

# Biochemie procesu vidění

Viditelné světlo je elektromagnetické záření (400–750 nm). Šíří se prostředím, láme se a absorbuje v různých spektrech. Proniká na sítnici optickým prostředím oka (rohovka – komorová voda – čočka – sklivce). Fotoreceptory sítnice převádějí světelnou energii na pohyb atomů, chemická změna přechází v nervový vzruch šířící se do mozku.

## Světločivné buňky sítnice

Retina se skládá ze vzájemně propojených nervových buněk, jejichž uspořádání umožňuje histologicky rozlišit 10 vrstev, světlo prochází přes horní vrstvy k vrstvě dvou typů světločivných buněk – **tyčinek a čípků**. Jejich rozložení v sítnici není rovnoměrné. Jejich funkce může být porušena, mimo jiné, odchlípením sítnice.

### Tyčinky

Zajišťují vidění i za slabé intenzity světla – **skotopické vidění**. Nerozlišují ale barvy. Co do počtu světločivných buněk tvoří převážnou většinu – 130 mil. Jsou soustředěny více v okrajových částech sítnice. Skládají se z vnitřního a zevního segmentu. **Vnitřní segment** je vysoce metabolicky aktivní, produkuje hojně ATP a bílkovin. **Zevní segment** tvoří hustě na sebe naskládané disky. V jejich membráně se nachází chromofor – **RHODOPSIN** (zrakový purpur) – spektrálně závislý pigment.

- **Rhodopsin** – kovalentně vázaný komplex bílkoviny **OPSINU** a **11-cis-RETINALU** (derivát vitamínu A). Komplex vzniká reakcí aldehydové skupiny retinalu s  $\text{NH}_2$  skupinou lysinového zbytku molekuly opsinu (= Schiffova báze).
- **Opsin** – protein v membráně disku zevního segmentu tyčinky, složený ze 7 šroubovic = 7× prochází membránou, vyčnívá na obě její strany.
- **11-cis-retinal** – nízkomolekulární barvivo, váže se zhruba uprostřed membrány mezi helixy opsinu.

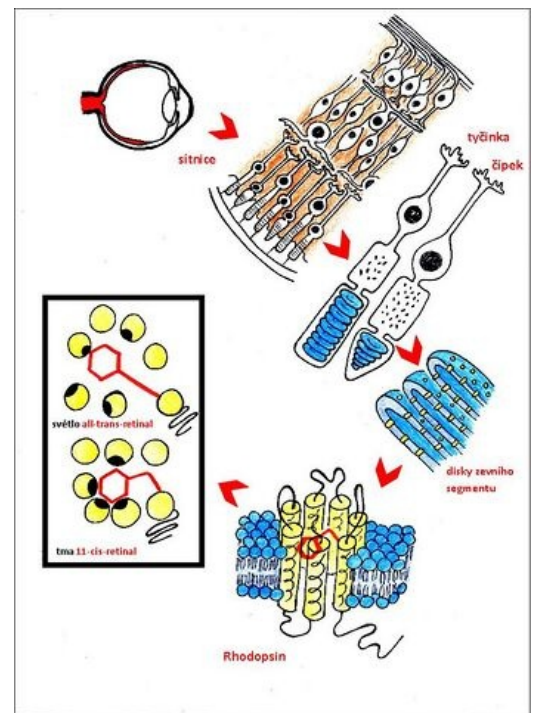
**Ve tmě** do zevního segmentu skrze specifické membránové kanály mohutně pronikají **ionty  $\text{Na}^+$** , sodíková pumpa vnitřního segmentu ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ATPasa) udržuje vysoký koncentrační gradient (výsledný potenciál je asi -40 mV).  $\text{Na}^+$  kanál je udržován otevřený pomocí **cyklického guanosinmonofosfátu (cGMP)**.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Tyčinky.*

### Čípky

Zajišťují vidění za dobrých světelných podmínek – **fotopické vidění**. Vnímají barvy. Je jich téměř 20 krát méně než tyčinek – 7 milionů. Jejich největší koncentrace je v oblasti žluté skvrny. Existuje více teorií vysvětlujících jejich barevnou citlivost. V současnosti je snad nejvíce uznáváno rozlišení čípků na **3 druhy** podle jejich citlivosti k vlnové délce. Obsahují fotopigmenty s různými absorpčními maximy.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Čípky.*



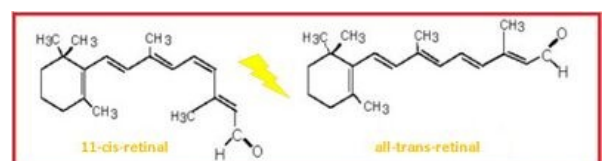
## Chemická podstata vidění pomocí tyčinek

Proces vidění se skládá z kaskády chemických reakcí od dopadu fotonu až po vznik a přenos vzruchu.

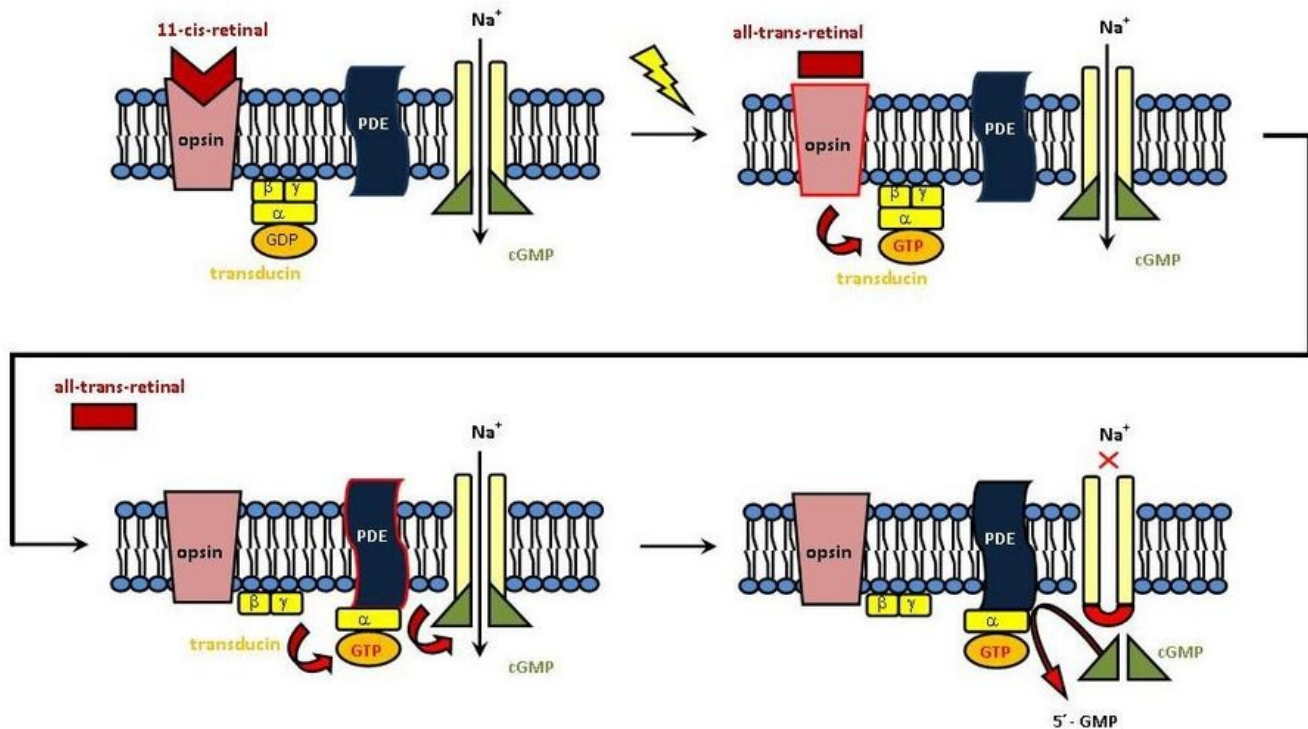
Po dopadu světla na sítnici dochází k jeho **absorpci**. Tyčinky jsou neuvěřitelně citlivé, reagují na dopad jediného fotonu. Absorpce vede k **excitaci** membrány, která se projeví **izomerací 11-cis-retinalu** na **ALL-TRANS-RETINAL**. Dochází tak ke změně jeho geometrie (Schiffova báze s opsinem se posune o 0,5 nm). Energie fotonu se tedy transformovala na pohyb atomů.

Světelná aktivace je velice rychlá a přitom složitá. Během milisekund proběhne řada fotochemických reakcí, jejichž meziprodukty (bathorhodopsin, lumirhodopsin, metarhodopsin I, metarhodopsin II) vykazují různá maxima od 500 do 380 nm.

Následujícím důsledkem dopadu fotonu je **odpoutání barviva od bílkoviny**. Trans-izomer už nezapadá do vazebného místa. Rhodopsin se tak rozpadá na opsin a all-trans-retinal. Takto aktivovaný rhodopsin dále **aktivuje G-protein TRANSDUCIN**. Kaskáda pokračuje aktivací **FOSFODIESTERÁZY (PDE)**, která **hydrolyzuje** cGMP na **NECYKlický 5'-GMP**. Původně otevřený **kanál pro  $\text{Na}^+$  ionty se uzavírá**, tok iontů se zastaví. Následkem je **HYPERPOLARIZACE** membrány, stává se negativnější (hyperpolarizace je zde



pouze -35mV, protože klidový membránový potenciál je zde -30 mV ). Hyperpolarizace se šíří k synapsi, čímž umožňuje přenos vzruchu dál po zrakové dráze. Od gangliových buněk signál pokračuje jako depolarizace. Hodnota hyperpolarizace závisí na intenzitě osvětlení. Signál vyslaný z jednoho fotonu se navíc hyperpolarizací značně zesílí – amplifikuje.



**Ve tmě** se trans izomer znovu převádí na 11-cis-retinal (retinal izomeráza), znovu se vytváří komplex opsin+11-cis-retinal, po dalším ozáření se proces opakuje = **Waldův cyklus**.

Tento cyklický proces se ale komplikuje **reakcemi mimo sítnici**. Uvolněný trans-retinal se zčásti přenáší krví do **jater**, kde se **hydrogenuje** na alkohol **TRANS-RETINOL** a **izomeruje** na **CIS-RETINOL**, ten se krví dostává zpět do sítnice, kde se musí **oxidovat** na 11-cis-retinal. Přenos krví je umožněn navázáním na transportní protein **retinol-binding protein (RBP)**.

Jak z předešlého textu vyplývá je pro správnou funkci sítnice zapotřebí dostatek vitamínu A (retinolu) a jeho provitaminu β-karotenu.

## Chemická podstata vidění pomocí čípků

V pochodu barevného vidění pomocí čípků jsou reakce po dopadu fotonů v podstatě stejné jako v tyčinkách. Aktivovaný rhodopsin v čípcích aktivuje transducin, fosfodiesteráza konvertuje cGMP na 5'-GMP, uzavrou se Na<sup>+</sup> kanály – vyvolá se hyperpolarizace. **Barevné vidění je podmíněno přítomností tří druhů čípků**. Chromofor je stejný jako v tyčinkách – 11-cis-retinal schopný izomerace. Jejich fotoreceptory mají ale nepatrně **odlišnou bílkovinu** (fotopsin), způsobující **rozdíly v absorpci**. Absorbují vlnové délky světla s různými maximy:

- **modrý 440 nm;**
- **zelený 535 nm;**
- **červený/žlutý 565 nm.**

Vjem ostatních barev by měl vznikat na základě kombinací a intenzity podráždění těchto tří druhů čípků.

## Adaptace

### Adaptace na tmu

Při přechodu ze světla do tmy se mění funkce sítnice, přechází od vidění fotopického ke skotopickému – **vzrůstá citlivost ke světlu**, zcitlivuje se syntézou (zvýšením koncentrace) rhodopsinu. Než se proces rozběhne naplno trvá to desítky minut až hodiny. Při náhlém snížení intenzity osvětlení je proto vidění sníženo až znemožněno. Dokonalá adaptace trvá **až 60 minut**. Nutný je dostatek vitamínu A.

Funkce čípků je potlačena, přestáváme vidět barvy. Maximum spektrální citlivosti oka se během adaptace posouvá z oblasti 550 nm ke kratší vlnové délce do oblasti okolo 505 nm, tato vlnová délka odpovídá maximální spektrální citlivosti rhodopsinu. Barvy krátkovlnného spektra se tedy jeví za tmy světlejší než barvy dlouhovlnné – **Purkyňův jev**.

### Adaptace na světlo

Při vstupu ze tmy do světla se musí tyčinky z činnosti vyřadit, čípky se ale adaptují poměrně rychle, intenzivnímu světlu se oko přizpůsobí do 3 minut.

# Poruchy fotoreceptorů sítnice

**Retinitis pigmentosa** – mutace genu pro rhodopsin, dědičné, světločivné buňky odumírají, vede až k slepotě.

**Avitaminóza A** – nejen omezuje regeneraci rhodopsinu – šeroslepost, způsobuje morfologické změny až zničení

receptorů. **Daltonismus** – deficit fotoreceptorové bílkoviny absorbující zeleň nebo červen, častý výskyt (1-2 %

populace). **Protanopie** – porucha vidění červené barvy. **Deuteranopie** – porucha vidění zelené barvy. **Tritanopie** – porucha vidění modré barvy.

## Odkazy

### Související články

- Tyčinky
- Čípky
- Oko (biofyzika)/Princip vidění
- Sítnice

### Použitá literatura

- AUTRATA, Rudolf a Jana VANČUROVÁ. *Nauka o zraku*. 1. vydání. Brno : Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. 226 s. ISBN 80-7013-362-7.
- LEDVINA, Miroslav, Alena STOKLASOVÁ a Jaroslav CERMÁN. *Biochemie pro studující medicíny : II. díl*. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0850-2.