftalmoskopie
7. Binokulární vidění

Stanovení vzdáleného a blízkého bodu. Akomodační šíře. Zrakové vady (ametropie)

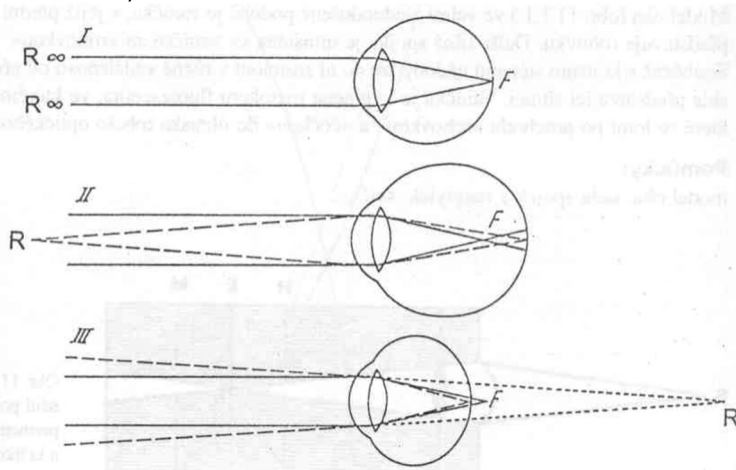
Vzdálený bod (punctum remotum) je dán maximální vzdáleností předmětu od oka, který je bez akomodace ještě vidět ostře. Hodnota vzdáleného bodu **udává povahu zrakové vady a je její mírou.**

Ametropie mohou být **sférické, kulové**, když světlořadné plochy jsou představovány částmi povrchu koule (myopie, hypermetropie). Jsou buď **osové**, kdy osa bulvy je příliš dlouhá či krátká, anebo **refrakční, lomivé**, kdy lomivost optického systému je vyšší či nižší. **Asférické** ametropie jsou reprezentovány různými formami astigmatismu. Světlořadné plochy tu nejsou částmi povrchu koule.

Při normální lomivosti oka (cca 59 D) a jeho normální délce (vzdálenost přední plochy rohovky od fovea centralis retinae = cca 24 mm) je obraz ze vzdáleného bodu na sítnici ostrý (**emetropie**). Paprsky se protínají na sítnici. Punctum remotum leží v nekonečnu, jeho převrácená hodnota vyjádřená v dioptriích ($1/\infty$) je rovna nule.

Při **myopii** (krátkozrakosti), kdy je oko příliš dlouhé nebo příliš lomivé a paprsky se protínají „před sítnicí“, leží vzdálený bod v konečné vzdálenosti před okem.

U **hypermetropického**, dalekozrakého oka, které je buď krátké nebo málo lomivé (paprsky se protínají »za sítnicí«), leží punctum remotum za okem (má zápornou hodnotu). Viz obr 9.1.



Obr 9.1. Refrakční vady a punctum remotum

Při vyloučení akomodace se rovnoběžné paprsky z nekonečné vzdálenosti (plné čáry) protínají v zadním ohnisku oka (F) u oka emetropického (I) právě na sítnici, u oka myopického (II) před sítnicí a u hypermetropického oka (III) za sítnicí. Punctum remotum R^∞ , jehož polohu v myopickém a hypermetropickém oku znázorňují přerušované čáry, leží u normálního oka v nekonečnu, u oka krátkozrakého v konečné vzdálenosti před okem a u dalekozrakého za okem.

V případě pravidelného astigmatismu (viz níže) jsou hodnoty vzdáleného bodu rozdílné v rovinách na sebe kolmých.

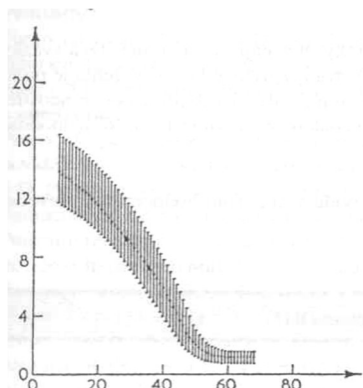
Blízký bod (punctum proximum) je určen minimální vzdáleností předmětu od oka, ve které je vidět ostře při maximální akomodaci. U myopa leží v kratší vzdálenosti před okem a u hypermetropa ve vzdálenosti delší než u stejně starého emetropa. S přibývajícím věkem, kdy čočka postupně ztrácí svou elasticitu a nemůže již tolik měnit při akomodaci své zakřivení, vzdálenost blízkého bodu od oka se zvětšuje. U emetropa činí v 10 letech věku asi 7 cm, ve 20 letech 10 cm, ve 30 14 cm, ve 40 22 cm, v 50 40 cm, v 60 100 cm, v 70 400 cm a v 75 letech v ∞ .

Hodnoty vzdáleného a blízkého bodu uvádíme buď v délkových mírách, anebo lépe v dioptriích (D), tedy v jednotkách optické mohutnosti (lomivosti) optického systému, jehož ohnisko leží v naměřené vzdálenosti. Optická mohutnost v dioptriích se rovná převrácené hodnotě ohniskové vzdálenosti vyjádřené v metrech. Čočka s ohniskovou vzdáleností 1 m má tedy lomivost 1 D (= 1/1 m). Je-li ohnisková vzdálenost čočky 50 cm (0,5 m), její lomivost je 2 D (= 1/0,5 m), při 33 cm (0,33 m) 3 D (= 1/0,33 m), při 25 cm (0,25 m) 4 D (= 1/0,25 m), při 20 cm (0,2 m) 5 D (= 1/0,2 m), při 10 cm (0,1 m) 10 D (= 1/0,1 m) ap.

Punctum remotum emetropického oka leží v nekonečnu. Jeho dioptrická hodnota je tedy 0 D. Emetropické oko nepotřebuje k

ostrému vidění do dálky žádnou doplňující refrakci. U myopického oka, jehož punctum remotum leží před okem a má tedy kladnou dioptrickou hodnotu, je k jeho ostrému vidění na dálku nutná záporná korekce (rozptylky). U hypermetropického oka leží punctum remotum za okem (má zápornou dioptrickou hodnotu) a k ostrému vidění do dálky je nutná kladná dioptrická korekce (spojky).

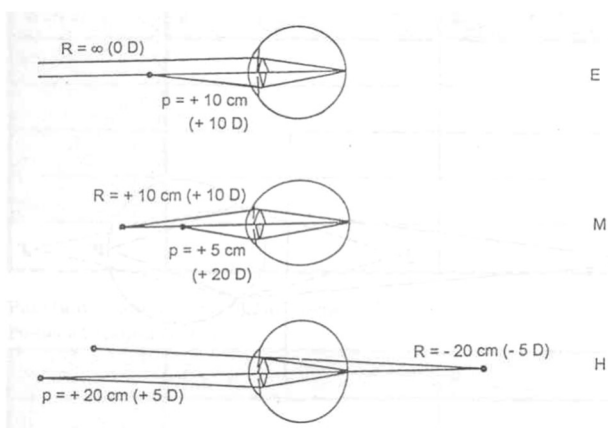
Akomodační šíře (A) je rozdíl mezi dioptrickou hodnotou blízkého (P) a vzdáleného bodu ∞ , tj. $A = P - R$. Je **mírou akomodační schopnosti oka**. Akomodační šíře ubývá s věkem z původních až 16 D v dětství k prakticky zanedbatelným hodnotám ve vysokém věku (obr. 9.2.). Čočka přitom tuhne, a punctum proximum se vzdaluje od oka (= **vetchozrakost** neboli **presbyopie**). Činnost m. ciliaris je ovšem nezměněna.



Obr. 9.2. Akomodační šíře a její pokles s věkem (vodorovná osa – stáří, svislá osa – akomodační šíře)

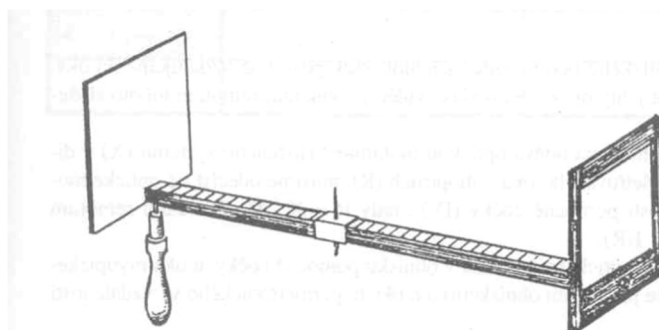
U emetropa se akomodační šíře rovná dioptrické hodnotě blízkého bodu (P). U stejně starého myopa a hypermetropa je akomodační šíře stejná jako u emetropa, i když metrická vzdálenost mezi blízkým a vzdáleným bodem je různá.

Tak např. u 20letého emetropa leží P ve vzdálenosti 10 cm (= 10 D) a R v nekonečnu (= 0 D). Akomodační šíře ($A = P - R$) je 10 D. U stejně starého myopa, jehož $R = 10$ cm (= 10 D) leží P ve vzdálenosti 5 cm od oka (= 20 D). Akomodační šíře je opět 10 D (= 20 D - 10 D). Hypermetrop stejného stáří, jehož R leží 20 cm za okem (tj. -5 D), má P 20 cm před okem (= +5 D), má akomodační šíři také 10 D, neboť $+5 \text{ D} - (-5 \text{ D}) = 10 \text{ D}$ (obr. 9.3.).



Obr. 9.3. Akomodační šíře u emetropa (E), myopa (M) a hypermetropa (H) stejného stáří 20 let je totožná, i když vzdálenost P a R je různá

Pomůcky: optometr Scheinerův–Dondersův (obr. 9.4.), pomocná čočka cca 4–10 D (ohnisková vzdálenost 25–10 cm).



Obr. 9.4. Optometr Scheinerův-Dondersův

Optometr je v podstatě kovová tyč dlouhá obvykle 40–50 cm, na níž je posuvný jezdec opatřený jehlou. Na jednom konci je deska, do níž jsou uprostřed v horizontální rovině vyvrtány dva jemné otvory, jejichž vzájemná vzdálenost je menší než šíře zornice. Na druhém konci tyče je bílý karton, který tvoří pozadí, proti němuž pozorujeme posuvnou jehlu otvůrky v desce. Na tyči je vyryta stupnice v cm.

Stanovení blízkého bodu

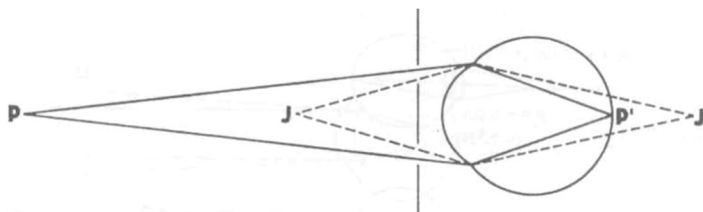
Provedení:

1. Optometr přiložíme k oku a hledíme oběma otvory v desce na hrot jehly, která je na vzdálenějším konci tyče.
2. Pak pomalu posunujeme jezdcem k oku, dokud nezačneme při maximální usilovné akomodaci vidět hrot jehly dvojitě. V takovém případě se paprsky zobrazující pozorovaný předmět a procházející oběma otvory v desce protínají na sítnici.
3. Je-li jehla v kratší vzdálenosti od oka než punctum proximum, pak se paprsky protínají až za sítnicí. Dva svazky paprsků, které procházejí otvory v desce, vytvářejí na sítnici v tomto případě dva rozptylové kroužky. Jehla je proto vidět neostře a dvojitě (obr. 9.5.). Kdybychom se dívali jen jedním otvorem, viděli bychom ji pouze neostře. Zdvojení obrázku při pohledu oběma otvory se stanoví snadněji. Nejkratší vzdálenost, ze které lze ještě jednoduše a ostře vidět jehlu, odečteme na stupnici optometru.
4. Pokus 3x zopakujeme stejným způsobem.
5. Z naměřených hodnot vypočteme průměr, který udává vzdálenost blízkého bodu v cm. Tuto hodnotu pak převedeme na dioptrie.

Hodnocení:

Měření	Vzdálenost v cm	Punctum proximum (D)
1.		
2.		
3.		
4.		
Průměr		

Závěr:



Obr. 9.5. Stanovení blízkého bodu

Je-li hrot jehly při maximální akomodaci v takové vzdálenosti od oka, která odpovídá blízkému bodu (P), pak se svazky paprsků, které procházejí otvory v desce optometru a zobrazují hrot jehly, protínají na sítnici (plné čáry). Posuneme-li jehlu (J) jezdcem ještě blíže k oku, protínají se paprsky až za sítnicí (přerušované čáry). Hrot jehly je tu již vidět neostře a dvojitě.

9.1.2. Stanovení vzdáleného bodu

Dalo by se zásadně provést stejným způsobem jako stanovení blízkého bodu, museli bychom mít ovšem optometr dlouhý nejméně pět metrů. Abychom mohli měření provést na běžném přístroji, vložíme před oko spojnu čočku, čímž vytvoříme umělé krátkozraké oko, které má vzdálený bod v konečné vzdálenosti před okem.

Provedení:

1. Měření provedeme obdobně jako při stanovení blízkého bodu, jezdcem s jehlou však postupně vzdalujeme od oka. Změřená vzdálenost, ve které již přestává být hrot jehly ostře a jednoduše vidět, je punctum remotum tohoto složeného optického systému (oko + pomocná čočka).
2. Vzdálenost vyjádříme v metrech. Její převrácená hodnota udává optickou mohutnost složeného systému (X) v dioptriích. Abychom vyjádřili punctum remotum vyšetřovaného oka v dioptriích[®], musíme odečíst od optické mohutnosti složeného systému (X) hodnotu lomivosti pomocné čočky, tedy $R = X - D_1$. Punctum remotum v metrech[®] je pak převrácenou hodnotou R ($r = 1/R$).

U oka emetropického leží punctum remotum složeného optického systému v ohnisku pomocné čočky, u oka myopického v kratší vzdálenosti (jehla je vidět jednoduše a ostře před jejím ohniskem) a u oka hypermetropického ve vzdálenosti delší než ohnisková vzdálenost pomocné čočky.

Tímto způsobem můžeme také změřit celkový astigmatismus (rohovkový a čočkový). Jednotlivá měření provádíme v různých rovinách na sebe kolmých. Optometrem otáčíme kolem podélné osy, takže myšlená spojnice mezi malými otvory v jeho desce svírá při každém otočení odlišný úhel s horizontální rovinou. Rozdíl příslušných dvou naměřených hodnot vzdáleného bodu,

vyjádřených v dioptriích, udává pak hodnotu celkového astigmatismu.

Příklady:

1. Pomocná spojná čočka + 4 D (její ohnisková vzdálenost je tedy 25 cm, tj. 0,25 m). Punctum remotum složeného optického systému (oko + pomocná čočka) zjištěno ve vzdálenosti 25 cm, což odpovídá ohniskové vzdálenosti čočky s lomivostí + 4 D. Punctum remotum oka v dioptriích $^{\circ} = + 4 D - 4 D = 0 D$. Punctum remotum v metrech $^{\circ} = 1/0 = \infty$. Jde o **emetropii**.
2. Pomocná spojná čočka + 4 D. Punctum remotum složeného optického systému zjištěno ve vzdálenosti 10 cm, což odpovídá ohniskové vzdálenosti čočky s lomivostí 10 D (= X). Punctum remotum oka v dioptriích $^{\circ} = + 10 D - 4 D = + 6 D$. Punctum remotum oka v metrech $^{\circ} = 1/6 = 0,17$ m. Jde o **myopii**, kterou korigujeme rozptylkou -6 D.
3. Pomocná spojná čočka + 4 D. Punctum složeného optického systému zjištěno ve vzdálenosti 40 cm (= + 2,5 D, = X). Punctum remotum oka v dioptriích $^{\circ} = + 2,5 D - 4 D = - 1,5 D$. Punctum remotum oka v metrech $^{\circ} = 1/-1,5 = -0,67$ m. Jde o **hypermetropii**, kterou korigujeme spojkou + 1,5 D.
4. Pomocná spojná čočka + 4 D. V horizontální rovině zjištěno punctum remotum složeného optického systému ve vzdálenosti 33 cm (= + 3 D = X). Punctum remotum oka v této rovině $^{\circ} = + 3 D - 4 D = - 1 D$. V rovině vertikální zjištěno přitom punctum remotum složeného optického systému ve vzdálenosti 20 cm (X = + 5 D). Punctum remotum oka v této rovině $^{\circ} = + 5 D - 4 D = + 1 D$. Protože + 1 D - (-1 D) = + 2 D, jde o **astigmatismus** hodnoty 2 D s větší lomivostí ve vertikálním meridiánu (pravidelný astigmatismus podle pravidla – viz dále), který korigujeme v příslušné rovině náležitým cylindrickým sklem.
5. Akomodační šíře (A) se vypočte z rozdílu dioptrických hodnot blízkého (P) a vzdáleného $^{\circ}$ bodu: $A = P - R$, jak již bylo uvedeno.

Hodnocení:

Punctum remotum – horizontální rovina

Pomocná spojná čočka:

Měření (x)	X	R	r
1.			
2.			
3.			
4.			

Punctum remotum – vertikální rovina

Pomocná spojná čočka:

Měření (x)	X	R	R
1.			
2.			
3.			
4.			

Měření (x)	R ve vertikální rovině	R v horizontální rovině	Velikost a druh astigmatismu
1.			
2.			
3.			
4.			

Akomodační šíře:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Závěr:

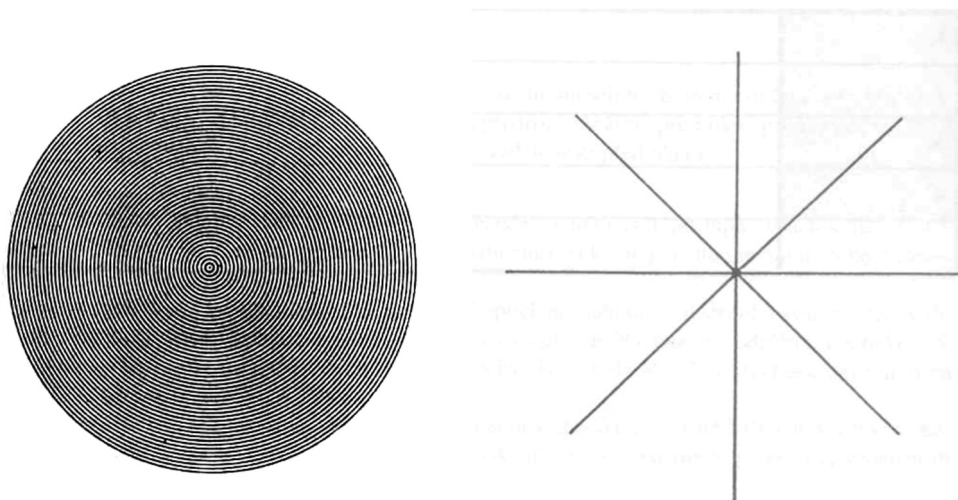
Astigmatismus a oftalmometrie

Rohovka obvykle není pravidelná kulová úseč, nýbrž úseč rotačního elipsoidu. Proto paprsky, které vstupují do oka, se lámou nestejně, takže bod se na sítnici nezobrazí jako bod (stigma), ale jako čárka. Mluvíme proto o astigmatismu. Jsou-li nestejně zakřiveny lomné plochy v rovinách na sebe kolmých, jde o **pravidelný astigmatismus**, při nepravidelné deformaci povrchu rohovky (např. zánětem) pak hovoříme o **astigmatismu nepravidelném**. Roviny nejmenšího a největšího zakřivení označujeme jako osy astigmatismu. Astigmatismus je tedy **asférickou refrakční vadou**.

Zakřivení, a tedy i lomivost ve svislé rovině, je obvykle větší než v rovině horizontální (tzv. **astigmatismus podle pravidla**). Většinou tento rozdíl lomivosti činí asi 0,5 D, a mluvíme pak o **fyziologickém astigmatismu rohovky**. Tato vada bývá obvykle kompenzována čočkovým astigmatismem, který je inverzní. V případě, že je lomivost rohovky větší v horizontální rovině než ve vertikální, označuje se to jako **astigmatismus proti pravidlu**. Snižuje-li astigmatismus zrakovou ostrost, korigujeme jej cylindrickými skly.

Provedení:

1. Orientačně vyšetříme celkový astigmatismus (rohovky a čočky) pohledem na obrazce, které sestrojil J. E. Purkyně. Jsou to hustě uspořádané soustředné kružnice (obr. 9.6.) a hvězdice tvořená přímkami, které se protínají v jejím středu (obr. 9.7.).
2. Při pravidelném astigmatismu jsou části kružnic nebo přímků vidět ostřeji ve vertikální, horizontální nebo v některé šikmé rovině než v příslušné rovině kolmé. Je-li tomu tak ve vertikále, jde o pravidelný astigmatismus podle pravidla (světlolomná prostředí jsou více zakřivena ve vertikálním meridiánu). Vidíme-li kontury ostřeji v horizontální ose (větší zakřivení v horizontálním meridiánu), jde o pravidelný astigmatismus proti pravidlu.
3. Vidíte-li v některé rovině kontury ostřeji, vyznačte to na obr. 9.6. a obr. 9.7.



Obr. 9.6. a 9.7. Obrazec pro vyšetření celkového astigmatismu

Subjektivně vyšetříme celkový astigmatismus při stanovení blízkého a vzdáleného bodu (viz toto téma) v různých rovinách na sebe kolmých, převážně v horizontální a vertikální. Projeví se různými naměřenými hodnotami v obou případech.

Objektivně můžeme zjistit vyšší stupně astigmatismu a hlavně nepravidelný astigmatismus Placidovým keratoskopem (obr. 9.8.)



Obr. 9.8. Placidův keratoskop

Je to kruhová deska, na které jsou na světlém pozadí černé soustředné kružnice. Uprostřed desky je otvor se zvětšovací sklem, kterým pozorujeme obraz kružnic (je to první obrázek Purkyňův z přední plochy rohovky – viz další téma) na rohovce vyšetřované osoby.

Pomůcky: Placidův keratoskop.

Provedení:

1. Vyšetřovanou osobu umístíme zády ke světelnému zdroji (k oknu) a vyzveme ji, aby fixovala otvor v keratoskopu.
2. Otvorem v keratoskopu pozorujeme obraz soustředných kružnic, odrážející se od přední plochy rohovky jednoho i druhého oka. U normálního oka jsou to pravidelné kružnice. Musíme ovšem dbát na to, aby deska keratoskopu byla pokud možno přesně ve frontální rovině. Při vyšším stupni astigmatismu je obraz i za těchto okolností deformován. U pravidelného astigmatismu se kružnice zobrazí jako elipsy, jejichž kratší osy odpovídají většímu zakřivení rohovky. Při nepravidelném astigmatismu jsou obrazy kružnic nepravidelně deformovány.
3. Nakreslete, jak se vám jeví obraz soustředných kružnic na rohovce, a to i při pootočení keratoskopu z frontální roviny.

Poznámka:

Tato metoda patří v modifikované podobě k oftalmologickým vyšetřovacím metodám při orientačním posuzování rozsahu porušeného povrchu rohovky. Světlo ze zdroje prochází předsazenou maskou se soustřednými kruhy, které se zobrazí na rohovce.

Hodnocení:

Závěr:

Objektivně a přesně změříme rohovkový astigmatismus

Pomůcky: Javalův oftalmometr.

Javalův oftalmometr je v podstatě dalekohled určený pro pozorování blízkých předmětů (tj. s krátkou ohniskovou vzdáleností), který lze šroubovými mechanismy posunovat dopředu a dozadu podél podélné osy a sklápět a otáčet podél osy vertikální a horizontální. Na dalekohledu je připevněn kovový půlkruh, na němž jsou symetricky umístěny dva pohyblivé světelné zdroje. Jeden z nich má tvar obdélníku rozděleného ve dva čtverce a je červený. Druhý, zelený, má tvar dvoustranných schůdků, rozdělených v ose symetrie. Na půlkruhu jsou vyryty dvě stupnice, udávající hodnoty poloměru zakřivení rohovky v milimetrech a hodnoty její lomivosti v dioptriích při určité vzájemné poloze světelných zdrojů. Uvnitř dalekohledu, mezi dvěma spojnými čočkami, je dvojlomný hranol (Wollastonovo prizma), který rozdujuje kolmo na něj dopadající paprsky, takže reflexní obrázky světelných zdrojů jsou vidět dvojmo. Vidíme tedy čtyři obrázky, dva červené a dva zelené. K měření používáme dva vnitřní obrázky, jeden červený, druhý zelený, které nastavíme souměrným pohybem světelných zdrojů tak, aby se právě dotýkaly (viz dále). Před dalekohledem je umístěn rám s opěrkou, kde si vyšetřovaná osoba opře čelo a bradu.

Princip vyšetření:

Měří se **velikost prvního Purkyňova obrázku** vznikajícího reflexí světla od přední plochy rohovky, která tu má funkci konvexního či vypouklého zrcadla.

Velikost rohovkového obrázku závisí na velikosti odraženého předmětu (světelný zdroj), jeho vzdálenosti od pozorovaného oka a na poloměru zakřivení rohovky. Když jsou rozměry zobrazovaných světelných objektů a jejich vzdálenost od pozorovaného oka konstantní, pak jedinou proměnnou veličinou při měření obrázku na rohovce je poloměr jejího zakřivení.

Měřený obrázek je složený a sestává z dvojitých zelených schůdků a červeného obdélníku, které se právě dotýkají, což je docíleno nastavením vzdálenosti mezi zobrazovanými předměty (světelnými zdroji) na oblouku oftalmometru.

V této poloze bychom mohli změřit velikost odraženého obrázku na rohovce připojeným měřítkem, což je však technicky velmi obtížné, a pak z rovnice $r/2/V = O/P$ vypočítat poloměr zakřivení přední plochy rohovky (r = poloměr zakřivení, V = vzdálenost světelného zdroje od zrcadlicí plochy rohovky, O = velikost obrázku, P = velikost předmětu).

Pro usnadnění postupu poloměr zakřivení v milimetrech přímo odečteme na stupnici umístěné na půlkruhu oftalmometru, a dále také hodnotu lomivosti rohovky v dioptriích, kterou bychom mohli vypočítat ze vzorce $D = n - 1/r$, kde n je index lomu rohovky (**1,3375**) a r musí být udáno v metrech. Obvykle se naměřené hodnoty poloměru zakřivení rohovky pohybují kolem 7,7 mm.

Je třeba upozornit, že čím menší je poloměr zakřivení (tj. rohovka je více zakřivena), tím více od sebe vzdáleny musejí být světelné zdroje, mají-li se reflexní obrázky právě dotýkat. To je ostatně zřejmé i z pohledu na stupnici, kde nižší hodnoty poloměru zakřivení jsou naznačeny na její vnější části.

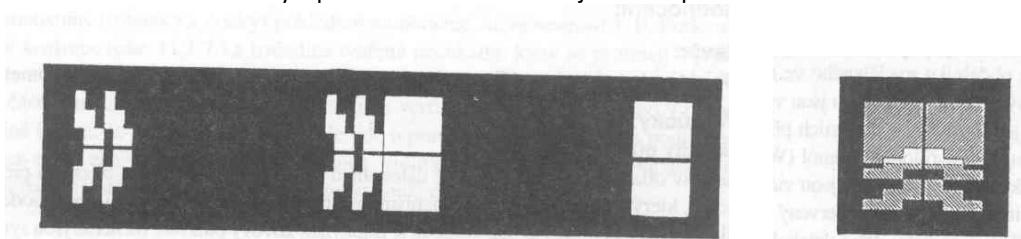
Když jsme uvedeným způsobem vyšetřili hodnotu poloměru zakřivení v jedné rovině (obvykle nejprve v horizontálním meridiánu), je třeba ji zjistit v meridiánech dalších, neboť víme, že při pravidelném astigmatismu je rohovka nejvíce a nejméně vyklenuta v rovinách na sebe kolmých. Měříme tedy **rozdíl** jejího zakřivení v příslušných rovinách. Je zřejmé, že při astigmatismu, kdy je rohovka představována úsečí rotačního elipsoidu, se bude reflektovaný obrázek při otáčení symetricky uložených světelných zdrojů kolem osy dalekohledu v daných rovinách zvětšovat nebo zmenšovat. Velikost obrázku na kulové ploše se při naznačeném

postupu ovšem nezmění.

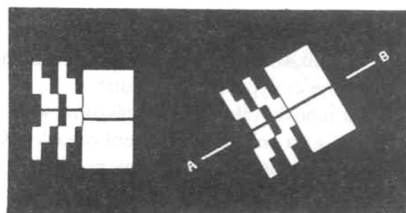
Z výchozí polohy půlkruhu v horizontální rovině, kdy se červená polovina obrázku (obdélník) a zelená polovina obrázku (schůdky) na rohovce právě dotýkají, otočíme jím o 90° do polohy vertikální. Když se složený obrázek zmenší, což se projeví tím, že se jeho zelená a červená polovina vzájemně částečně překryjí, je zakřivení rohovky ve vertikálním meridiánu větší (= **pravidelný astigmatismus podle pravidla**).

V případě, že při tomto postupu se obrázek naopak zvětší (jeho červená a zelená polovina se od sebe vzdálí), je naopak rohovka ve vertikálním meridiánu méně zakřivena než v horizontálním (= **pravidelný astigmatismus proti pravidlu**). Je pochopitelné, že tu musíme nastavit výchozí velikost rohokového reflexního obrázku (vzájemný dotyk jeho polovin) dříve v rovině vertikální, abychom mohli měřit rozsah překryvu v rovině horizontální.

Překrytí se zobrazí v podobě světlého pruhu (obr. 9.9.), protože červená a zelená jsou barvy doplňkové, a smíšený ve vhodném poměru dávají bílou. Javalův oftalmometr je konstruován tak, že překrytí o jeden schůdek zelené poloviny obrázku znamená zvětšení lomivosti rohovky v příslušném meridiánu o jednu dioptrii.



Obr. 9.9. Oftalmometrie, vlevo: vnitřní obrázky značek Javalova oftalmometru se právě dotýkají při horizontální poloze oblouku. Vpravo: po otočení oblouku do polohy vertikální se obrázky překrývají v rozsahu 1,5 schůdků (= 1,5 D). Astigmatismus podle pravidla.



Obr. 9.10. Oftalmometrie – denivelace obrázků

Jestliže při nastavování obrázku v horizontální poloze je jeho červená část výškově posunuta oproti části zelené (denivelace), což lze přesněji posoudit podle diskontinuity linie, která je půlí, svědčí to o tom, že osy maximálního a minimálního zakřivení rohovky (osy astigmatismu) jsou šikmé (obr. 9.10.).

Otočíme-li půlkruh do příslušných rovin, denivelace obou polovin obrázku se opět vyrovná. Můžeme pak měřit rozdíl zakřivení rohovky v těchto šikmých rovinách.

Provedení:

V zatemněné místnosti rozsvítíme světelné zdroje oftalmometru, vyšetřovanou osobu k němu posadíme tak, že si opře bradu a čelo o podpěrný rám. Clonkou jí zakryjeme jedno oko a vyzveme ji, aby druhým okem fixovala střed tubusu dalekohledu.

Pak zaměříme otáčením podle svislé a horizontální osy střed pupily (nejprve orientačně muškou a hledím, umístěnými na horní ploše dalekohledu), načež pohledem do okuláru zjistíme, zda jsou obrazy světelných zdrojů v zorném poli dalekohledu. Jeho posunováním dopředu a dozadu zhruba zaostříme.

Polokruh se světelnými zdroji otočíme do přesné horizontální roviny, kterou ověříme na úhlové stupnici umístěné na dalekohledu. Nato zpřesníme zaměření dalekohledu, přičemž se orientujeme podle vláknového kříže v zorném poli tubusu. Při správném nastavení vidíme čtyři obrázky (dva červené, dva zelené), umístěné symetricky vzhledem k osovému kříži. Jemně zaostříme otáčením okuláru.

Otáčením šroubového zařízení vzdalujeme nebo přibližujeme světelné zdroje umístěné na kovovém půlkruhu, až se právě dotknou okraje vnitřních obrazů pozorovaných v zorném poli dalekohledu. Na stupnici vyryté na kovovém půlkruhu pak odečteme **poloměr zakřivení a dioptrickou hodnotu lomivosti rohovky** v horizontální rovině.

Pak otočíme půlkruh o 90 stupňů do polohy vertikální a sledujeme, nakolik se obrázek zmenšil nebo zvětšil. To posoudíme podle rozsahu překryvu jeho červené a zelené poloviny (viz výše). Samozřejmě i v této poloze – po novém nastavení linie dotyku obrázků – odečteme na stupnici poloměr zakřivení rohovky a hodnotu její lomivosti. Ze zjištěných dat v obou rovinách na sebe kolmých vypočítáme rozdíl lomivosti rohovky v těchto meridiánech a z toho určíme druh astigmatismu.

Hodnocení:

Rovina	Poloměr zakřivení	Lomivost rohovky v dioptriích	Druh astigmatismu
horizontální			
vertikální			

Závěr:

Stanovení zrakové ostrosti

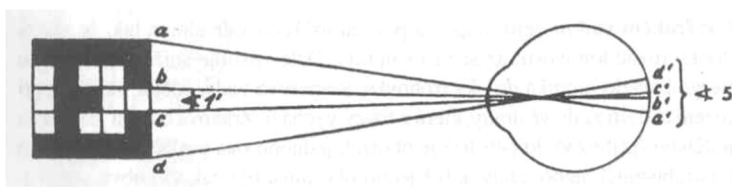
Zrakovou ostrostí rozumíme prostorový práh, tzv. **minimum separabile**, čili nejmenší vzdálenost dvou bodů, které oko ještě rozliší jako dva body. Hlavní faktory, na nichž závisí zraková ostrost, jsou: hustota světločivých buněk v příslušném místě sítnice a jejich funkční zapojení, intenzita osvětlení, kontrast (černé znaky na bílém podkladě), průhlednost světlolomných prostředí oka a zdatnost dioptrického aparátu oka.

Největší zraková ostrost je ve fovea centralis, což souvisí s maximální hustotou čípků v této oblasti a jim příslušejících gangliových buněk, jejichž **receptivní pole** mají nejmenší rozměry (u primátů bylo dosud změřeno centrum receptivního pole foveálních gangliových buněk o minimálním rozsahu 2 min). Mluvíme tu o **centrální zrakové ostrosti**. Dva body lze rozlišit jen tehdy, vytvoří-li se jejich obrazy na dvou čípcích, mezi nimiž zůstane alespoň jeden čípek nepodrážděný. Je zřejmé, že vzdálenost obrázků na sítnici závisí jak na vzdálenosti zobrazovaných bodů od sebe, tak na jejich vzdálenosti od oka, čili na úhlu, který svírají paprsky vycházející z pozorovaných bodů při průchodu okem. Z rozměrů čípků vyplývá, že **minimální zorný úhel je asi 50" čili prakticky 1 min**. Směrem do periférie sítnice zraková ostrost rychle klesá, což souvisí s přibývajícím stupněm konvergence fotoreceptorů na další neurony sítnice.

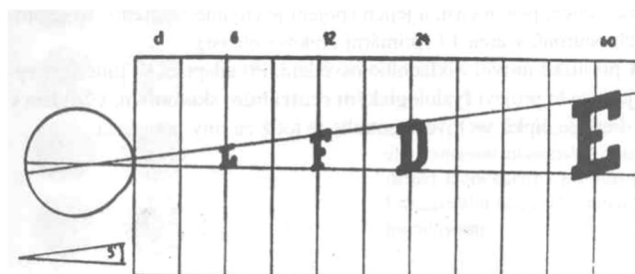
Pomůcky: Snellenovy optotypy

Snellenovy optotypy jsou písmena, číslice nebo jednoduché obrazce různé velikosti konstruované tak, že úhel, pod nímž se z předepsané vzdálenosti vidí celé písmeno, je 5 min, **úhel, pod nímž se vidí charakteristické detaily nutné k poznání písmene, je 1 min** (obr. 9.12. a 9.13.).

Písmena jsou nakreslena černě na bílém pozadí, obvykle na tabuli z mléčného skla, která je ze zadu osvětlena difúzním, dostatečně intenzivním světlem. Písmena jsou uspořádána v řádky tak, že nahoře jsou písmena největší, dole nejmenší. U každé řádky je udána **maximální vzdálenost v metrech (D = distantia), z níž normálně vidící oko ještě písmena přečte**.



Obr. 9.12. Snellenův znak



Obr. 9.13. Projekce Snellenových optotypů do zorného úhlu

Provedení:

1. Snellenovy optotypy umístíme **do vzdálenosti 6 m od vyšetřované osoby** tak, aby byly ve výši její hlavy a aby byly dobře osvětleny.
2. Pak vyšetřované osobě zakryjeme jedno oko a vyzveme ji, aby četla jednotlivé řádky od větších k menším. Abychom vyloučili možnost, že vyšetřovaný zná pořadí písmen z paměti, ukazujeme na přeskáčku postupující od větších řádek k menším a sledujeme, zda vyšetřovaný správně rozpozná označená písmena.
3. Když jsme vyšetřili jedno oko, provedeme stejným způsobem vyšetření oka druhého. Osoba s normální zrakovou ostrostí přečte bez zaváhání písmena řádky označené vzdáleností, z níž vyšetřujeme. **Je-li zraková ostrost snížena, přečte vyšetřovaná osoba podle stupně poruchy např. řádku, kterou by měl normálně vidící člověk přečíst z 12 m nebo ještě z větší vzdálenosti.**
4. Výsledek zkoušky vyjadřujeme zlomkem, v jehož čitateli je **vzdálenost, z níž vyšetřovaný čte**, a ve jmenovateli **označení řádku v metrech, který ještě přečte**. U normální osoby je hodnota zlomku 6/6, při snížené zrakové ostrosti 6/12, 6/18 atd. Tuto hodnotu označujeme jako visus (V). Zlomky nekrátíme, aby bylo patrné, z jaké vzdálenosti se vyšetřovalo.

Hodnocení:

Vlastní visus (pokud nosíte brýle, uveďte výsledek i po korekci):

Pravé oko (V)	Levé oko (V)
Korekce	Korekce

Visus u myopie:

Pravé oko (V)	Levé oko (V)
Korekce	Korekce

Závěr:**Poznámka:**

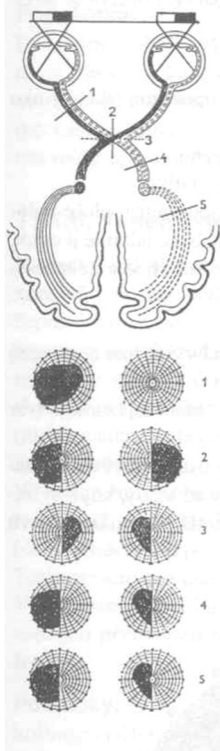
Vyšetření zrakové ostrosti je důležitá a přitom rychlá orientační zkouška. Je-li za optimálního osvětlení a kontrastu zraková ostrost snížena, může to být dáno např. **refrakční vadou**, jejíž stupeň a povahu můžeme odhadnout tak, že vyšetřovanému postupně předkládáme před oko čočky různé lomivosti, až se visus upraví. Dále zjistíme sníženou zrakovou ostrost při **poruše průhlednosti** prostředí, kterými světlo proniká do oka (rohovka, komorová voda, čočka, sklivec), při **lézi sítnice ve foveální oblasti**, resp. při poškození té části zrakové dráhy, která z fovey vychází. Zraková ostrost je snížena i při **tupoizrakosti (amblyopii)**, kdy v útlém dětství (přibližně do pěti let) je obrázek jednoho oka potlačován. Může to být podmíněno jeho horší refrakcí, šilháním (strabismus), nebo tehdy, když jedno oko musí být zakryto obvazem. Tupoizrakost může být reedukována asi zhruba do 9 let výcvikem rozlišování jemných tvarů (obtahování kontur obrázků, navlékání korálků ap.). Amblyopie i její výcvik souvisejí s plasticitou CNS, kdy např. neurony v podkorovém laterálním genikulátu, ke kterým přicházejí vlákna z centra sítnice, jsou menší, a jejich spojení je chybně utvářeno. To se projeví i v abnormální reaktivitě příslušných korových neuronů v area 17 (primární zraková oblast). Zraková ostrost může být snížena také **fyzilogicky** při nízké úrovni základního osvětlení. Při adaptaci na tmou a při vyšetřování zorného pole testovací značkou o malém jasu se to projeví **fyzilogickým centrálním skotem**, výpadem v zorném poli, který koresponduje s centrem sítnice. Funkce čípků ve fovea centralis je totiž za tmy potlačena.

Vyšetření zorného pole (perimetrie)

Vyšetření zorných polí slouží především k **rozpoznání chorobných poruch ve zrakové dráze**. **Monokulární zorné pole** je část prostoru, kterou vidíme při klidném pohledu vpřed, kdy se ani oko, ani hlava nepohybují. Střed zorného pole je bod, který fixujeme. Odpovídá oblasti sítnice ve fovea centralis. Vertikální a horizontální meridián (poledník), které středem zorného pole procházejí, dělí zorné pole na **kvadranty** (nazální horní a dolní a temporální horní a dolní). Zorné pole tvoří nepravidelnou oválnou plochu. Rozsah zorného pole je samozřejmě vymezen rozlohou sítnice uvnitř oka, a potom také konfigurací obličejce. Je větší temporálně než nazálně.

Defektům v zorném poli říkáme skotomy. O **fyzilogickém centrálním skotomu** byla už zmínka (viz téma Zraková ostrost). Jiný fyzilogický skotom, **slepá skvrna**, leží temporálně přibližně mezi 12 stupni–18 stupni od středu zorného pole v horizontálním meridiánu. Odpovídá papile zrakového nervu. Oblast skotomu může být úplně slepá. V tom případě jde o **absolutní skotom**. Je-li zraková funkce defektem jen snížena (vyšetřovaný tu vidí bílé značky našedle, špatně rozeznává barvy ap.), označujeme to jako **relativní skotom**. Při poškození sítnice nebo zrakového nervu je skotom vždy **monokulární**. Tvar, velikost, lokalizace a stupeň poruchy určují jeho charakter. Při poškození zrakové dráhy v dalším úseku je pravidelně **jedno ložisko** příčinou charakteristických defektů v **zorných polích obou očí**. Takovým defektům v symetrických (heteronymních) polovinách nebo ve stejnostranných (homonymních: pravých či levých) polovinách zorných polí říkáme **hemianopsie**. Jde-li o poruchu zkřížených vláken v chiazmatu, vznikne **bitemporální heteronymní hemianopsie** (výpad temporálních polovin zorných polí). Symetrické léze nezkřížených vláken se projeví **binazální heteronymní hemianopsií** s výpadem nazálních polovin zorných polí. Jednostranná **léze za chiazmatem vede vždy k homonymním výpadům**: např. levostranná homonymní hemianopsie při poruše pravého optického traktu, kdy pacient nevidí levé části zorných polí. Vždy je nutno mít na paměti, že na temporální části sítnic, odkud vedou nezkřížená vlákna, se

promítají obrázky z nazálních částí zorných polí a naopak (obr. 9.14.).



Obr. 9.14. Schéma zrakové dráhy a různých defektů zorného pole.

Podle místa poruchy vzniknou znázorněné defekty v zorných polích. Při poruše před chiazmatem (1) je defekt monokulární, při poruše v oblasti chiazmatu (2 a 3) je heteronymní, a to buď bitemporální (2), anebo binazální (3). Při poruše za chiazmatem (4 a 5) je defekt vždy homonymní.

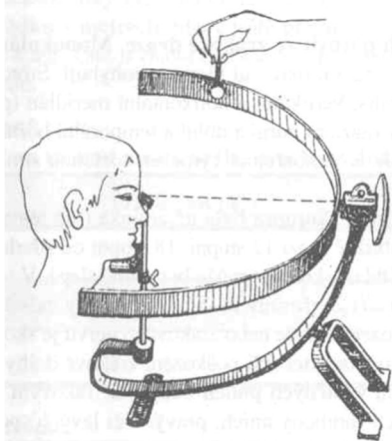
Vyšetřování zorného pole v různých rovinách – nejen tedy v horizontálním a vertikálním meridiánu, jak se tehdy provádělo – poprvé navrhl ve své vřatislavské dizertaci v roce 1823 Jan Evangelista Purkyně a stručně popsal k tomu určený přístroj.

Při barevné perimetrii pozorujeme, že ubývání barvočivosti sítnice v periférii sítnice, které souvisí s postupným poklesem hustoty čípků, není pro různé barvy stejné. Nejmenší zorné pole má zelená, větší červená, dále pak žlutá a modrá, přičemž lze říci, že hranice zorného pole pro poslední dvě barvy prakticky splývají. Nutno připomenout, že hranice zorného pole pro jednotlivé barvy nejsou dány absolutně, ale že tu záleží na intenzitě osvětlení, při níž se vyšetřuje, a také na sytosti barev a velikosti použitých barevných značek. Jemnými metodami bylo zjištěno, že fovea centralis (její průměr = 5 stupňů: tj. 1,5 mm na sítnici) je ve svém středu, tj. foveole (průměr = 1,2 stupně): tj. 0,35 mm na sítnici), ve větším či menším rozsahu tritanopická, tj. že tu není vnímána modrá barva. To ovšem při barevné perimetrii neprokážeme. Barevná perimetrie nepatří k metodám vyšetřování barvocitu (!). Její praktické použití je při vyšetřování zejména malých relativních skotomů, kdy se přitom mění barevný tón pozorované značky. Základy barevné perimetrie položil rovněž J.E. Purkyně.

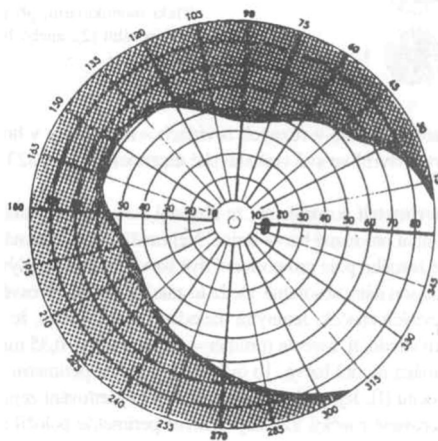
Pomůcky: perimetr, perimetrické značky.

Perimetr (obr. 9.15.) je kovový půlkruh o poloměru 33 cm, upevněný svým středem na stativu tak, že je možno jej sklánět do různých rovin (poledníků, meridiánů). Na vnitřní straně půlkruhu, v místě, kde je upevněn, je bílá fixační značka. Proti ní, rovněž ve vzdálenosti 33 cm, je opěradlo pro bradu vyšetřované osoby.

Perimetrické značky jsou kruhovitě terčíky o průměru 1 cm, upevněné na delším držadle tmavé barvy. Používá se terčíků bílých, červených, modrých, zelených.



Obr. 9.15. Perimetr. Vyšetřování zorného pole



Obr. 9.16. Zorné pole pravého oka

Provedení:

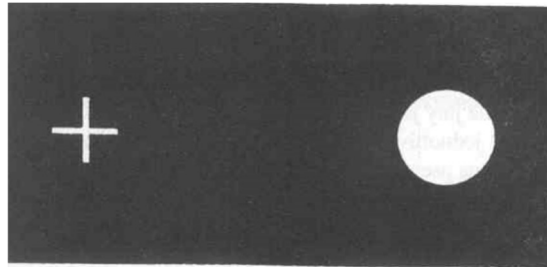
1. Vyšetřovanou osobu posadíme k perimetru a necháme ji opřít bradu o podložku, jejíž výšku upravíme tak, aby oko bylo ve stejné rovině jako střed perimetru.
2. Jedno oko jí zakryjeme a vyzveme ji, aby volným okem fixovala bílou tečku ve středu půlkruhu
3. Půlkruh nastavíme do horizontální roviny, což ověříme na kruhovém měřítku upevněném na stativu.
4. Pak vezmeme bílou značku a pohybujeme jí trhavě (jak už doporučil Purkyně v roce 1825), po vnitřní ploše polokruhu směrem od periférie ke středu z temporální strany a vyzveme vyšetřovanou osobu, aby hlásila, jakmile ji uvidí.
5. Na stupnici vyryté na zevní ploše půlkruhu zjistíme vzdálenost značky od středu ve stupních. Tuto hodnotu zaneseme do grafu.
6. Pak stejným způsobem postupujeme ze strany nazální.
7. Otočíme půlkruh perimetru o 30° a postupujeme jako shora. Otočíme o dalších 30° atd., až vyšetříme celé zorné pole. Během vyšetřování stále kontrolujeme, zda pokusná osoba fixuje střed půlkruhu.
8. Hodnoty zanesené do grafu spojíme úsečkami, takže dostaneme nepravidelný mnohoúhelník, který znázorňuje tvar a velikost zorného pole (viz obr. 9.16.).
9. Když jsme vyšetřili zorné pole pro bílou barvu, vyšetřujeme stejným způsobem i pro barvy ostatní a výsledek zakreslíme

do grafu barevnými tužkami. Při barevné perimetrii odečítáme hodnoty na půlkruhu až tehdy, když vyšetřovaný vidí barvu ve skutečném barevném odstínu značky, kterou vyšetřujeme. V periférii se totiž mohou barvy jevit jinak: např. červená jako oranžová, zelená jako nažloutlá ap.

10. Posuneme-li některou ze značek z temporální strany ke středu asi mezi 12 až 18° horizontálního poledníku, přestane ji vyšetřovaný vidět, protože se značka promítne na slepé skvrně sítnice (papila n. optici). Tím se projeví tzv. **fyziologický skotom**.

Pozn: existenci slepé skvrny se můžeme přesvědčit Mariottovým pokusem (obr. 9.17.). Fixujeme-li ze vzdálenosti asi 20 cm v přímém pohledu pravým okem křížek a levé máme zavřené, přestaneme vidět bílý kruh vpravo. Fixujeme-li naopak střed kruhu levým okem, pak při zakrytí oka pravého vymizí křížek vlevo.

11. Orientačně můžeme vyšetřit perimetr tak, že vyšetřovaný si zakryje jedno oko, dívá se na kořen nosu vyšetřujícího, a vyšetřující pohybuje kmitavě prstem v náležitých meridiánech. Vyšetřovaná osoba ohlásí, kdy začne vidět pohyb prstu.



Obr. 9.17. Mariottův pokus

Hodnocení:

Poznámka:

Perimetrie, neboli vyšetřování zorného pole, má nesmírnou cenu praktickou. Výpad některé jeho části nás totiž upozorní na lézi ve zrakové dráze (viz výše), kterou si pacient, zvláště při zachování normální centrální zrakové ostrosti, nemusí vůbec uvědomovat. Nemluvíme-li o typických defektech zorného pole při zvýšeném nitroočním tlaku (glaukom), pak často příčina zjištěné léze ohrožuje nemocného nejen ztrátou zraku, ale i života (např. mozkové nádory). A na to nás může upozornit i orientační vyšetření.

Vyšetřování barvocitu

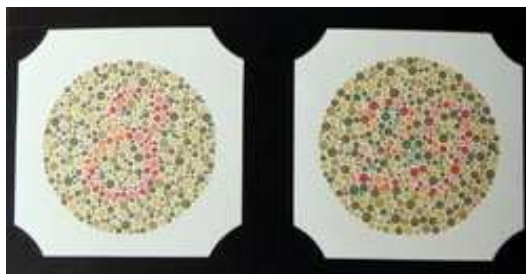
Normální vidění barev u člověka je **trichromatické** (tříbarevné). Realizuje se především třemi druhy čípků, které maximálně pohlcují světlo v krátkovlnné, středovlnné a dlouhovlnné oblasti spektra. Aditivním mísením modré, zelené a červené barvy lze získat jakýkoli barevný odstín, kdy záleží na tom, v jakém poměru a jakou sytostí barvy jsou tyto fotoreceptory drážděny. Při pouhém oslabení jednoho z těchto barevných mechanismů jde o **anomální trichromacii** (oslabené vnímání červené – **protanomálie**, zelené – **deuteranomálie**, modré – **tritanomálie**). Chybí-li některý mechanismus úplně (barevné vidění v tom případě spočívá na dvou barevných mechanismech), mluvíme o **dichromacii** (dichromatickém barevném vidění) a analogicky o **protanopii**, **deuteranopii** a **tritanopii**. **Monochromát (achromát)** barvy nerozeznává.

Ve zrakovém systému působí vedle toho ještě **oponentní, reciproční**, protikladný mechanismus. Některé neurony tu reagují při osvětlení jednou z doplňkových barev (červená – zelená, žlutá – modrá) opačně než při expozici druhé barvy (depolarizace – hyperpolarizace, vznik vzruchové aktivity – její útlum). Tento princip se uplatňuje zejména při vnímání barevného kontrastu.

Vyšetřování barvocitu vychází z toho, že člověk s poruchou barvocitu **nerozezná barevné znaky, které se liší od pozadí jen příslušnou barvou, ne však stupněm jasu, a dále na změněném vnímání barevného simultánního kontrastu**.

Pomůcky:

Ishiharovy barvocitové tabulky



Vyšetřování barvocitu těmito tabulkami používá tři principů:

1. pseudoizochromazie
 2. pseudoanizochromazie
 3. výběr barev
1. **Pseudoizochromazie** – na pseudoizochromatických tabulkách se číslice liší od pozadí jenom záměnnou barvou, ne však jasně a tvarem jednotlivých skvrn. Vyšetřovaný, který příslušné barvy zaměňuje, znaky nepřečte.
 2. **Pseudoanizochromazie** – na některých tabulkách je kombinován princip pseudoizochromazie s opačným principem pseudoanizochromazie. Část znaků má totiž jiný jas než pozadí. Vyšetřovaný s poruchou barvocitu se na těchto tabulkách řídí právě tímto rozdílným jasně jednotlivých skvrn, avšak uniká mu ta část znaků, která se liší od pozadí záměnnou barvou a ne jasně, tj. založená na pseudoizochromatickém principu. Proti tomu se normální trichromát zaměřuje především na barevné rozdíly, kdežto rozdílu v jasě nevěnuje pozornost. Při poruše barvocitu tedy vyšetřovaný přečte na tabulce jiný znak než ten, kdo má barvocit normální.
 3. **Výběr barev** – při poruše barvocitu nedovede vyšetřovaný ukázat kroužky stejné barvy, kterou označíme, popř. ukážeme. Lze k tomu použít kteroukoli tabulku.

Provedení:

1. Vyšetřujeme při dobrém denním osvětlení. Je nejlépe, když se pokusná osoba postaví zády k oknu. Tab. č. 1–17 ukazujeme ze vzdálenosti 75 cm a povolíme brýle na dálku.
2. Vyzveme vyšetřovaného, aby četl, přičemž se neptáme na barvu znaků. K určení jedné tabulky stačí 3 s.
3. Při expozici tab. č. 18– 24 povolujeme brýle na čtení a vyzýváme vyšetřovaného, aby svým prstem sledoval průběh linie mezi označenými body X.
4. K vyšetření barev lze použít libovolnou tabulku, vyšetřovaný má ukázat kroužky stejné barvy, kterou označíme.

Hodnocení:

Tabulka číslo:	Výsledek studenta	Normální náleží	Osoba s oslabením barevných mechanismů (červená/zelená)	Osoba absolutní barvosleposti ^a
1		12	12	12
2		8	3	X
3		29	70	X
4		5	2	X
5		3	5	X
6		15	17	X
7		74	21	X
8		6	X	X
9		45	X	X
10		5	X	X
11		7	X	X
12		16	X	X
13		73	X	X
14		X	5	X
15		X	45	X

			Protanopie		Deutanopie		
			silná	střední	silná	střední	
16		26	6	(2) 6	2	2 (6)	
17		42	2	(4) 2	4	4 (2)	

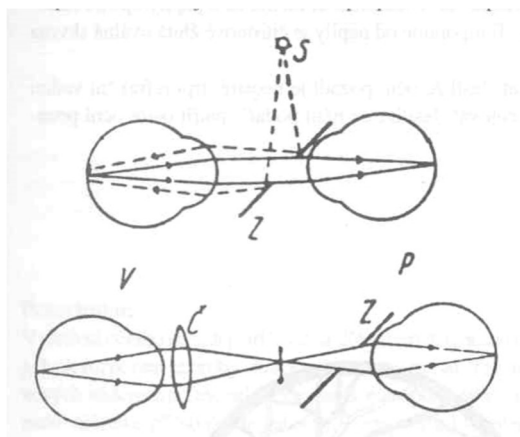
Závěr:

Poznámka:

Poruchy barvocitu jsou jednak vrozené, jednak jsou průvodními projevy některých očních chorob a celkových toxických stavů. Vyšetření barvocitu je zvláště důležité u osob zaměstnaných v dopravě (řidiči, strojvůdci atd.), protože se při barevné signalizaci používá velmi zhusta červených a zelených světel (záměna těchto barev je právě nejčastější poruchou barvocitu!).

Oftalmoskopie

Vrhne-li svazek rovnoběžných paprsků do oka, spojí se, je-li oko emetropické a bez akomodace, na sítnici. Většina paprsků je v očních médiích pohlcena, malá část se však od sítnice odrazí a vystoupí stejnou cestou (tj. jako svazek rovnoběžných paprsků) opět z oka. Užitím vhodného zařízení lze dosáhnout, že odražené paprsky dopadnou do našeho oka, takže můžeme potom opět vidět oční pozadí. Tomuto způsobu vyšetřování říkáme oftalmoskopie a podle způsobu, jímž se provádí, rozlišujeme oftalmoskopii přímou a nepřímou (viz schéma na obr. 9.18.).



Obr. 9.18. Schématické znázornění oftalmoskopie přímé (nahore) a nepřímé (dole). Světelné paprsky ze zdroje S zaměřuje pozorovatel P do vyšetřovaného oka V pomocí zrcátka Z a sleduje přitom oční pozadí. Nikdo neakomoduje. Při nepřímé oftalmoskopii pozorovatel akomoduje, neboť pozoruje pomocnou čočkou Č skutečný a převrácený obraz očního pozadí vyšetřovaného.

Přímá oftalmoskopie

Její princip je ten, že malým zrcátkem opatřeným uprostřed otvorem odrazíme světlo z vhodného zdroje do oka vyšetřované osoby, přičemž se díváme otvorem v zrcátku ve směru odražených paprsků. Světlo, které se odrazí od očního pozadí a vrací se stejnou cestou zpět, prochází otvorem v zrcátku do oka vyšetřujícího. Tímto způsobem je možné vidět obraz očního pozadí, který je přímý a asi 16x zvětšený.

Musí však být splněny dvě podmínky: ani vyšetřovaná osoba, ani vyšetřující nesmějí akomodovat a jejich oči musí být emetropické. Jestliže vyšetřovaná osoba nebo vyšetřující trpí refrakční vadou, je nutno ji korigovat.

Hlavní přednost tohoto způsobu vyšetření je v tom, že obraz očního pozadí, tj. jednotlivé části, vidíme ve správné poloze, a že je silně zvětšený, takže lze dobře rozlišit detaily. Nevýhodou však je, že lze přehlédnout jen malou část očního pozadí najednou a hlavně, že metoda vyžaduje značný cvik, takže se začátečníkovi většinou nedaří.

Výhodné je použít elektrický přímohledný oftalmoskop, u něhož je světelný zdroj zamontován přímo v přístroji, čímž odpadají obtíže se zaměřováním paprsků do oka. V očním lékařství se dnes používá výlučně elektrický oftalmoskop.

Nepřímá oftalmoskopie

Provádí se obdobně jako přímá oftalmoskopie s tím rozdílem, že svazek paprsků vrhaných do oka necháme procházet spojnou čočkou (14 až 16 D). Paprsky odražené od sítnice se po průchodu čočkou spojují v jejím ohnisku a vytvářejí skutečný převrácený obraz, který pozorujeme. Tento způsob je jednodušší, protože vyšetřující musí akomodovat (dívá se na skutečný obraz v blízkosti svého oka). Kromě toho je obraz očního pozadí zvětšen pouze asi 4x, takže se přehledně větší část a obraz je jasnější.

Pomůcky: oftalmoskop Heine mini (obr. 9.19.)

U elektrických oftalmoskopů je zrcátko nahrazeno hranolovou optikou a zdroj světla (v tomto případě 2 AA baterie) zamontován v držadle přístroje. Oftalmoskop je opatřen rovněž sadou čoček (rozptylky a spojky, které lze nastavit otočným kotoučem po stranách hlavy oftalmoskopu) a ještě barevnými filtry, které umožňují pozorovat oční pozadí v červeném nebo zeleném světle (lze je nastavit otočným kotoučem umístěným vzadu na hlavě oftalmoskopu).

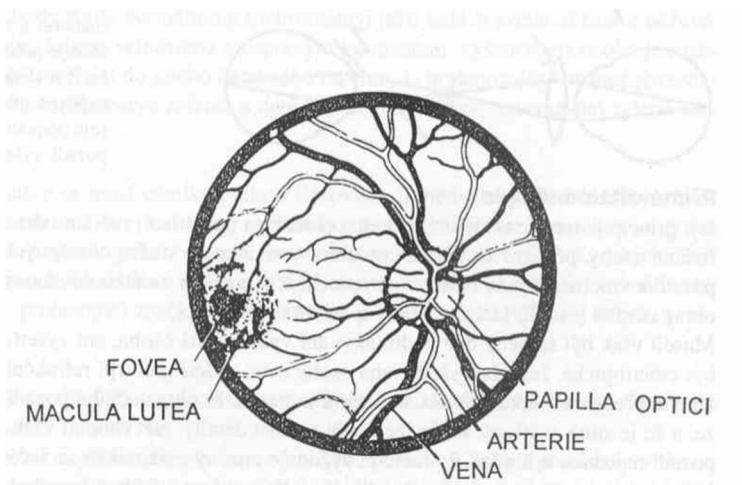


Obr. 9.19. Přímý oftalmoskop Heine mini

Provedení:

Přímá oftalmoskopie

1. Vyšetřovanou osobu posadíme v zatemněné místnosti ke stolku, na němž je umístěn světelný zdroj vedle jejího ramene přibližně ve výši očí.
2. Posadíme se proti ní, přiložíme oftalmoskop k oku tak, abychom otvorem viděli obličej vyšetřované osoby, kterou vyzveme, aby se dívala do dálky přes naše rameno.
3. Pak zaměříme zrcátkem světlo do vyšetřovaného oka, a aniž akomodujeme, přibližujeme se těsně k oku vyšetřované osoby.
4. Dodržíme-li výše uvedené podmínky, uvidíme oční pozadí jako matně červenou plochu, na níž se z papily optiku hadovitě rozbíhají sítnicové cévy. Arterie jsou tenčí a světlejší než žíly. Temporálně od papily je citrónově žlutá oválná skvrna – macula lutea (obr. 9.20.).



Obr. 9.20. Oční pozadí

Jestliže vyšetřující trpí refrakční vadou, musí ji předem zkorigovat. Jestliže oční pozadí je neostře, trpí refrakční vadou vyšetřovaná osoba a je nutno ji korigovat otočným tlačítkem sloužícím k přepínání čoček. V hledáčku jsou viditelné zapnuté hodnoty korektur. Záporné hodnoty (- D) jsou červené, kladné hodnoty (+ D) jsou černé. Jestliže se nám podaří spatřit ostře oční pozadí, pak jemným otáčením oftalmoskopu prohlédneme celou sítnici.

Hodnocení:

Nakreslete schematicky obraz očního pozadí

Poznámka:

Vyšetření očního pozadí patří k velmi důležitým diagnostickým metodám. Umožňuje jednak určit povahu a stupeň refrakční vady, jednak rozpoznat choroby sítnice a zrakového nervu. Tzv. městnavá papila nás informuje o nitrolební hypertenzi (např. při mozkových nádorech). Tzv. exkavace papily nás upozorňuje na nitrooční hypertenzi (glaukom). Při vyšetřování očního pozadí však nadto můžeme přímo pozorovat cévy, jejichž vzhled se mění při celkových chorobách, jako je např. arterioskleróza nebo arteriální hypertenze ap. Můžeme rovněž dokonce měřit krevní tlak v řečišti a. centralis retinae (tzv. **oftalmodynamometrie**).

Oftalmoskopické nebo skiaskopické vyšetření se značně usnadní, vkápneme-li vyšetřované osobě asi 15 min předtím 1% roztok homotropinu. Tak se zornice rozšíří a zároveň je potlačena akomodace. Homotropinová mydriáza trvá asi 24 h, v praktiku se však nepoužívá, neboť současné ochrnutí akomodace poněkud vyšetřovaného obtěžuje.

Binokulární vidění

Fixujeme-li binokulárně (oběma očima) bod v prostoru (obr. 9.21.), promítá se tento bod (F) tzv. **hlavními směrovými přímkami**, totožnými se zornými osami, do obou očí. Tyto přímky procházejí uzlovými body (U) v osách zornic a centrálními foveami (F_1, F_2) obou sítnic. Fixovaný bod (F), který leží v centru binokulárního zorného pole, je vidět **ostře a jednoduše**. Jeho obrázky z obou očí splývají v jediný vjem, jsou fúzovány. Binokulární vidění má význam zejména při pohledu do blízka. Obě oči přitom konvergují – což je sdruženo s akomodací a miózou – a jejich zorné osy se protínají v místě bodu, který je fixován (F). Jednoduše, ačkoli méně ostře jsou viděny všechny ostatní body ležící na horopteru (např. bod A). Jsou tedy také fúzovány. Každý z nich se promítá **vedlejšími směrovými přímkami** ($A-A_1, A-A_2$) na tzv. **korespondující (identické) body** obou sítnic. Ty leží **ve stejném směru**, homonymně (tj. vpravo nebo vlevo) a **ve stejné vzdálenosti** od obou foveí. Samozřejmě nejdůležitějšími korespondujícími body jsou místa v oblastech obou foveí (F_1, F_2), kam se promítá fixovaný bod (F). **Horopter** je tedy **geometrickým místem bodů, které se promítají na korespondující body sítnic**. V horizontálním průřezu je to **kružnice, procházející bodem, který fixujeme (F)** – a na jehož vzdálenost také akomodujeme – a **uzlovými body obou očí (U)** v ose zornic.

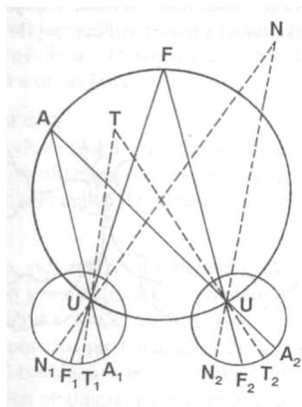
Všechny body, které neleží na horopteru (např. T, N), se promítají na tzv. **disparátní** (tj. nekorespondující, neidentické) **body sítnic** (např. N_1, N_2, T_1, T_2). Je-li stupeň této disparace velký, tj. leží-li daný bod **ve větší vzdálenosti od horopteru**, je vidět **dvojitě**. Když je **v malé vzdálenosti od horopteru**, totiž **v tzv. Panumově oblasti fúze**, není vidět dvojitě, ale **prostorově, a to před anebo za fixovaným bodem**.

Při **nazální disparaci** obrázky bodu, který leží **ve střední čáře za horopterm** a za fixovaným bodem, se promítají **symetricky nazálně od foveí**, ovšem na disparátní body. Vzniká tak **nezkřížená diplopie** (obr. 9. 22., body N, N_1, N_2), kdy při zavření jednoho oka zmizí obrázek na stejné straně. Když je stupeň této disparace malý, diplopie nevznikne, a daný bod je vidět **prostorově za fixovaným bodem**, resp. za horopterm (viz obr. 9.27., $O_L 1 - 1 - I, O_P 1 - 1 - I$). **Neleží-li tento bod ve střední čáře** (obr. 9.21., body N, N_1, N_2), pak se jeho obrázky promítají homonymně od foveí. **Vzdálenost projikovaného bodu od fovey v nazálním směru (bod N 2) v sítnici oka, na jehož straně mimohoropterový bod leží, je větší** než vzdálenost jeho obrázku od fovey v temporálním směru v druhém oku (bod N_1).

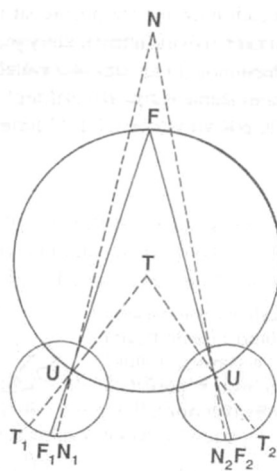
Při **temporální disparaci** je vše opačně. Obrázky **bodu ležícího ve střední čáře před fixovaným bodem** se promítají **symetricky temporálně od foveí** (viz obr. 9.21., body T, T_1, T_2). Tím je dána **zkřížená diplopie**. Když totiž zavřeme jedno oko, uniká nám zdvojený obrázek na protilehlé straně. Při malém stupni temporální disparace diplopie nevzniká a daný bod je vidět **prostorově před fixovaným bodem** (viz obr. 9.27., $O_P 3 - 3 - III$). Když **mimohoropterový bod leží stranou od střední čáry**, projikuje se **v sítnici oka opačné strany v temporálním směru do větší vzdálenosti od fovey** než homonymně v nazálním směru v sítnici druhého oka (obr. 9.21., body T, T_1, T_2).

Pomůcky: tužka, Brewsterův stereoskop, stereoskopické obrázky, nitový hloubkoměr.

Brewsterův stereoskop (obr. 9.23, 9.24., 9.27.) tvoří dřevěný rám, do kterého jsou vsazeny dva konvexní hranoly (H), které jsou orientovány svými bázemi zevně. Paprsky, které na ně dopadají, se po průchodu hranolem lámou směrem k jeho bázi. Takto situované hranoly (tzv. adukční, resp. konvergenční hranoly) tak navozují konvergenci bulbů. Paprsky



Obr. 9.21. Horopter



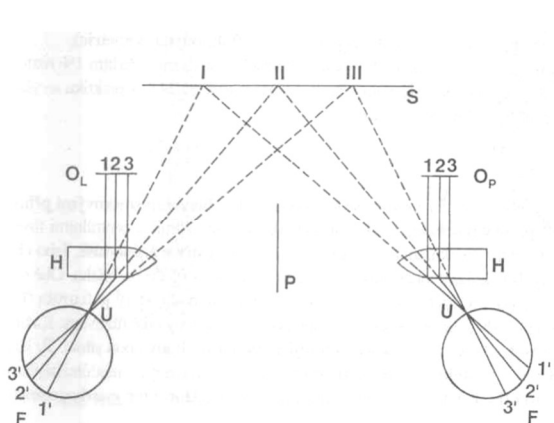
Obr. 9.22. Diplopie nezkřížená a zkřížená

vycházející z jednotlivých bodů obrázku (O_L , O_P) probíhají pak uzlovým bodem oka (U) k sítnici. Konvexita hranolu působí jako spojná čočka (na obr. 9.23., 9.24., 9.27. pominuto): obrázek se zvětší a akomodace je potlačena. Důležitým znakem stereoskopů je, že zorná pole obou očí, resp. nazírané obrázky, jsou odděleny přepážkou (P). Levé oko se dívá jen na levý (O_L) a pravé jen na pravý obrázek (O_P). Fixujeme vždy střed obrázku. Při současném pohledu oběma očima obrázky binokulárně splývají (fúze). Je to umožněno tím, že každé oko vidí příslušné body obrázku v tom směru, ve kterém vnikly z nich vycházející paprsky do oka po průchodu hranolem (přerušované čáry). Jednotný vjem po překrytí obrázků se promítá do horopterové roviny (S), která je od očí více vzdálena než ta, v níž leží obrázky.

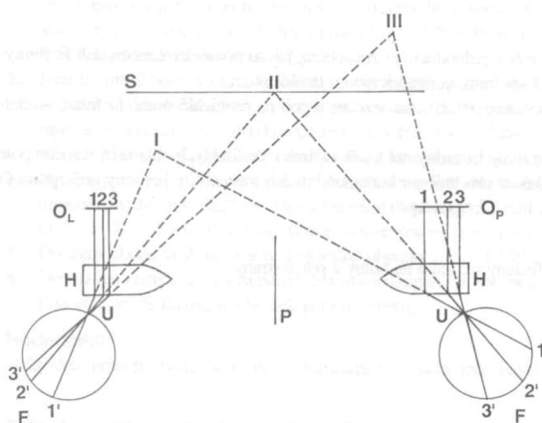
Když jsou oba obrázky přesně identické (obr. 9.23.), tj. když **vzdálenost jejich příslušných párových bodů** ($O_L 1 - O_P 1$, $O_L 3 - O_P 3$) **je stejná jako bodů fixovaných** ($O_L 2 - O_P 2$), promítají se všechny tři tyto páry bodů vzájemně korespondující body v levé a pravé sítnici (1, 2, 3) a jsou viděny jednotně v linii horopteru S (I, II, III). Výsledný vjem je tedy plošný.

V případě, že jsou obrázky mírně disparátní (obr. 9.24.), tj. **když vzdálenost jejich párových bodů je menší** ($O_L 1 - O_P 1$) než bodů fixovaných ($O_L 2 - O_P 2$), pak se promítají body $O_L 1$ a $O_P 1$ na mírně disparátní (na obr. 9.24. zvětšeno) body obou sítnic (1, 1'). Jde o **temporální disparaci**. Sjednocený bod (I) je vidět **prostorově před horoptrem** v Panumově oblasti fúze. **Vzdálenost párových bodů $O_L 3 - O_P 3$ je naopak větší** než bodů fixovaných ($O_L 2 - O_P 2$). Tyto body se promítají na jiné mírně disparátní body v sítnicích (3, 3'), běží však o **disparaci nazální**. Sjednocený bod (III) je vidět **prostorově** v Panumově oblasti fúze, avšak **za horoptrem** (S).

Takové mírně disparátní obrázky lze zhotovit např. stereokamerou, jejíž objektivy jsou od sebe stejně vzdáleny jako oči. Pravou část pozorovaného předmětu vidíme více pravým okem z pravé strany a levou část více levým okem ze strany levé. Také obrázky předmětu na obou sítnicích se poněkud od sebe liší. Tak např. při pohledu na krychli, jejíž hrana je obrácena ve střední čáře proti nám, vidíme pravým okem její pravou plochu větší a levou menší. Při pohledu okem levým je tomu naopak.



Obr. 9.23. Zobrazení přesně identických obrázků ve stereoskopu (vysvětlení v textu)



Obr. 9.24. Zobrazení mírně disparátních obrázků ve stereoskopu (vysvětlení v textu)

Stereoskopická zařízení se používají např. k odhalení odlišnosti dvou zdánlivě stejných obrazů, jako třeba padělaných bankovek, kdy i drobná nepřesnost ve srovnání s originálem vynikne v prostorovém znázornění. V očním lékařství slouží stereoskopy k vyšetření binokulárního vidění a částečně i k jeho reedukaci.

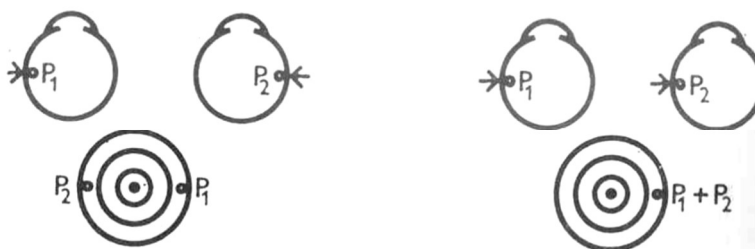
Níťový hloubkoměr – je to dřevěná podlouhlá krabice, v jejíž přední stěně je vodorovná štěrbin, kterou pozorujeme tři svislé nitě, zavěšené na podélných kovových lištách, umístěných paralelně s podélnou osou přístroje. Nitě jsou zatíženy závažími. Prostřední nit je fixní, levá je upevněna na pohyblivém jezdcí, a pravou lze plynule pohybovat šroubovým zařízením.

Provedení:

Průkaz korespondujících míst sítnic

O existenci korespondujících míst sítnic se můžeme přesvědčit jednoduchým způsobem, jak to prvně demonstroval J. E. Purkyně v roce 1819 při studiu fosfenů, které vznikají při mechanickém, tj. neadekvátním dráždění oka.

1. Dotkneme-li se lehce ze strany povrchu bělimy přes víčko, pozorujeme v zorném poli na protilehlé straně fosfen, tj. světelnou skvrnu.
2. Když tlačíme na bulby z temporálních či nazálních stran (tj. heteronymně), pak vidíme v protilehlých oblastech zorného pole dva fosfeny (obr. 9.25. vlevo). Při současném tlaku na oba bulby v korespondujících místech (tj. homonymně zprava či zleva) se tyto fosfeny překrývají, resp. splývají (obr. 9.25. vpravo)



Obr. 9.25. Fosfeny vybarvené z nekorespondujících (vlevo) a korespondujících (vpravo) míst sítnic

Hodnocení:

Zakreslete, kde v binokulárním zorném poli pozorujete fosfeny při tlaku na bulby z pravé strany.

Závěr:

Diplopie při dislokaci bulbu

1. Oběma očima fixujeme hrot tužky, kterou držíme na délku paže před sebou.
2. Prstem druhé ruky pak ze strany poněkud vychýlíme jeden bulbus do strany. Za těchto okolností vidíme hrot tužky dvojitě: binokulární fixace jednoho bodu v prostoru, a tedy i horopter jsou porušeny.
3. Když po zavření jednoho oka monokulárně fixujeme hrot druhým okem, diplopie po jeho vychýlení nevznikne.

Hodnocení:

Podtrhněte, ve kterém případě se po vychýlení jednoho oka projeví diplopie: při binokulární fixaci, při monokulární fixaci.

Diplopie nezkřížená a zkřížená

Provedení:

1. Před očima ve střední čáře vztyčíme při natažené paži ukazovák jedné ruky.
2. Vztyčíme ukazovák druhé ruky – rovněž ve střední čáře – v poloviční vzdálenosti mezi vztyčeným prstem a frontální rovinou očí.
3. Fixujeme-li binokulárně bližší prst, vzdálenější ukazovák vidíme dvojitě. Jde o **diplopii nezkříženou**. Po zavření jednoho oka mizí totiž obrázek na téže straně, kde je oko zakryté.
4. Při binokulární fixaci vzdálenějšího ukazováčku je obrázek bližšího prstu rovněž zdvojený. Jde tu však o **diplopii zkříženou**. Zakryjeme-li přitom jedno oko, uniká nám zdvojený obraz bližšího prstu na druhé straně.

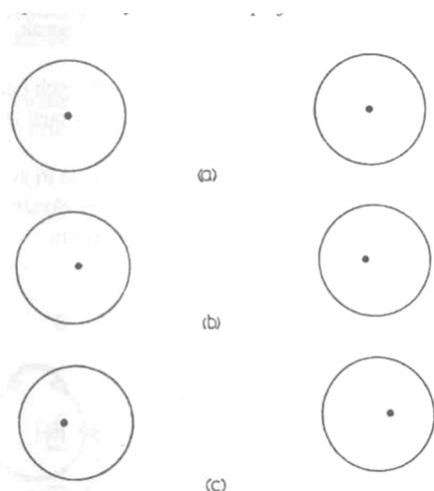
Hodnocení:

Nakreslete schématicky horopter a průměty bodů za fixovaným bodem a před ním při nezkřížené a zkřížené diplopii.

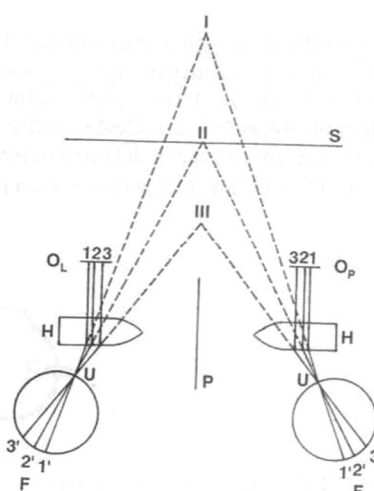
Stereoskopické vidění na Brewsterově stereoskopu

Provedení:

1. Do posuvného držáku stereoskopu zasuneme obrázek tří dvojic kroužků (obr. 9.27.) a nastavíme vhodnou vzdálenost.
2. Obě kružnice v každém páru (a, b, c) jsou zcela shodné. Jednotlivé body levé kružnice se promítají na ty body levé sítnice, které korespondují (korespondující body) s průmětem bodů pravé kružnice v sítnici pravé (obr. 9.28. neznázorněno) a jsou proto viděny ve stereoskopu jednotně na linii horopteru (S). U první dvojice kroužků (obr. 9.27(a)) jsou dva body nakresleny přesně v jejich středech. Obrázky těchto centrálních bodů ($O_L 2$, $O_P 2$) jsou při fúzi ($O_L 2 - 2 - II$, $O_P 2 - 2 - II$) viděny jako jediný splynulý bod rovněž na horopteru (obr. 9.28.). Proto je také tento bod vidět v téže ploše, v které se jeví kružnice, tedy bez jakéhokoli vjemu hloubky.
3. Jsou-li vnitřní body v obou kroužcích horizontálně decentrovány **nazálním směrem** (obr. 9.27.(b)), promítnou se jejich obrázky na mírně disparátní (ve schématu na obr. 9.28. zvětšeno) body obou sítnic temporálně od foveí (temporální disparace) a jsou fúzovány před horoptrem (S) v Panumově oblasti fúze (obr. 9.28 $O_L 3 - 3 - III$, $O_P 3 - 3 - III$). Proto je také fúzovaný bod vidět prostorově **před plochou kroužku**, tj. blíže k pozorovateli.
4. Opačně je tomu při decentraci vnitřních bodů **temporálním směrem** (obr. 9.27(c)). Jejich obrázky se promítnou na mírně disparátní body sítnic nazálně od foveí (**nazální disparace**) a jsou fúzovány za horoptrem (S) v Panumově oblasti (obr. 9.28. $O_L 1 - 1 - I$, $O_P 1 - 1 - I$). Fúzovaný bod vidíme potom prostorově v hloubce, za plochou, ve které leží kružnice.
5. Do stereoskopu vložíme dva zcela totožné obrázky (obr. 9.23.). Pozorujeme, že fúzovaný obrázek je plošný.
6. Do držáku stereoskopu zasuneme dva mírně disparátní obrázky (obr. 9.24.), popř. obrázky zhotovené stereokamerou. Pozorujeme, že fúzovaný obrázek je trojrozměrný.



Obr. 9.27. Obrázky dvojic kroužků a bodů, které ve stereoskopu jsou v téže rovině jako kružnice (a), před (b) a za touto rovinou (c) – vysvětlení v textu



Obr. 9.28. Hlubkový vjem ve stereoskopu při různé disparaci obrázků – vysvětlení v textu

Hodnocení:

Nakreslete průměty bodů dvou mírně disparátních obrázků založených do stereoskopu a naznačte, kde tyto body vidíme.

Odhad hloubky v nitovém hloubkoměru

Provedení:

1. Dvě postranní nitě umístíme do jedné frontální roviny spolu s fixní prostřední nití. V tomto případě leží všechny nitě na horopteru. Musíme dbát na to, aby pohled některého oka nebyl cloněn deskou v okolí štěrbinu přístroje.
2. Při pohledu touto štěrbinou fixujeme binokulárně prostřední nit.
3. Již při nepatrném posunu pravé nitě poznáme, jestli se vzdálila nebo přiblížila k linii obou očí. Vidíme ji prostorově v

Panumově oblasti fúze. I z větší vzdálenosti dovedeme tuto nit opět přesně uvést do jedné roviny s ostatními nitěmi. To se dobře nedaří, když jedno oko zavřeme a druhým monokulárně fixujeme prostřední nit.

4. Když jsou všechny nitě ve frontální rovině, a levou nit přiblížíme posuvným jezdcem maximálně dopředu, vidíme ji při binokulární fixaci prostřední nitě dvojitě (tj. celkem 4 nitě). Je to tím, že se již dostala mimo Panumovu oblast fúze. Její levý zdvojený obrázek uniká při zavření pravého oka a opačně. Nit můžeme též vidět dvojitě i při maximálním oddálení od linie obou očí. Tehdy její levý zdvojený obraz mizí při zavření levého, pravý při zavření pravého oka.
5. Odečtete na měřítku přístroje vzdálenost, ve které za těchto okolností je již levá nit vidět zdvojeně.

Hodnocení:

Závěr:

Vyšetření stereopse (prostorového vidění) pomocí stereotestu Moucha

Pomůcky

Stereotest Moucha, polarizační 3D brýle (Obr. 9.29.)



Obr. 9.29. Stereotest Moucha a polarizační brýle k vyšetření stereopse

Provedení

Pacient přes polarizovaná skla brýlí pozoruje jednotlivé části testu.

Jedním z úkolů je pozorování obrazu mouchy, kdy polarizační brýle mají za úkol separovat monokulární vjemy. Vyšetřovaný je vyzván, aby mouchu uchopil mezi palec a ukazováček. Pokud má pacient stereopsi, chytá mouchu nad podložkou, protože z ní moucha vystupuje a pacient vidí mouchu plasticky. Pokud pacient stereopsi nemá, vidí mouchu plošně a snaží se ji uchopit na podložce.

Druhou částí testu jsou políčka s kruhy. Je zde deset polí a každé obsahuje čtyři kruhy, z nichž jen jeden je při pozorování přes polarizovaná skla viděn plasticky. Vyšetřovaného vyzveme, aby v každém poli určil daný vystupující kruh. Pokud však pacient u všech částí testu vidí znaky jen plošně, nemá zřejmě prostorové vidění. Posledním úkolem je určení vystupujícího obrázku na každém ze tří řádků A, B, C.

Hodnocení

Na základě vyhodnocovacího klíče na zadní straně stereotestu zaznamenejte výsledky.

Závěr:

Kontrolní otázky:

1. Které znáte sférické zrakové vady a čím jsou charakterizovány, pokud jde o délku bulbu a lomivost?
2. V jaké vzdálenosti leží u jednotlivých zrakových vad vzdálený bod (punctum remotum)?
3. Čím je dána vzdálenost blízkého bodu a jak se mění s přibývajícím věkem?
4. Čeho je mírou akomodační šíře a v jakých hodnotách se vyjadřuje?
5. Co je astigmatismus, jaké má základní formy a jak jej lze vyšetřit?
6. Čím je dána zraková ostrost, kde je největší a proč?
7. Jak vyšetřujeme zrakovou ostrost a jak ji hodnotíme?
8. Kdy je zraková ostrost snížena fyziologicky a kdy patologicky?
9. Jakými způsoby se vyšetřuje oční pozadí a o čem nás tento náález informuje?
10. Co jsou korespondující a disparátní body sítnic a v jakém vztahu jsou k binokulárnímu vidění?
11. Jak je definován horopter?
12. Kdy je daný bod vidět oběma očima jednoduše, dvojitě a prostorově?
13. Za jakých okolností vzniká diplopie zkřížená a nezkrížená?

14. K čemu slouží perimetrie, resp. barevná perimetrie?
15. Co je to skotom a jaké druhy skotomů a hemianopsií znáte?
16. Jak se označuje normální vidění barev u člověka a proč?
17. Co je podkladem normálního vidění barev?
18. Které poruchy barvocitu znáte a jak se vyšetřují?
19. Na které tabulce (při vyšetřování barvocitu) jsou znaky ve stejné světlosti a v odlišné barvě, než je podklad, a zároveň jiné znaky s odlišným stupněm světlosti v odlišném barevném odstínu, než je podklad?
20. Podle čeho se řídí vyšetřovaný při jejich čtení?
21. Podle čeho se řídí při jejich čtení vyšetřovaný s poruchou barvocitu?

Jméno:

Příjmení:

Studijní kroužek: Skupina: A, B, C, D

.....
datum

.....
podpis vyučujícího

INVAZIVNÍ MĚŘENÍ KREVNÍHO TLAKU

Monitorování krevního tlaku (NE/INVAZIVNĚ)

Neinvasivní monitorování (dlouhodobé sledování) TK lze provést opakovaným měřením manžetou. Pacientské monitory lze naprogramovat na opakované měření (nafukování/vyfukování manžety) v intervalech dle potřeby (typicky minuty až hodiny). Monitorovat TK lze i pomocí přenosného monitoru (tzv. Holter). Příliš časté nafukování manžety má své limity, protože je pro pacienty velmi obtěžující.

Invasivní (přímé, krvavé) měření tlaku je měření přímo v cévním řečišti (ev. srdci).

Význam:

- i. kontinuální měření (důležité zejm. u selhávání oběhu), výstupem je křivka.
- ii. Spolehlivé měření i u velmi nízkého tlaku (např. u šoku), kdy měření manžetou je obtížné
- iii. Pro CVP je invazivní měření jediná přesná metoda

Princip: perkutánní zavedení katetru do cév. Sensor bývá vně těla pacienta, ve výši srdce *Proč?*. Sensor a katetr jsou propojeny hadičkou (podobná infusní) naplněnou FR, která musí být bez vzduchu *Proč?*.

A. Centrální žilní tlak (CVP)

CVP je tlak ve velkých žilách v úrovni srdce.

CVP závisí zejména na i) žilním návratu, ii) náplni cévního řečiště krví a iii) čerpací funkci pravého srdce. iv) venotonu/tlaku hrudníku (je zde i vliv dýchání).

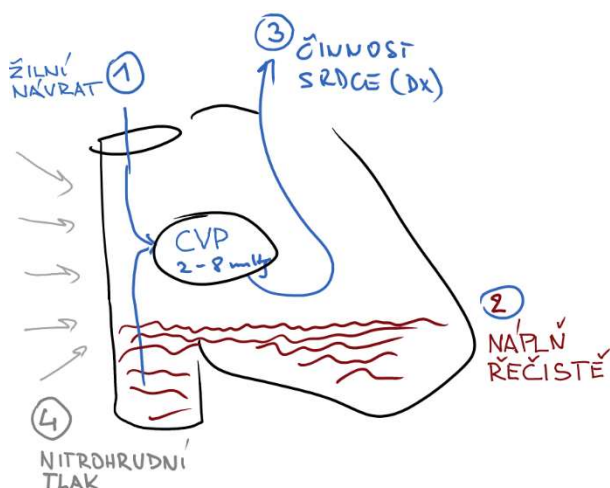
Význam: *Snížené* hodnoty CVP nacházíme např. při hypovolémii, sníženém žilním návratu, *zvýšené* při hypervolémii a stavech, při kterých vážně přečerpávání krve zejména pravým srdcem do plic.

Normální hodnoty CVP jsou kolem 2-8 mmHg.

CVP – Provedení (viz model v učebně)

Distální konec katetru je v duté žíle v úrovni srdce. Typický přístup je jugulární či subklaviální. Katetrizace centrálních žil je na řadě oddělení poměrně běžná kvůli dlouhodobé infuzní terapii, parenterální výživě apod. (JIP, operativa, ARO). Katetrizace centrálních žil nese jistá rizika (infekce, trombóza, pneumotorax při zavádění). Ta musí být menší, než očekávaný benefit.

Výstupem invazivního měření CVP je křivka na monitoru označená CVP a číselně je vyjádřena hodnota středního tlak, typicky v mmHg.



B. Arteriální krevní tlak invazivně (ABP, ART, RAD, FEM, Ao, ...)

ART je tlak v arteriálním řečišti (v místě konce katetru, ale vztažený k úrovni srdce)

ART závisí typicky na: i) srdečním výdeji, ii) periferní cévní resistenci, iii) objemu cirkulujících tekutin

Význam: hodnocení hemodynamiky (perfuse), kontrola vedení léčby vasopresory

Indikace IBP: Hemodynamicky nestabilní pacienti (JIP, ARO, operace), kardiokirurgické operace

Rizika IBP. Poranění tepen, ischemie povodí, vzduchová embolie, krvácení. Rizika jsou větší než u CVP a musejí být vážena proti benefitu. U nestabilní hemodynamiky je IBP ale plně indikován.

Výstupem invazivního měření ART je křivka na monitoru označená jako ABP nebo ART nebo podle příslušné tepny, RAD, FEM, Ao, PAP,... nebo srdečního oddílu (LVP, RVP, RAP ...) k tomu číselně vyjádřené hodnoty SYS/DIA (STŘ), typicky v mmHg.

Otázky-úkoly:

- *Prohlédněte si model přímého měření tlaku. Vyzkoušejte vliv změny polohy sensoru*
- *Nakreslete křivku ART (z paměti).*
- *Proč je měření ART rizikovější než CVP?*
- *Proč musí být sensor IBP v úrovni srdce a sfygmomanometr pro NIBP ne?*
- *Jaký je rozdíl mezi křivkou IBP a SpO2 (přesněji plethysmografickou)?*
- *Co je to „nulování tlaku“? [kalibrace sensoru proti atmosféře. Atmosférický tlak je nastaven jako 0 mmHg]*
- *Hrozí koagulace/thrombosa katetru, embolie/thrombosa cév? [ANO. Abychom riziko snížili, katetr bývá trvale proplachován FR s heparinem. Hodně pomalu.]*
- *Uměli byste volně změnit hodnotu svého CVP?*

DETERMINANTY GLOMERULÁRNÍ FILTRACE

Glomerulární filtrace je proces, kterým se krev očisťuje od cizorodých látek a metabolických produktů. Její důležitost je enormní. Průtok krve ledvinou je čtvrtinou srdečního výdeje, filtrační frakce je pětinou protékající plazmy. Zastavení glomerulární filtrace by brzy vedlo k úmrtí metabolickým rozvratem. Proto je důležité její poruchu včas rozpoznat.

Je-li omezení glomerulární filtrace významné a déletrvajícím, projeví se jasně vzestupem látek, které ledviny vylučují (urea, kreatinin, draslík...) v krvi.

normální hodnoty v krvi:

urea: 2-8 mmol/l

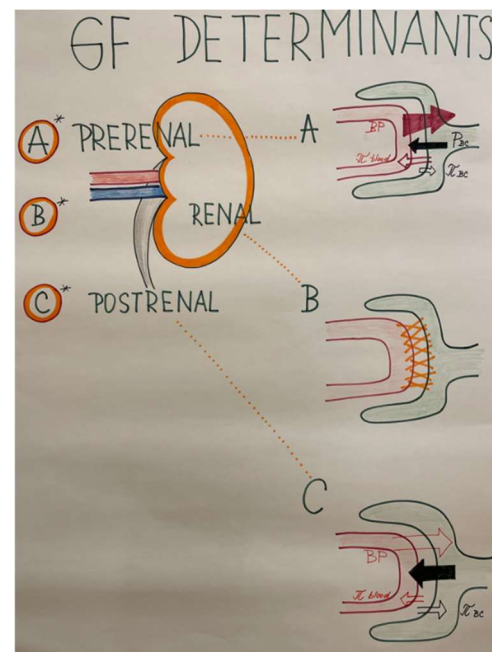
kreatinin: 50-100 $\mu\text{mol/l}$

kalium: 3.8-5.4 mmol/l

Je-li zánik glomerulární filtrace postupný (během let), koncentrace urey a kreatininu zůstávají dlouho normální a k odhalení poklesu glomerulární filtrace je potřeba užít jiných metod (funkční zkoušky ledvin, izotopové vyšetření, viz simulované úlohy a další studium).

Fyziologická glomerulární filtrace je dána třemi podmínkami:

- Prerenální: dobrou funkcí oběhu
- Renální: fyziologickou filtrační membránou, funkčním renálním parenchymem
- Postrenální: volnými odvodnými cestami močovými

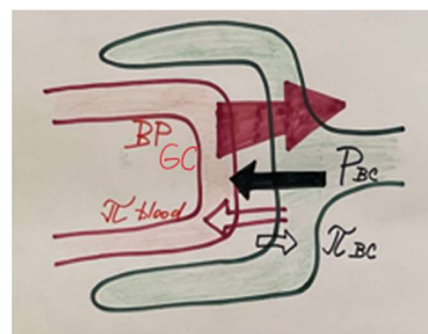


ad A: Prerenální podmínky glomerulární filtrace, princip tvorby primární moči

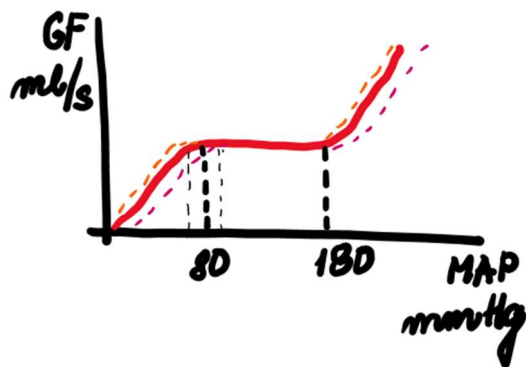
Tvorba moči v ledvině je důsledkem efektivního filtračního tlaku (GFP). Filtrační tlak lze určit jako rozdíl tlaků, které působí v kapilárách glomerulů směrem do Bowmanova pouzdra (lze zjednodušit na tlak krve $BP_{GC} = 60 \text{ mmHg}$, onkotický tlak glomerulárního filtrátu π_{BC} lze pro nízký obsah bílkovin zanedbat) a tlaků působících směrem do lumen glomerulárních kapilár (onkotický tlak plazmatických bílkovin zahuštěných o odfiltrovanou vodu $\pi_{\text{blood}} = 29 \text{ mmHg}$ + hydrostatický tlak v Bowmanově pouzdře $P_{BC} = 15 \text{ mmHg}$).

$$GFP = BP_{GC} - P_{BC} + \pi_{BC} - \pi_{\text{blood}}$$

$$GFP = 60 - 15 - 29 = 16 \text{ mmHg}$$



Tlak a průtok krve ledvinou je řízen převážně lokálními mechanismy tak, aby byla filtrace při výkyvech systémového tlaku přibližně konstantní.



To platí v rozsahu středního tlaku v arteriálním řečišti od 80 do 180 mmHg. U osob s dlouhodobě nižším tlakem je rozmezí mírně posunuto směrem k nižším hodnotám u osob s vyšším tlakem směrem vzhůru.

Poklesne-li tlak krve mimo rozmezí regulace, klesá filtrační tlak a s ním tvorba primární, potažmo i definitivní moči.

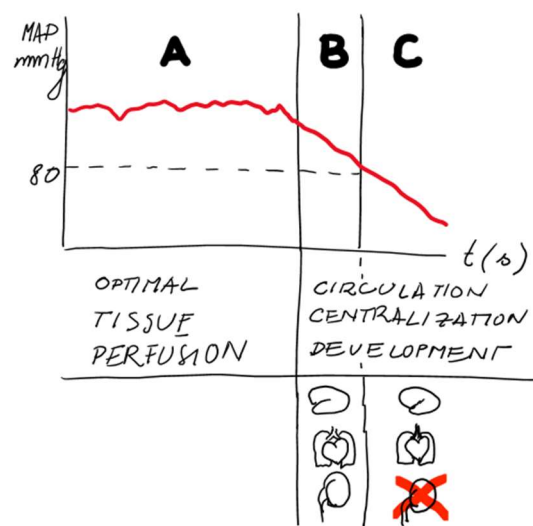
Hodinová diuréza

Jelikož perfusní tlak v ledvině určuje průtok krve ledvinou a glomerulární filtraci a glomerulární filtrace potažmo ovlivňuje diurézu, monitorování hodinové diurézy je funkčním monitorováním perfuze ledvin.

Protože ledvina je z hlediska distribuce průtoku krve organismem privilegovaným orgánem (větší prioritu má jenom mozek a srdce), je sledování perfuze ledviny zároveň ukazatelem prokrvení ostatních méně preferovaných oblastí. Klesá-li aktuální produkce moči z důvodu omezeného perfuzního tlaku v ledvině, je průtok periferními tkáněmi zřejmě ještě horší.

Hodinová diuréza je tedy nepřímým monitorováním oběhu.

Použijeme-li sběrný sáček s jemnou stupnicí a možností sbírat odděleně porce moči v průběhu dne, můžeme nepřímo sledovat aktuální perfuzní poměry v ledvině po terapeutickém zásahu (zavodnění pacienta, zvýšení tlaku v řečišti tonizací arteriolárních svěračů, ovlivnění srdečního výdeje, snížení patologicky zvýšeného CVP při špatné čerpací funkci srdce...).



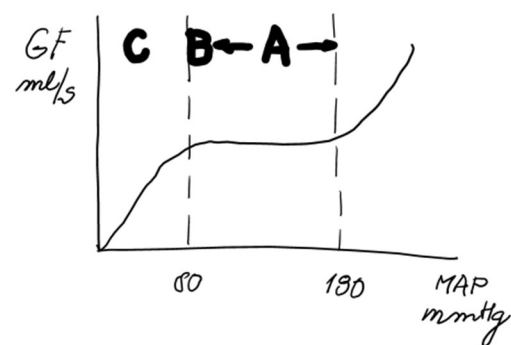
Referenční hodnota hodinové diurézy:

oligurie: $<0.5 \text{ ml/kg/h}$

Pozor, kritéria ani účel hodnocení hodinové diurézy se nekryjí s hodnocením celodenní diurézy.

Slouží k rozpoznání aktuální změny produkce moči za současné změny parametrů oběhu.

Graficky vyjádřeno jde o funkční kontrolu, zda je stav oběhu pacienta ještě v pásmu AB obrázku nebo je již mimo tuto oblast v pásmu C. Doplnění znalosti hodnoty krevního tlaku o toto funkční ověření je důležité z více důvodů. Jednak



Obr.: Rozvoj centralizace oběhu při postupném poklesu tlaku krve, vztah k regulaci glomerulární filtrace

může být patologická situace složitá (například hodnota středního arteriálního tlaku je dostatečná, ale současně je vyšší venózní tlak atd., viz další studium) a jednak je rozsah regulačního rozmezí GF trochu individuální.

Obecně nelze z množství definitivní moči spolehlivě usuzovat na přesné množství primárního filtrátu. Opomněli bychom fakultativní resorpční procesy, které jsou závislé na hydrataci a osmotické náloži organismu. V situaci selhávajícího oběhu si toto zjednodušení dovolujeme protože pozorujeme, že diuréza klesá současně s krevním tlakem aniž by současně klesala hydratace nebo osmotická nálož.

Ilustrační příklady:

Příklad 1:

A: Produkce definitivní moči u osoby adaptované na nízký příjem tekutin (její ledviny mají vysokou koncentrační schopnost) může být v přepočtu i tak málo jako 0.25 ml/kg/h. To může být fyziologické, má-li osoba normální tlak krve a je schopna vyloučit celou denní osmotickou nálož.

B: Naopak to bude velmi nefyziologické, jedná-li se o dobře hydratovanou osobu s kriticky nízkým krevním tlakem.

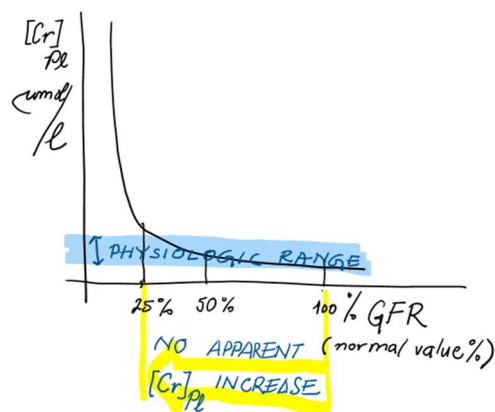
Příklad 2:

A: Zdravý 20-letý jedinec o hmotnosti 80 kg se octne na určitou dobu v nouzi o vodu. Osmotická nálož, kterou potřebuje vyloučit za den je 600 mosmol a koncentrační schopnost jeho ledvin dosahuje hodnoty 1200 mosmol/l. V jakém objemu definitivní moči osmotickou nálož vyloučí? je to fyziologické?

B: Stejný zdravý jedinec, tentokrát v podmínkách optimální hydratace utrpí úraz s velkou krevní ztrátou. Jeho hodnota středního tlaku krve je 60 mmHg. Za hodinu vyprodukuje 20 ml moči. Osmolarita této moči je mezi 350 a 600 mosmol/l. Porovnejte množství vyprodukované moči s normou pro hodinovou diurézu? Jedná se o sníženou hodnotu? Pokud by stejný objem moči vyloučil v každou následující hodinu, kolik by to bylo za 24 hodin? Bylo by to fyziologické? Proč?

Ad B: Renální podmínky glomerulární filtrace (GF)

Existuje skupina onemocnění, které vedou k zhoršené propustnosti glomerulo-kapilární membrány nebo postupnému zániku renálního parenchymu (viz další studium). Jak už bylo řečeno výše, zprvu není pokles GF patrný vzestupem urey a kreatininu v plasmě. Zjevným se stane až při poklesu GF na 1/3 -1/4 původní hodnoty a to už bývá na léčbu pozdě viz **Obr.** Ve finálních stádiích takových chorob jedinec neprodukuje žádnou moč a je plně odkázán na dialýzu. Proto je nutné při podezření na renální onemocnění aktivně zjišťovat hodnotu glomerulární filtrace (tj. objemu primárního filtrátu, který se vytvoří za časovou jednotku) a včas zahájit léčbu.



Referenční hodnota GFR (glomerular filtration rate):

závisí na pohlaví, věku a tělesné konstituci

Obecně 180 l/24 hodin, 1.5-2.2 ml/s

Tuto hodnotu lze změřit nebo odhadnout.

Měření je nutné všude tam, kde hodně záleží na přesnosti/spolehlivosti výsledku (viz další studium).

K měření GF chceme použít látku, která se volně filtruje do primární moči, neresorbuje se ani nesecernuje. Například exogenní inulin, s jistým zjednodušením také endogenní kreatinin. Předpokládejme že veškeré množství kreatininu, které se přefiltruje přes glomerulo-kapilární membránu se objeví v moči.

Viz obrázek:

$[Cr]_{pl}$ koncentrace kreatininu v plazmě

GF objem plasmy přefiltrované do Bowmanova pouzdra za den

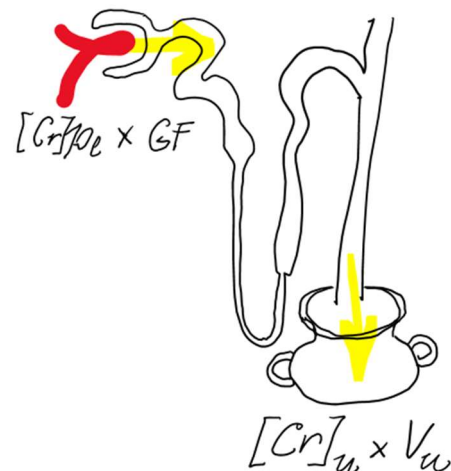
(= objem primárního filtrátu/d)

$[Cr]_u$ koncentrace kreatininu v moči

V_u objem moči za celý den

$$[Cr]_{pl} \times GF = [Cr]_u \times V_u$$

V klinické praxi se glomerulární filtrace nestanovuje výše uvedeným postupem, ale odhaduje z hodnoty koncentrace kreatininu v plazmě dosažením do vztahu, který zohledňuje pohlaví, věk a tělesnou konstituci. Důvodem je obtížnost měření: je potřeba provést skutečně sběr moči za 24 hodin, což se často selháním/opomenutím nepodaří. Dále je to fakt že s ubývající filtrační schopností ledvin se kreatinin vylučuje nejen filtrací, ale také sekrecí, takže je změřená GF nadhodnocená oproti skutečné. K přesnému měření je nutné podat inulin, což se prakticky ujalo jen ve specifických indikacích. Další možností stanovení glomerulární filtrace je isotopové vyšetření (viz další studium).



Ad C: Postrenální podmínky glomerulární filtrace (GF)

Obstrukce močových cest je v klinické praxi velmi častá.

Organismus je ohrožen dvěma skupinami problémů:

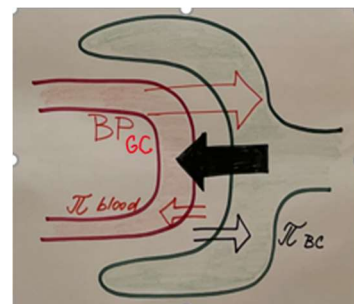
1: lokálním nárůstem tlaku tubulární tekutiny nad obstrukcí

2: hromaděním látek, které nemohou být odstraněny z krve

ad 1: Viz obr: Přetane-li být odváděna moč, ke glomerulární filtraci bude docházet tak dlouho, dokud se součet onkotického tlaku v kapilárách

glomerulu π_{blood} a tlak v Bowmanově pouzdře P_{BC} (tubulárním systému nefronu) nevyrovná hydrostatickému tlaku v glomerulárních kapilárách BP_{GC} . Takto naplněný tubulární systém povede k útlaku sekundární kapilární sítě ledviny, kde je fyziologicky nízký tlak (pod hodnotou onkotického tlaku plasmy, funkce řečiště je resorpční). Tento stav ohrožuje ledvinový parenchym ischemií a musí se rychle řešit odvodem moči močovým katétre nebo suprapubickou punkcí.

ad 2: Kompletní obstrukce močových cest povede k úplné zástavě glomerulární filtrace. Ta se při krevním rozboru projeví nárůstem kreatininu, urey, draslíku, neprchavých kyselin a dalších látek vylučovaných převážně močí. Problém působí i retence vody.



Hyperkalémie

Ledviny jsou hlavním orgánem zodpovědných za vylučování draslíku přijatého potravou. Zatímco intracelulární koncentrace K^+ je vysoká, 150 mmol/l, extracelulární koncentrace je podstatně nižší 3.8 – 5.4 mmol/l. Koncentrační gradient draslíku napříč plazmatickou membránou buněk je základem klidového membránového napětí. Je tomu tak proto, že je pro něj membrána většiny buněk zdaleka nejvíce propustná oproti ostatním iontům.

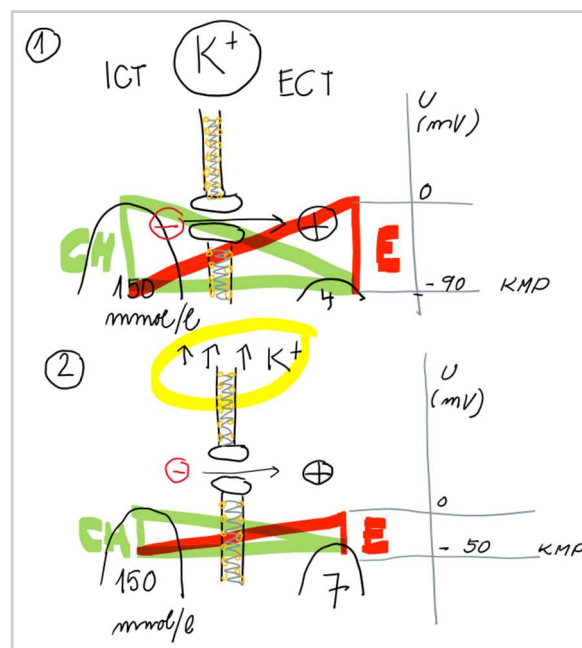
Popis obrázku:

ad1: Koncentrační gradient vede k toku kaliových iontů ven z buňky. Opustí-li kladná částice IC prostor, zbyde po ní relativní minus. Vznikne tak elektrická síla, která brání přestupu dalšího K^+ do ECT. Této síle se říká elektrický gradient. Tok iontů K^+ se zastaví, když je velikost chemického a elektrického gradientu stejná.

Velikost elektrické síly se rovná velikosti membránového napětí, které bychom na membráně naměřili. Vezmeme-li v úvahu všechny ionty, které mohou výsledné napětí na membráně ovlivnit, hovoříme o klidovém membránovém potenciálu

ad2: Zvýšením koncentrace K^+ v ECT dojde ke snížení chemického gradientu pro K^+ , menší chemická síla bude zastavena menší elektrickou silou, proto výsledný KMP bude blíže k nule.

Důsledky této změny mohou být enormní zejména u buněk, jejichž funkce závisí na správné hodnotě membránového napětí. To se týká zejména generátorů srdečního rytmu. Během hyperkalémie můžeme očekávat nejrůznější poruchy rytmu, typicky však bradykardii až srdeční zástavu, viz další studium.



Změna napětí na membráně při vzestupu koncentrace K^+ v extracelulární tekutině. ICT/ECT: intra/extra-celulární tekutina, CH: chemický gradient, E: elektrický gradient, KMP: klidový membránový