

Svatopluk Synek, Šárka Skorkovská

FYZIOLOGIE OKA A VIDĚNÍ



Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude **trestně stíháno**.

Používání elektronické verze knihy je umožněno jen osobě, která ji legálně nabyla a jen pro její osobní a vnitřní potřeby v rozsahu stanoveném autorským zákonem. Elektronická kniha je datový soubor, který lze užívat pouze v takové formě, v jaké jej lze stáhnout s portálu. Jakékoliv neoprávněné užití elektronické knihy nebo její části, spočívající např. v kopírování, úpravách, prodeji, pronajímání, půjčování, sdělování veřejnosti nebo jakémkoliv druhu obchodování nebo neobchodního šíření je zakázáno! Zejména je zakázána jakákoliv konverze datového souboru nebo extrakce části nebo celého textu, umístování textu na servery, ze kterých je možno tento soubor dále stahovat, přitom není rozhodující, kdo takovéto sdílení umožnil. Je zakázáno sdělování údajů o uživatelském účtu jiným osobám, zasahování do technických prostředků, které chrání elektronickou knihu, případně omezují rozsah jejího užití. Uživatel také není oprávněn jakkoliv testovat, zkoušet či obcházet technické zabezpečení elektronické knihy.





Copyright © Grada Publishing, a.s.

FYZIOLOGIE OKA A VIDĚNÍ

Autoři:

Doc. MUDr. Svatopluk Synek, CSc.

MUDr. Šárka Skorkovská

Recenze:

Prof. MUDr. Jaroslav Řehůřek, CSc.

Doc. MUDr. Aleš Filouš, CSc.

© Grada Publishing, a.s., 2004

Cover Photo © Allphoto Images, 2004

Vydala Grada Publishing, a.s.,

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 1968. publikaci

Odpovědná redaktorka PhDr. Alena Reimanová

Ilustrace dodali autoři

Sazba a zlom Vladimír Vašek

Počet stran 96 + 8 stran barevné přílohy

Vydání první, Praha 2004

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.,

Husova 1881, Havlíčkův Brod

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlépeším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

Všechna práva vyhrazena. Tato kniha ani její část nesmějí být žádným způsobem reprodukovány, ukládány či rozšiřovány bez písemného souhlasu nakladatelství.

ISBN 80-247-0786-1 (tištěná verze)

ISBN 978-80-247-7952-2 (elektronická verze ve formátu PDF)

Obsah

Úvod	9
----------------	---

I Anatomie a biochemie zrakového ústrojí

1 Oční koule	12
1.1 Stěna oční koule	13
1.1.1 Zevní vazivová vrstva	13
1.1.2 Prostřední vrstva.	18
1.1.3 Vnitřní vrstva oka	20
1.2 Obsah oční koule.	23
1.2.1 Čočka	23
1.2.2 Sklivec.	25
1.2.3 Oční komora.	26
1.2.4 Komorový mok	27
2 Přídavné oční orgány	29
2.1 Očnicové svaly.	29
2.1.1 Okohybné svaly	29
2.2 Hladké svaly očnice	32
2.3 Vazivový aparát očnice	32
2.3.1 Periorbita	32
2.3.2 Pochva oční koule	32
2.3.3 Očnicové tukové těleso	33
2.4 Víčka	33
2.4.1 Skladba víčka	33
2.5 Spojivka	34
2.6 Cévy a nervy víček a spojivky	35
2.7 Slzné ústrojí	36
2.7.1 Struktura slzného filmu	37
2.7.2 Produkce slz	38
2.7.3 Dynamika slzného filmu.	39
2.7.4 Cévy a nervy slzné žlázy.	39
2.8 Cévy oka a očnice	40
2.8.1 Tepny očnice	40
2.8.2 Žíly očnice.	41
2.9 Zraková dráha	41
2.9.1 Pupilární reflex	43

II Funkční topografie mozkové kůry

3	Senzitivní a senzorické korové oblasti	46
3.1	Zrakové korové oblasti.	46
3.2	Frontální zrakové (motorické) pole	47
4	Refrakční vlastnosti oka	49
5	Fyziologie cévního systému oka	51
6	Nitrooční tekutina	53
6.1	Chemické složení	53
6.2	Hematookulární bariéra	53
6.2.1	Komorová voda a osmotická výměna	53
6.2.2	Morfologie hematookulární bariéry	54
7	Cévnatka a pigmentový epitel	55
8	Nitrooční tlak	57
8.1	Impresní tonometrie	57
8.2	Aplanační tonometrie	57
8.3	Bezkontaktní pneumatická tonometrie.	58
8.4	Vliv osmolarity krve	59
8.5	Kritický nitrooční tlak	59
8.6	Vliv nervového systému na sekreci nitrooční tekutiny a nitrooční tlak.	59
8.7	Farmakologické účinky na nitrooční tlak	59
8.7.1	Adrenergní receptory	59
8.7.2	Parasympatomimetika.	60
8.7.3	Inhibitory karboanhydrázy	60
8.7.4	Prostaglandiny.	60
8.7.5	Vliv kortikosteroidů na nitrooční tlak	61
9	Akomodace oka	63
10	Rozlišování intenzity světla a duplicitní teorie vidění.	65
11	Fotochemie zrakových pigmentů	67
12	Rozlišování barev a teorie barevného vidění	69
12.1	Poruchy barvocitu	69
12.2	Elektrofyzologie barevného vidění	70
13	Zraková ostrost	71
14	Elektrofyzologie sítnice	73
14.1	Aktivita horizontálních, bipolárních a amakrinních buněk.	75

III

Fyziologie vidění, psychofyzika zrakové ostrosti a vnímání kontrastu

15 Stilesův-Crawfordův efekt, Machova pásma, metakontrast	78
15.1 Metakontrast či zpětné maskování	79
15.2 Vnímání pohybu podnětu zrakem	79
16 Fyziologie očních pohybů.	81
16.1 Analýza očních pohybů	82
16.1.1 Pohyby očí během fixace	82
16.1.2 Stabilizované obrazy na sítnici	82
16.1.3 Velké oční pohyby.	82
16.2 Prostorové vidění	83
16.3 Binokulární vidění.	83
16.3.1 Hlubkové, stereoskopické vidění.	84
17 Zorné pole.	85
18 Psychofyzologie zraku (iluze a vyvolané odpovědi)	87
18.1 Entoptické fenomény	89
18.2 Zrakové evokované potenciály	90
Literatura	90
Rejstřík	91

Úvod

Základy rozvoje fyziologie smyslů je třeba hledat v renesanční době. Podíleli se na ní Leonardo da Vinci, Johannes Kepler, Isaac Newton, Thomas Young a mnozí další. Základy fyziologie smyslů jako nového medicínského oboru položil v 19. století Jan Evangelista Purkyně. V disertační práci „Příspěvky k poznání zraku z hlediska subjektivního“ formuloval základy experimentálních přístupů, které se používaly v průběhu 19. století. Mnohé smyslové jevy byly označeny jeho jménem: Purkyňovy obrázky vznikající na přední a zadní ploše čočky nebo Purkyňův fenomén – změna citlivosti zraku pro barvy vlivem mesopického vidění. Na objasnění funkce zrakového orgánu se podíleli i vědci z jiných medicínských oborů – anatomové, histologové, biochemici. Ve druhé polovině 19. století vynikli ve fyziologii zraku dva badatelé: E. Hering, který studoval především pohyby oka a barevné vidění, a H. von Helmholtz, který formuloval trichromatickou teorii barevného vidění. Moderní vyšetřovací postupy ve 20. století přinesly nové poznatky v biochemii nervových přenosů, rodopsinu, nové elektrofyziologické vyšetřovací postupy, elektroretinografii, elektrookulografii, zrakové evokované potenciály či multifokální elektroretinografii. Do klinické praxe byly zavedeny i nové in vivo morfologické vyšetřovací postupy, jako je trojrozměrná (3D) analýza zrakového nervu, polarografické měření tloušťky nervových vláken v sítnici, laserové zobrazení topografie sítnice, které se kvalitou blíží histologickému vyšetření (OCT), zobrazení cév v sítnici fluorescenční angiografií nebo cév v cévnatce pomocí indocyaninové zeleně. Publikace „Fyziologie oka a vidění“ je určena posluchačům bakalářského a magisterského studia optiky a optometrie, studentům všeobecného lékařství a středních zdravotních škol oboru optika.

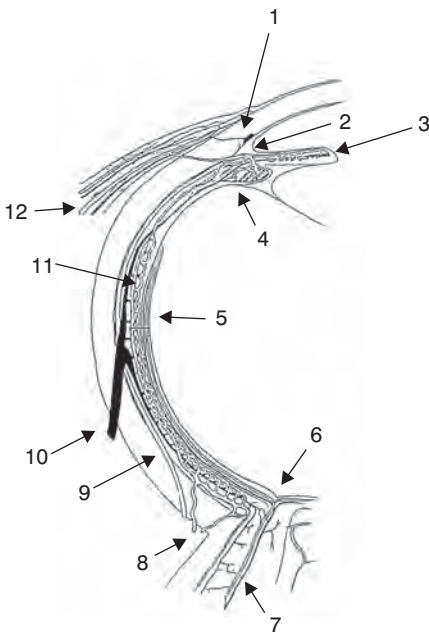
I

Anatomie a biochemie zrakového ústrojí

Periferní část zrakového ústrojí je tvořena párem očí. Je to složitý orgán, který umožňuje vnímání světla, barev a zprostředkuje vnímání největšího množství informací o okolním prostředí a usnadňuje orientaci v prostoru. Zrakový orgán je umístěn v očnici a je tvořen **oční koulí (bulbus oculi)** a **přídavnými očními orgány (organi oculi accessoria)**.

1 Oční koule

Oční bulbus (bulbus oculi) má přibližně kulovitý tvar o průměru asi 23 mm (vertikální a příčný rozměr) × 24–26 mm (předožadní průměr). Je tvořen dvěma segmenty koule o různém poloměru křivosti. Menší přední oddíl (rohovka) má poloměr zakřivení 7–8 mm, zadní část (bělma) má poloměr zakřivení 11–12 mm. V oční štěrbině mezi otevřenými víčky je viditelný pouze menší přední úsek oční koule, zatímco větší zadní část je uložena v hloubi očnice.



Obr. 1 *Anatomie a cévní zásobení oka*

1 – rohovka, 2 – komorový úhel, 3 – duhovka, 4 – řasnaté tělísko, 5 – sítnice, 6 – terč zrakového nervu, 7 – arterie a vena centralis retinae, 8 – krátké ciliární artérie, 9 – dlouhá ciliární artérie, 10 – vena vorticosa, 11 – cévnatka, 12 – okohybný sval a přední ciliární arterie

Na oční kouli rozlišujeme přední pól (**polus anterior**), který odpovídá vrcholu rohovky, a zadní pól (**polus posterior**). Mediálně od zadního pólu vystupuje z oční koule zrakový nerv (**nervus opticus**). Oba póly spojuje oční osa (**axis bulbi externus**). Tato geometrická osa oka není totožná se zornou osou oka (**linea visus**). Jed-

notlivé spojnice obou pólů na povrchu oční koule označujeme jako oční poledníky (**meridiani**). Největším obvodem oční koule orientovaným ve frontální rovině je rovník (**equator**). Pomocí ekvátoru je oční koule rozdělena na přední a zadní polovinu. Meridiány a ekvátorem se přesně lokalizují jednotlivé útvary na oční kouli.

Oční koule (**bulbus oculi**) je tvořena **stěnou oční koule** a **obsahem oční koule**.

1.1 Stěna oční koule

Stěna oční koule se skládá ze tří vrstev:

- Zevní vazivová vrstva (**tunica fibrosa bulbi**) je tvořena bělimou (**sclera**) a rohovkou (**cornea**).
- Prostřední vrstvu (**tunica vasculosa bulbi**) nazýváme živnatkou (**uvea**) a tvoří ji v zadní části cévnatka (**chorioidea**), směrem dopředu řasnaté těleso (**corpus ciliare**) a duhovka (**iris**).
- Vnitřní vrstvu (**tunica interna s. sensoria bulbi**) tvoří sítnice (**retina**) (obr. 1).

Zevní vrstva (**tunica fibrosa bulbi**) tvoří tuhý a pevný obal oční koule. Zajišťuje stabilitu jejího tvaru a je místem úponů šlach okoohybných svalů. Její přední částí vstupují do oka světelné paprsky (součást optického prostředí oka). Tvoří ji bělima (**sclera**) a rohovka (**cornea**).

1.1.1 Zevní vazivová vrstva

□ Bělima

Bělima (**sclera**) je pevná tuhá vazivová blána, která je tvořena převážně lamelózně uspořádanými svazky kolagenních a elastických fibril a zaujímá zadních 5/6 oční koule. Je ochranným obalem pro hlubší oddíly oční koule a představuje pevnou oporu pro připojující se šlachy okoohybných svalů. Tloušťka skléry kolísá mezi 0,3–1,5 mm, v zadní části je silnější, nejslabší je těsně pod úpony okoohybných svalů. Bělima je prakticky bezcévná, má proto bílou barvu (odstín „bílá“ barvy se s věkem mění). U malých dětí obsahuje větší množství vody a elastických vláken, proto je částečně průhledná a prosvítající cévnatka ji zabarvuje lehce do modra, v dospělosti je porcelánově bílá, ve stáří je vlivem ukládání pigmentu z opotřebení nažloutlá. Její povrchová strana se obrací do episklerálního prostoru (**spatium episclerale**), který je vyplněn řídkým vazivem. Tento prostor odděluje oční kouli od jejího vazivového obalu a nazýváme ji Tenonův fascie (**vagina bulbi**). Dutinová strana bělimy směřuje proti prostřední vrstvě (**tunica vasculosa bulbi**), od které ji odděluje vrstvička řídkého vaziva (**spatium perichorioideale**). Přední úsek skléry je kryt spojivkou (**tunica conjunctiva bulbi**).

Na přední straně skléry je velký otvor (průměr asi 12 mm), do jehož okraje (**limbus sclerae**) je jako hodinové sklíčko do svého kovového orámování vsazen lehce zkosený okraj rohovky (**limbus corneae**). Uvnitř skléry probíhá podél okraje otvoru pro rohovku prstencovitý žilní splav (**sinus venosus sclerae**). V zadním úseku skléry mediálně od zadního pólu je dírkovaná ploténka (**lamina cribrosa sclerae**), kterou vystupují z oka vlákna zrakového nervu a vstupují centrální sítnicová arterie a vena (arteria et vena centralis retinae). Kolem ní jsou četné drobné otvůrky pro prostup cév a nervů (nervi ciliares longi et breves, vasa ciliaria). Podél ekvátoru jsou otvory pro prostup venae vorticosae. V přední části skléry v místě úponů šlach přímých svalů jsou drobné otvory pro arteriae ciliares anteriores.

□ Rohovka

Rohovka (**cornea**) překlenuje a uzavírá kruhový otvor o průměru asi 12 mm v předním okraji skléry. Má tvar segmentu koule, který se vyklenuje konvexitou dopředu. Její klínovitě přihrocený okraj (**limbus corneae**) se připojuje k bělimě. Přední (konvexní) strana (**facies anterior**) vybíhá ve vrchol rohovky (**vertex corneae**). Zadní (konkávní) plocha rohovky (**facies posterior**) se obrací do přední komory oční. Rohovka zaujímá přední jednu šestinu oční koule.

Zevní plochu rohovky kryje vrstvička vrstevnatého dlaždicového epitelu (**epithelium anterius corneae**), který je pokračováním epitelu spojivky. V epitelu končí množství volných nervových zakončení, proto je povrch rohovky velmi citlivý na dotyk. V epitelu rozeznáváme bazální buňky, které mají kubický tvar a jsou schopny mitóz společně se kmenovými buňkami rohovkového limbu. Tyto buňky obsahují četné intracelulární orgány, mitochondrie, vlákna, tubuly a granule glykogenu. Směrem k povrchu se buňky oplošťují, mají četné výběžky až křídlaté buňky a vykazují pevné, mezibuněčné spojení, tzv. junkční komplexy. Povrchový rohovkový epitel je tvořen 4–6 vrstvami buněk. Bazální buňky naléhající na Bowmanovu membránu jsou okolo 18 μm vysoké a 10 μm široké. Směrem k povrchu se mění na 2–3 vrstvy křídlatých buněk, které jsou plošší a mají mnohočetné výběžky. Na povrchu pak leží ploché buňky, které jsou 4 μm vysoké a jejich průměr je asi 45 μm . Rohovkový epitel se kompletně vymění za 7–10 dnů. Vzhledem k velké regenerační schopnosti epitelu je zaručeno velmi dobré hojení drobných poranění rohovky, nesmí však být poškozena **Bowmanova membrána**, pak se poranění hojí jizvou, která snižuje průhlednost rohovky. Bazální buňky vytvářejí bazální membránu silnou 0,05 μm , která je pevně spojena s Bowmanovou membránou hemidesmozomy. Je-li tato adherence poškozena, vzniká recidivující eroze rohovky nebo nehojící se defekt epitelu. V periférii epitelu se nacházejí Langerhansovy buňky, což jsou aktivní makrofágy, a v případě imunologické stimulace, například při rejekci štěpu po transplantaci rohovky, je nacházíme i v jiných částech rohovky. Základní vrstvou rohovky je stroma (**substantia propria corneae**), které je tvořeno lamelózními vrstvami kolagenních fibril uspořádaných většinou paralelně s povrchem rohovky. Mezi nimi jsou roztroušeny jednotlivé vazivové buňky. Celá tato vrstva je prostoupena bezbarvou mukoidní

základní hmotou. Směrem k povrchovému epitelu je stroma zahuštěno v amorfni Bowmanovu membránu měřící 8–14 μm . Vnitřní plochu rohovky kryje vrstva plochých buněk (**endothelium corneae**), které vystylají celou přední komoru oční. Endotel je oddělen od stromatu bazální membránou (**Descemetova membrána**), která má při narození tloušťku asi 3 μm a postupně se s věkem zesiluje až na 10 μm . Endotel vytváří pravidelnou mozaiku, je 20 μm široký a 5 μm vysoký. Membrány endotelových buněk jsou spojené junkčními komplexy, které vytvářejí 2 nm široké kanálky gap-junction. Po narození je počet endotelových buněk okolo 3500–4000 na mm^2 . Počet endotelií se snižuje průměrně o 0,5 % za rok. Poklesne-li jejich počet pod 1000 buněk/ mm^2 , nestačí zbývající buňky odstraňovat vodu ze stromatu a vyvíjí se edém rohovky a epitelu. Endotel vykazuje nízkou mitotickou aktivitu, proto je při jeho poškození toto místo překryto zvětšením okolních buněk. Tento poznatek má velký význam v hojení rohovky například u úrazů nebo po nitroočních operacích. Tloušťka rohovky kolísá kolem 1 mm, je silnější na okrajích než v oblasti vrcholu, kde měří okolo 0,5 mm. Uspořádání jednotlivých vrstev rohovky zajišťuje její průhlednost neboli prostupnost pro světelné paprsky. Rohovka tak představuje vstupní oddíl tzv. „**optického prostředí oka**“ a z hlediska indexu lomu světla je jeho nejvýznamnější součástí. Na celkové optické mohutnosti zdravého oka (+ 60 D) se rohovka podílí asi + 40 D. Tato hodnota je konstantní po celou dobu života.

Biochemie rohovky

Rhovka obsahuje 78 % vody a 22 % organického materiálu. Složení je uvedeno v následující tabulce:

	%		%
voda	78	keratan sulfát	0,7
kolagen	15	chondroitin sulfát	0,3
jiné bílkoviny	5	solí (NaCl, KCl)	1

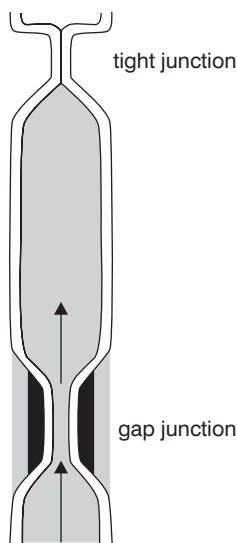
Z tabulky je patrný vysoký obsah vody v rohovce. Další důležitou stavební částí je kolagen. Kolagen v rohovce náleží převážně k typu I, méně k typu V a nejméně k typu III. Kolagenní vlákna jsou pravidelně v rohovce uspořádána a navzájem spojena molekulami keratansulfátu.

Hydratace a transparence rohovky

Z okolního prostředí, tedy ze slzného filmu, komorové vody a limbu proniká difuzí do rohovkového stromatu voda. Endotelové buňky aktivním transportem Na^+ iontů udržují rohovku v relativně dehydratovaném stavu. Tento mechanismus nazýváme endotelovou pumpou. Její činnost je závislá na $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ adenosin trifosfatáze. Její činnost mohou negativně ovlivnit kardiotonika blokadou výše uvedeného enzymu. Inhibitor karboanhydrázy – acetazolamid snižuje účinnost endotelové pumpy o 30 % blokadou tvorby HCO_3^- iontů.

Permeabilita (propustnost) rohovky

Permeabilita rohovky je důležitá pro klinickou praxi, protože významně ovlivňuje koncentraci léků jak v rohovce, tak i v přední komoře oční. Léčivá látka v kapkách nebo v masti musí projít rohovkou, spojivkou a sklérou na místo účinku, přičemž se její koncentrace snižuje nitroočním mokem, odtokem do cévního systému a ztrátou způsobenou slzením. Epitelové buňky jsou na povrchu kryté membránou lipoproteinů, přes kterou procházejí nejnáze látky lipidového charakteru. Navíc jsou epiteliální buňky navzájem spojeny pevnými intercelulárními membránovými komplexy, které nazýváme junkční komplexy (obr. 2). Morfologicky rozeznáváme zonulae occludentes nebo splývání intercelulárních membrán v tzv. tight-junction (obr. 2). Ionty a látky nerozpustné v lipidech pronikají nejhůře přes rohovkový epitel. Stroma a endotel rohovky naopak vytvářejí vysoce permeabilní membránu prostupnou pro iontové látky. Jsou-li látky podané na rohovku organické povahy nebo se jedná o kyseliny, jejich průnik rohovkou přímo závisí na pH (kyseliny pronikají rohovkou lépe) a nepřímo na stupni disociace, protože látky nedisociované, jako například atropin, lépe procházejí přes epitel než látky disociované. Endotel je asi 100× propustnější pro Na^+ ionty, velice dobře jím také pronikají metabolicky důležité látky, jako například glukóza a aminokyseliny. Tato vlastnost je označována jako usnadněný transport.



Obr. 2 Schematické znázornění membránových komplexů

Transparence rohovky

Transparencí rozumíme schopnost materiálu přenášet světlo. Použijeme-li například barevný filtr do brýlí, nastává redukce světla asi o 10 %, použijeme-li mléčné sklo, rozptyl světla způsobí, že není vidět žádný obraz. Rozptyl světla je tedy velice důležitá vlastnost, pokud chceme popsat optické vlastnosti rohovky. Zdravá rohovka rozptyluje pouze 1 % procházejícího světla. Pro vysvětlení optických vlastností rohovky

existuje „mřížková teorie“. Tato teorie říká, že rovnoběžné uspořádání kolagenních vláken v rohovce a jejich jednotná velikost způsobují, že procházející paprsky nejsou rozptylovány na rozdíl od bělimy, kde je kolagen uspořádán chaoticky. Tuto teorii Maurice z roku 1957 potvrdila celá řada autorů, například Smith (1969), Twersky (1976). Při otoku stromatu rohovky nastává nehomogenní rozložení kolagenních vláken, což má za následek ztrátu průhlednosti rohovky.

Metabolismus rohovky

Při otevřených víčkách rohovka dýchá atmosférický kyslík, který je rozpuštěn v slzném filmu, při zavřených víčkách a ve spánku rohovka využívá kyslík z krevního hemoglobinu prostřednictvím limbální cévní pleteně a menší množství i z komorové tekutiny. energii rohovka získává především metabolizmem glukózy z nitroočního moku. 85 % glukózy je anaerobní glykolýzou přeměněno na laktát a pouze 15 % je přeměněno v Krebsově cyklu na vodu a oxid uhličitý.

Regenerace rohovky při poranění

Nejčastěji bývá poraněn epitel rohovky. Za normálních okolností při ztrátě epitelu z rohovky nastává rychlá obnova během 24 hodin. Při poranění rohovky pozorujeme za několik minut zvýšení mitotické aktivity epitelů a defekt je překryt jednak novými buňkami a dále zvětšením a posunem okolních buněk. Tento buněčný pohyb je rychlý a dosahuje 60–80 $\mu\text{m}/\text{h}$ a je způsoben kontraktilními intracelulárními bílkoviny aktinem a vinkulinem, které byly nalezeny blízko buněčné membrány. V hojení zaujímají zvláštní místo kmenové buňky, což jsou pluripotentní buňky nacházející se v limbu rohovky, které slouží jako rezerva nových buněk při rozsáhlém poškození epitelu. Je-li eroze rozsáhlá, hojení může trvat i několik dnů. Během následujících několika týdnů se vytváří mnohvrstevný epitel. Harris (1985) hojivý proces dělí na několik fází: dediferenciace (24–72 hodin), reorganizace (72 hodin až 1 týden) a diferenciaci (1–6 týdnů). Malé rány jsou zahojeny přesunem epitelu z okolní oblasti. Pro hojení je velice důležité, zda byla poraněna i bazální membrána. Nejhuře bývá postižena při poleptání a popálení rohovky. Regenerace bazální membrány začíná za jeden týden po poranění, nacházíme zde segmenty bazální membrány spojené hemidesmozomy s Bowmanovou membránou. Pro kompletní regeneraci epitelové bazální membrány je třeba až 6 týdnů. V regeneraci epitelu zaujímají zvláštní místo bílkoviny fibronektin a laminin. Jedná se o membránové glykoproteiny, které jsou při regeneraci epitelu uvolňovány z epitelu a urychlují hojivé procesy. Další důležitou bílkovinou urychlující hojení je růstový faktor („eye-derived growth factor“), který urychluje syntézu fibronektinu.

Regenerace endotelu

Při poranění je endotel rychle nahrazen posunem a zvětšením okolních buněk. Experimentálně byla zjištěna mitóza v buňkách po stimulaci endotelu „růstovým faktorem fibroblastů“ (fibroblast growth factor). V případě rozsáhlejšího poranění nastává in-

filtrace endotelu a stromatu polymorfonukleárními leukocyty, posléze se transformují endotelové buňky ve fibroblasty za tvorby vazivové tkáně. Na zánětlivé a regenerační reakci rohovky se významně podílejí i prostaglandiny.

Neovaskularizace rohovky

Při metabolickém stresu, například po poranění, kdy nastává zánětlivá infiltrace rohovky leukocyty a fibroblasty, je metabolismus tkání neadekvátní. Výsledkem je vrůstání novotvořených cév z limbálního plexu. Experimentálně lze vznik rohovkové neovaskularizace způsobit například nedostatkem riboflavinu nebo esenciálních aminokyselin, jako tryptofanu, lysinu nebo methioninu (obr. 3 v barevné příloze).

Zakřivení rohovky není ve všech směrech stejné. Vertikální zakřivení je větší (vertikální průměr je 12 mm) než zakřivení horizontální (horizontální průměr je 11 mm). Také celkový tvar rohovky není zcela pravidelný. Zevní plocha má tvar oválu, kdežto vnitřní plocha má tvar kruhu. Důsledkem těchto nepravidelností je tzv. **fyziologický rohovkový astigmatismus** do 0,5 dioptrie, který je vyrovnán opačným astigmatismem čočky. Přechod mezi sklérou a rohovkou není plynulý, protože oba segmenty oka mají jiný poloměr zakřivení. Mezi více dopředu vystupující rohovkou a bělimou je v místě sklerokorneálního přechodu mělký žlábek (**sulcus sclerae**). Tento prostor není při pohybech víček dostatečně očišťován a představuje tzv. „**mrtvý prostor oka**“, ze kterého se může šířit infekce na rohovku.

1.1.2 Prostřední vrstva

Prostřední vrstva (*tunica vasculosa – uvea*) leží pod vrstvou povrchovou a je poměrně tenká. Je tvořena převážně řídkým vazivem s hojnými pigmentovými buňkami. Obsahuje krevní cévy, ze kterých je zásobována převážná část oční koule. Vzhledem k obsahu pigmentu a mohutným cévám se uplatňuje také jako světelně a tepelně izolační vrstva. V některých jejích částech jsou nakupeny hladké svalové buňky, které se podílejí na regulaci množství vstupujícího světla a mění optickou mohutnost čočky (**akomodace oka**). *Tunica vasculosa* se skládá ze tří oddílů:

- cévnatky (**choroidea**),
- řasnatého tělesa (**corpus ciliare**),
- duhovky (**iris**).

Cévnatka (**choroidea**) představuje nejrozsáhlejší část střední vrstvy stěny oční koule, protože zaujímá její zadní dvě třetiny. Má podobu tenké (0,2–0,4 mm) černohnědé blány, která je bohatá na cévy. Povrchovou stranou se přikládá ke sklěře. Je od ní oddělena vrstvičkou řídkého vaziva (**spatium perichoroideale**), ve které probíhají četné cévy. Dutinová strana cévnatky je hladká a naléhá na ni sítnice. Tato část cévnatky je bohatě pigmentovaná a pohlcuje světelné paprsky, zabraňuje jejich odrazům a přesvětlení oka. Je tvořena sítí kapilár. Cévnatka tak představuje tmavou komoru pro optickou vrstvu sítnice a navíc jsou z kapilární sítě vyživovány pigmentové buňky sítnice, čípky a tyčinky sítnice. Vzadu je v cévnatce otvor, kterým prostupují vlák-

na zrkového nervu, sítnicová tepna a žíla; ten svou lokalizací odpovídá lamina cribrosa sclerae. Přední okraj cévnatky přechází plynule do řasnatého tělesa.

❑ Řasnaté těleso

Řasnaté těleso (**corpus ciliare**) má tvar zřaseného prstence, který je přiložen na vnitřní stranu bělimy a v okolí sklerokorneálního rozhraní s ní srůstá. Na řezu má tvar trojúhelníku. Zadní okraj řasnatého tělesa se ztenčuje a plynule přechází do cévnatky (**pars plana**), směrem dopředu se řasnaté těleso ztlušťuje a spojuje se s duhovkou (**pars plicata**). Dutinová strana řasnatého tělesa se obrací dovnitř oční koule a směřuje k okraji čočky. Z vnitřní plochy řasnatého tělesa vystupují četné paprscitě uspořádané řasy (**processus ciliares majores**), které jsou dlouhé 2–3 mm a vysoké až 1 mm. Ve svém souboru představují tzv. **corona ciliaris**. Směrem dozadu se tyto vysoké řasy vytrácejí a jsou vystřídány jemnějšími řasami (**processus ciliares minores**). Tato zóna řasnatého tělesa (směrem k cévnatce) je označována jako **orbiculus ciliaris**. V pruhu mezi orbiculus a corona ciliaris (**zonula ciliaris**) se připevňují k řasnatému tělesu vlákna závěsného aparátu čočky (**fibrae zonulares**). Výběžky řasnatého tělesa (**processus ciliares**) mají také sekretorickou funkci. Vylučují do zadní komory oční **komorový mok (humor aquosus)**.

Podkladem řasnatého tělesa je **vazivové stroma**, ve kterém jsou uloženy četné hladké svalové buňky tvořící **musculus ciliaris**. Svalové buňky jsou uspořádány radiálně, longitudinálně a cirkulárně. Musculus ciliaris tvoří prstenčitý svěrač, který svou kontrakcí uvolňuje závěsný aparát čočky. Ta svou pružností mění tvar a optickou mohutnost (**akomodace oka**). **Inervaci** musculus ciliaris zajišťují parasymptická vlákna z nervus oculomotorius po přepojení v ganglion ciliare.

❑ Duhovka

Duhovka (**iris**) tvoří nejvíce dopředu vysunutou část prostřední vrstvy oční stěny. Má tvar mezikruží s centrálně uloženým otvorem zvaným zornice. Laterální okraj duhovky (**margo ciliaris**) přechází v řasnaté těleso, mediální okraj (**margo pupillaris**) ohraničuje kruhovitý otvor zornice neboli panenku (**pupilla**). Přední plocha duhovky (**facies anterior**) se obrací proti rohovce, mezi oběma je **přední komora oční (camera bulbi anterior)**. Přední plocha duhovky je podle množství pigmentu individuálně různě zbarvená a podmiňuje „**barvu očí**“. Kruhovitou vlnovitou čarou, která probíhá blíže pupilárního okraje, je přední plocha duhovky rozdělena na dva nestejně velké prstence. Vnitřní prstenec je široký asi 1 mm (**anulus iridis minor**), zevní prstenec (**anulus iridis major**) je větší (3–4 mm široký). Zadní plocha duhovky (**facies posterior**) se obrací proti čočce a představuje přední stěnu zadní komory oční (**camera posterior bulbi**). Na zadní plochu duhovky přechází pigmentová vrstva sítnice (**pars caeca retinae**), která bývá klinicky označována jako **pigmentový list duhovky** a podmiňuje její černé zbarvení. Tento pigmentový list se přetáčí v nepatrném rozsahu přes pupilární okraj duhovky na její přední stěnu a tvoří zouzůčkový černý lem kolem pupily.

Lakuny a krypty duhovky jsou tvořeny řídkým vazivem, ve kterém jsou četné pigmentové buňky (**epithelium pigmentosum**), hladké svalové buňky a síť cév. Hladké svalové buňky jsou uspořádány do dvou systémů:

- Svěrač zornice (**musculus sphincter pupillae**) je tvořen cirkulárně orientovanými svalovými buňkami. Jeho kontrakce způsobuje zúžení pupily (**miosis**) a tím omezení množství světla, které vniká do oka. Sval je inervován parasympatickými vlákny z nervus oculomotorius, která jsou interpolována v ganglion ciliare.
- Rozvěrač zornice (**musculus dilator pupillae**) je tvořen radiálně uspořádanými svalovými buňkami. Při jeho kontrakci se zornice rozšiřuje (**mydriasis**). Je inervován sympatickými nervovými vlákny z krčního sympatiku.

Duhovka plní v oku úlohu **světelné clony**. Podle momentálního množství světla si sítnice prostřednictvím **pupilárního reflexu** mění své osvětlení (**servomechanismus**) tak, aby dosahovalo optimálních hodnot.

Barva duhovky závisí na množství pigmentu. Pokud je pigment jen v sítnici a v duhovce chybí, má duhovka barvu modrou. Podle množství pigmentu ve vlastní duhovce má duhovka barvu šedou až tmavě hnědou. Pokud v celém oku pigment zcela chybí, například u albínů, má duhovka barvu červenou (prosvítají cévy očního pozadí a duhovky). Barva duhovky se během dětství s postupujícím vývojem pigmentace mění (novorozenci mají většinou „modré oči“). Barvy duhovky a typu kresby na přední ploše duhovky se využívá v genetice a v počítačových systémech pro identifikaci osob.

Pupilární vzdálenost (vzdálenost mezi středy obou pupil) má u mužů hodnotu asi 65 mm, u žen asi 62 mm. Tento rozměr má význam pro správné centrování skel při konstrukci brýlí.

1.1.3 Vnitřní vrstva oka

Vnitřní vrstvu oka (**tunica interna** nebo **senzoria bulbi**) tvoří sítnice (**retina**). Vystýlá celou dutinovou stranu oční koule až k pupilárnímu okraji duhovky (tzv. **zadní segment oka**). Svou zevní plochou naléhá na prostřední vrstvu oční stěny a na její vnitřní plochu se přikládá sklivce. Sítnici dělíme na dva stavebně i funkčně odlišné oddíly. Zadní oddíl, který se nalézá v zadní části oční koule za úrovní ekvátoru, tvoří optická část sítnice (**pars optica retinae**), části před ekvátorem se přikládají k vnitřní straně řasnatého tělesa (**pars ciliaris retinae**) a k zadní ploše duhovky (**pars iridica retinae**). Obě posledně uvedené části bývají označovány jako slepá část sítnice (**pars caeca retinae**). V klinické praxi je tato část označována jako **pigmentový list řasnatého tělíska a duhovky**. Pars optica a pars caeca retinae jsou od sebe odděleny nerovnou klikatě probíhající čarou zvanou **ora serrata**.

□ Optická část sítnice

Optická část sítnice (**pars optica retinae**) je funkčně nejvýznamnější vrstvou stěny oční koule. Je to tenká a křehká blána o síle asi 0,1–0,4 mm, která naléhá na cévnatku. Při oftalmoskopickém vyšetření má oranžovou až červenou barvu, která vzniká pro-

svítáním cév cévnatky (obr. 4 v barevné příloze). Na očním pozadí (**fundus oculi**) rozlišujeme několik útvarů. Lehce laterálně proti zadnímu pólu oka leží žlutá skvrna (**macula lutea**) kruhovitého až eliptického tvaru o průměru asi 3 mm. V jejím středu je prohlubeň, která se nazývá **fovea centralis**. Toto místo leží ve vrcholu optické osy oka (**linea visus**) a představuje místo nejostřejšího vidění, protože se do ní promítá **centrální paprsek**. Při oftalmoskopickém vyšetření pomocí osvětlení umělým světelným zdrojem má toto místo ve srovnání s okolní sítnicí sytě červenou barvu, žlutou barvu má pouze na oku mrtvého. V oblasti žluté skvrny jsou nakupeny jen **čípky**, které zde mají největší hustotu.

Mediálně (nazálně) od žluté skvrny ve vzdálenosti asi 4 mm se vyklenuje bělavé políčko, kterým odstupuje z oční koule zrakový nerv (**discus nervi optici** nebo **papilla nervi optici**). Má tvar kruhu o průměru asi 1,5 mm, jehož střed je lehce prohlouben (**excavatio disci**). Discus nervi optici je tvořen neurity multipolárních neuronů z vrstvy nazývané **ganglion nervi optici** a neobsahuje žádné světločivé elementy. Představuje tedy **fyzilogickou slepou skvrnu (macula caeca)**. Ze střední části disku vystupují do sítnice **arteria et vena centralis retinae**, které se na sítnici dále větví: vasa temporalia inferiora retinae, vasa temporalia superiora retinae, které zásobují také oblast žluté skvrny, vasa nasalia inferiora retinae a vasa nasalia superiora retinae. Ke žluté skvrně mohou odstupovat drobné větvičky (**arterioloae maculares**) také přímo z arteria centralis retinae. V prenatalním období odstupuje z arteria centralis retinae větev, která probíhá sklivcem k čočce (**arteria hyaloidea**). V embryonální době slouží arteria hyaloidea k výživě čočky a zaniká před 2. měsícem fetálního vývoje.

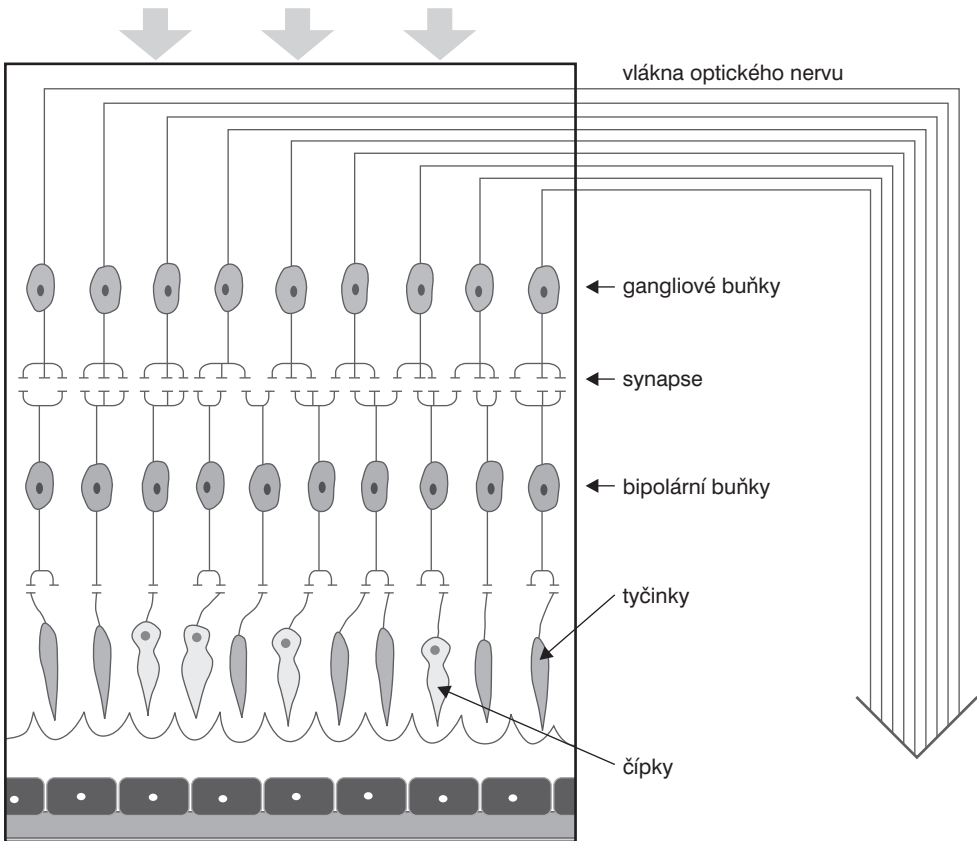
□ Stavba sítnice

Mikroskopická stavba sítnice je velmi složitá, neboť ji tvoří 11 vrstev. Uvedeme proto jen její základní funkční součásti.

Zevní vrstva, která přiléhá k cévnatce, je tvořena jednovrstevným epitelem, jehož buňky jsou „přeplněny“ pigmentem (**pars pigmentosa retinae**). Tato vrstva spolu s pigmentovou vrstvou cévnatky působí jako světelná izolační vrstva, která pohlcuje dopadající světelné paprsky a zabraňuje jejich odrazu uvnitř oka („**černá komora**“). Do pigmentové vrstvy jsou zanořeny světločivé výběžky **smyslových buněk sítnice**.

Vnitřní vrstva obsahuje vlastní primární smyslové buňky (**fotoreceptory**) a **neurony**, které sbírají informace z fotoreceptorů a odvádějí je prostřednictvím zrakového nervu z oka do mozku. Tato vrstva je proto označována jako **pars nervosa retinae**. Smyslové buňky sítnice tvoří ve svém souboru **smyslový epitel oka (stratum neuroepitheliale)**. Smyslové buňky se v sítnici vyskytují ve dvojí podobě: tyčinky (**bacilli**) a čípky (**coni**). Tyčinky registrují množství dopadajícího světla a představují většinu smyslových buněk sítnice, jejich celkový počet je asi 130 milionů. Čípky slouží ke vnímání barev, je jich mnohem méně (asi 7 milionů) a jsou uloženy v macula lutea; zde představují jediný typ smyslových buněk. Jejich vodivé výběžky navazují synapsí na vrstvu drobných **bipolárních neuronů**, které ve svém souboru představují **ganglion retinae**. Na vodivé výběžky bipolárních neuronů navazuje vrstva velkých

multipolárních neuronů, které tvoří **ganglion nervi optici**. Jejich neurity tvoří nejvnitřnější vrstvu sítnice, sbíhají se v discus nervi optici a jako **nervus opticus** vystupují z oka. Uvedené vrstvy (stratum neuroepitheliale, ganglion retinae a ganglion n. optici) tvoří první tři neurony **zrakové dráhy** (viz dále). Mezi uvedenými nervovými buňkami jsou uloženy četné **buňky podpůrné** a drobné **asociační neurony**. Vrstvy sítnice jsou uspořádány tak, že světelný paprsek musí projít celou sítnicí, nežli se dostane ke světločivým výběžkům tyčinek a čípků, proto nazýváme lidskou sítnici inverzním typem sítnice (obr. 5).



Obr. 5 *Stavba sítnice*

Vyšetření očního pozadí nemá význam pouze v očním lékařství, kdy je posuzován vlastní stav sítnice, ale i v dalších klinických oborech. Větve arteria centralis retinae představují jediné cévy lidského organismu, jejichž stěnu a pulzaci lze vyšetřit bez narušení integrity organismu. Vyšetření očního pozadí je proto významné při posuzování nejrůznějších stavů poškození cévního systému. Charakter discus opticus se