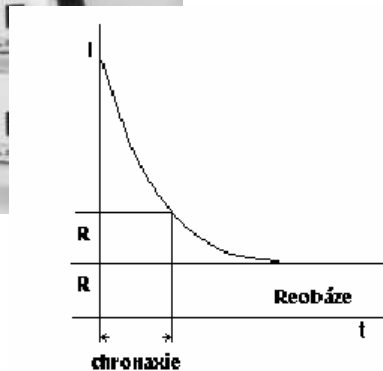
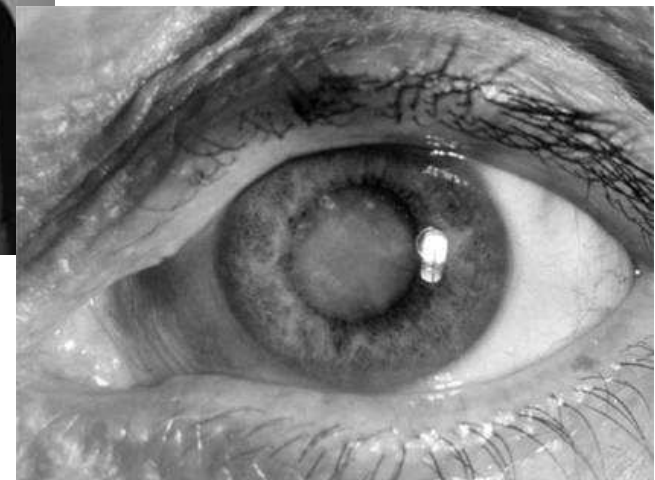
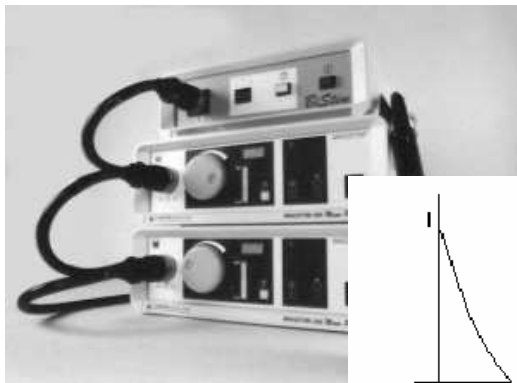


Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně



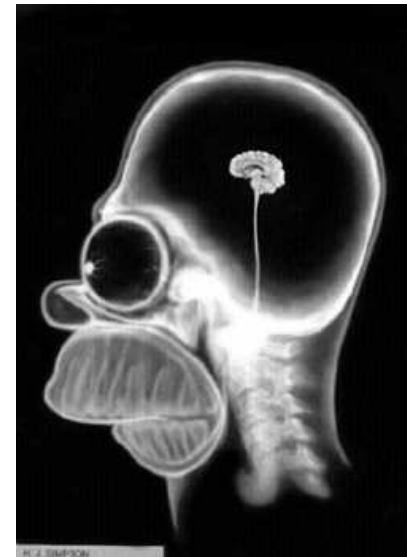
Biologické účinky elektrického proudu, elektromagnetických polí a neionizujícího záření

Předpoklady

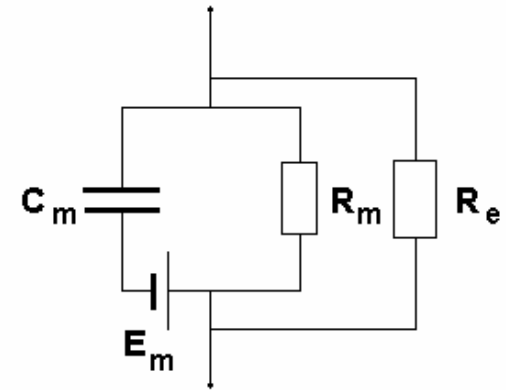
Zákony elektrostatiky a
elektrodynamiky

Teorie elektromagnetismu

Spektrum
elektromagnetického
záření



Vedení elektrických proudů ve tkáních



- Průchod proudu lidským tělem se řídí Kirchhoffovými zákony. Tkáňový odpor je proměnlivý. Nositeli proudu jsou **ionty**.
- Můžeme rozlišit dva typy elektrické vodivosti tkáně. Cytoplasma a mezibuněčné prostředí se chová jako vodič druhého řádu, jehož rezistance nezávisí na frekvenci. Membránové struktury mají kapacitní vlastnosti, **impedanci** Z , v níž se uplatňuje rezistance R a kapacitance X_C :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Měrný odpor tkání

<i>Tkáň</i>	<i>Měrný odpor [Ωm]</i>
cytoplasma buněk	1
tělesné tekutiny	0,8 - 1,3
svalová tkáň	3
parenchymatózní orgány	4 - 6
tuková tkáň	10 - 15
kostní tkáň	30

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow \rho = \frac{R \cdot S}{l} [\Omega \cdot m]$$

Polarizace tkáně

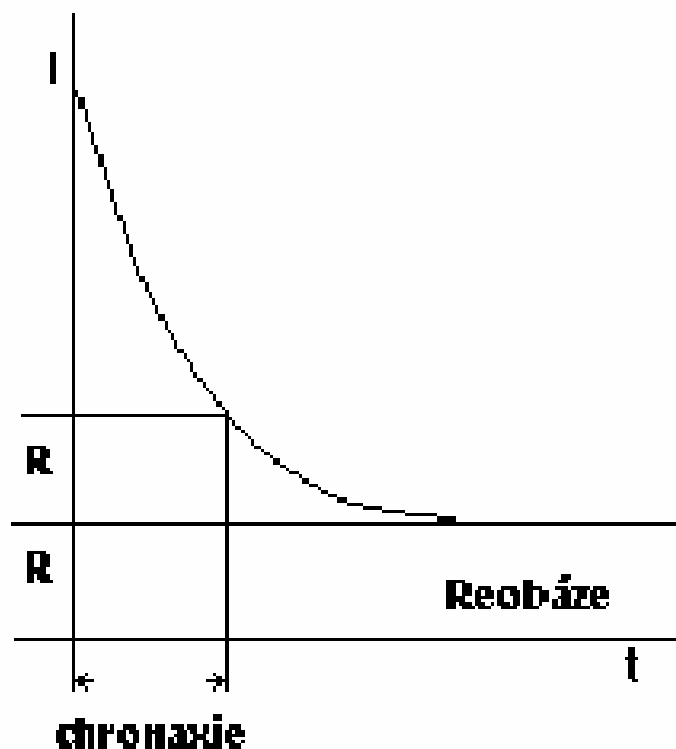
- Ve tkáních nejsou všechny náboje volné, často jsou vázány na makromolekuly, které jsou integrální součástí buněčných struktur a mají omezenou pohyblivost. Makromolekuly se chovají jako **elektrické dipóly** - různě orientované - jejich dipólové momenty se navzájem ruší.
- Působením zevního elektrického pole se dipóly orientují podle elektrického pole - dochází k jejich **polarizaci**. Vzniká vnitřní elektrické pole opačné polarity, a tím dochází ke snížení intenzity zevního elektrického pole. Natáčením polárních molekul vzniká **posuvný proud**. Mírou schopnosti látky vytvářet posuvný proud je **permitivita ϵ** .

Elektrická dráždivost

- Dráždivost je obecnou vlastností živých systémů. U savců je nejvýraznější u tkáně nervové a svalové. **Elektrická dráždivost** - schopnost tkáně reagovat na elektrické podněty. Stejnosměrný proud má dráždivé účinky jen při náhlé změně
- Podráždění je jev prahový, nastává až při dosažení určité prahové intenzity - **reobáze**.
- Pro kvantifikaci dráždivosti je důležitější časový faktor: **Chronaxie** - doba potřebná k vyvolání podráždění při intenzitě proudu rovné dvojnásobné reobázi.
- Každý kosterní sval má charakteristickou chronaxii, podle jejíž změny lze určit stupeň postižení dráždivosti a tím i stupeň postižení svalu.

Reobáze a chronaxie – I/t křivka

Nejkratší chronaxii mají kosterní svaly (< 1 ms), srdeční sval (5 ms), nejdelší chronaxii hladké svaly (50-700 ms). Chronaxie se odečítá z tzv. I/t křivky, závislosti intenzity proudového impulsu na jeho trvání.



Elektrotonus, elektrokinetické jevy

- Nepřerušovaný = proud podráždění nezpůsobuje, může však vyvolat jeho změny. Toto působení = proudu se nazývá **elektrotonus**.
 - V oblasti katody (-) dochází k zvýšení dráždivosti motorických nervů. Tento stav se nazývá **katelektrotonus**.
 - V oblasti anody (+) je snížena dráždivost senzitivních nervů - **anelektrotonus**.
 - Využití při elektroterapii.
- **Elektrokinetické jevy** – pohyb iontů či rozpouštědla v elektrickém poli
 - elektrokinetický potenciál ζ (zéta).
 - Elektroforéza
 - elektroosmóza

Frekvenční závislost dráždivých účinků

- U velmi nízkých frekvencí (< 100 Hz) se dráždivý účinek zvyšuje lineárně s frekvencí. U vyšších frekvencí se nárůst dráždivého účinku zpomaluje a přechází v pokles. V rozmezí 500 - 3000 Hz závisí prahová hodnota dráždivého proudu na \sqrt{f} . Nad 3000 Hz dráždivý účinek klesá a při 100 kHz zcela ustává.
- Vf proudy nemají dráždivé účinky, protože délka trvání impulsu je kratší než nejkratší chronaxie. Nemají ani elektrochemické účinky.

Tepelné účinky vf proudů

- Mechanismus účinku vf proudů spočívá v přeměně absorbované elektrické energie v teplo Q dle Jouleova zákona:

$$Q = U \cdot I \cdot t$$

kde U je napětí, t je doba průchodu proudu I . Mechanismus vzniku tepla závisí na způsobu aplikace vf proudů.

- Při kapacitním způsobu dochází k **dielektrickému ohřevu** v důsledku ztrát v dielektriku.
- Při indukční aplikaci vzniká teplo v důsledku indukovaných tzv. **vířivých proudů**.

Úrazy elektrickým proudem

- Účinky ~proudu (zvláště 50Hz) jsou závažnější než účinky =proudu. Nebezpečí úrazu u vf proudů nad 10 kHz je malé.
- Nebezpečí úrazu závisí na U zdroje, na vnitřním R zdroje a na R těla. Zdroje s velkým vnitřním R (např. obrazovky) nemusí být nebezpečné, protože zkratový proud je velmi nízký.
- **Hlavní nebezpečí představuje rozvodná síť a zdroje s malým vnitřním R . Ve vlhku se snižuje kožní odpor a nebezpečí úrazu roste.**
- Nebezpečný je tzv. dvoupólový dotyk, kdy je do obvodu zařazen jen odpor lidského těla mezi místy dotyku.
- U jednopólového dotyku hraje důležitou roli izolace vůči zemi (obuv).
- Nejcitlivější je mozek, dýchací ústrojí (zvláště centra řídící dýchání a dýchací svaly) a srdce.

Úrazy elektrickým proudem

- Hodnota bezpečného proudu, který může bez ohrožení zdraví procházet tělem, je u \sim proudů do 1 kHz asi 10 mA, u $=$ proudu asi 25 mA.
- Mezní hodnota \sim proudu, při níž je možno se odtrhnout od rukou sevřeného vodiče je asi 20 mA.
- Proudů do 25 mA mohou způsobit zástavu dýchání, proudy vyšší (25 - 80 mA) vyvolávají reverzibilní zástavu srdeční činnosti s nebezpečím úmrtí. Nad 80 mA stoupá počet smrtelných úrazů
- Proudů kolem 1A mají již zcela ireverzibilní následky.
- K podráždění svalů el. proudem je nutné, aby proud probíhal ve směru svalového vlákna. V srdci svalová vlákna probíhají všemi směry, takže při průchodu proudu je vždy postižena jen jejich část. Důsledkem jsou nekoordinované stahy myokardu (extrasystoly), při vyšších hodnotách proudu (100-200 mA) kmitání (fibrilace) srdečních komor.

Také aplikace

- Elektrické křeslo:
- Stovky až tisíce voltů
- Jednotky až desítky ampérů



Účinky magnetických polí

- Základní pojmy: mg pole statická, střídavá a pulsní. Dle rozložení pole v prostoru rozlišujeme mg pole homogenní a nehomogenní.
- **Magnetická indukce** B závisí na intenzitě mg pole H (obě veličiny jsou vektorové) a na *magnetické permeabilitě* μ :

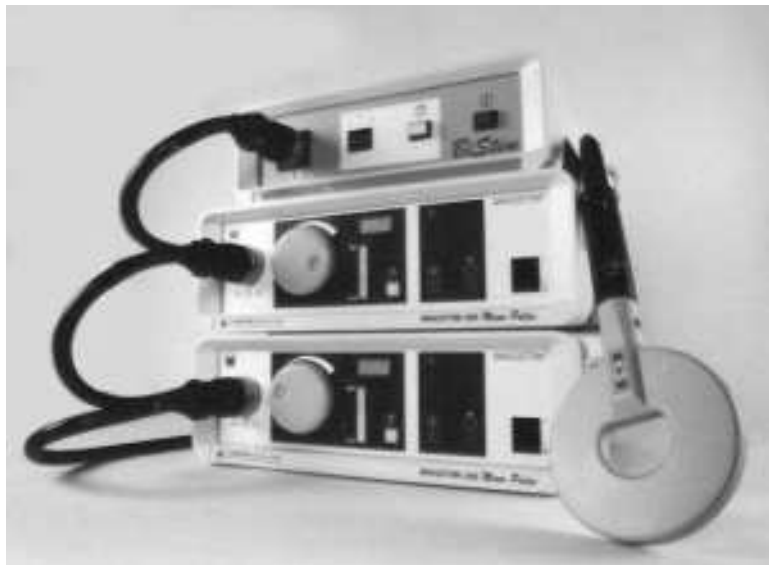
$$\mathbf{B} = \mu \cdot \mathbf{H} \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

- **Ferromagnetické látky** - $\mu_r \gg 1$.
- **Diamagnetické** - μ_r je nepatrně nižší než 1
- **Paramagnetických** - μ_r je nepatrně vyšší než 1.
- Tkáně lidského těla jsou složeny téměř výhradně z látek diamagnetických a paramagnetických. Důsledkem mg indukce je ve vodivém prostředí vznik elektrických napětí a proudů (působením Lorentzovy síly u pohybujících se elektrických nábojů, nebo Faradayových proudů u nestatických mg polí). Indukovaná napětí jsou však podstatně nižší než membránová napětí. Možnost ovlivnění membránových receptorů indukovaným napětím?

Magnetomechanické a magnetochemické účinky

- V silném homogenním mg poli se **orientují** diamagnetické a paramagnetické molekuly, aby minimalizovaly své volné energie. V nehomogenních polích s vysokými gradienty dochází k translačnímu **pohybu** ferromagnetických látek (u živých organismů zanedbatelné). Silné mg pole (cca $10^6 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$) snižuje průtok laminárně proudící kapaliny v trubici.
- Dále je nutno uvažovat i působení nepřímé, přes volné radikály, vznikající jako důsledek **magnetochemických reakcí**.
- Lze říci, že stálé mg pole vyšších intenzit metabolické pochody tlumí, proměnné mg pole stimuluje. Tyto změny jsou přechodné.
- Interakcí magnetických polí s lidskými tkáněmi se využívá diagnosticky i léčebně. Diagnostickou metodou je MRI a, léčebnou **magnetoterapie**. **Magnetickou stimulaci mozku** lze využít k účelům diagnostickým i terapeutickým

Magnety v medicíně



Magnetoterapie

Transkraniální magnetická
stimulace

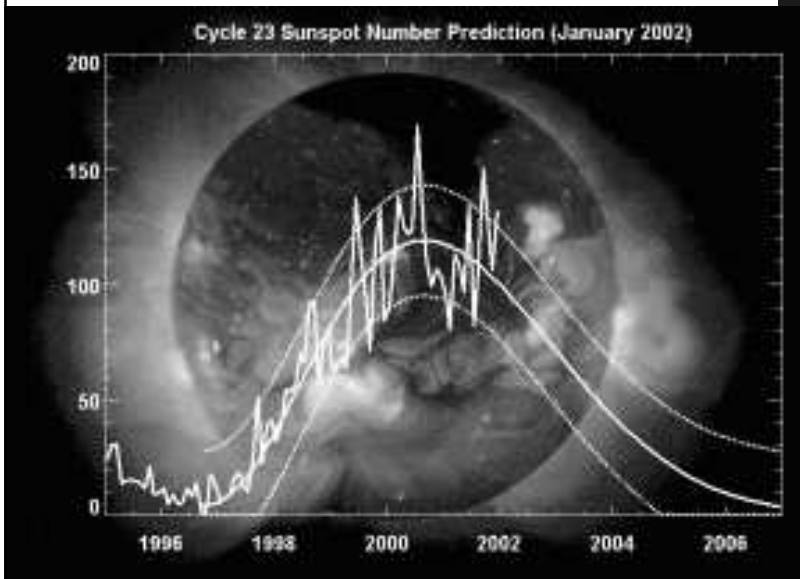
Světelné záření

- - **ultrafialové (UV)** 1- 380 nm: **UV-A** 380 - 315 nm
- **UV-B** 315 - 280 nm
- **UV-C** 280 - 190 nm
- - **viditelné (VIS)** 380 - 780 nm
- - **infračervené (IR)** 0,780 - 1 mm: **IR-A** 0,76 - 1,4 μm
- **IR-B** 1,4 - 3,0 μm
- **IR-C** 3,0 μm - 1,0 mm
- Ultrafialová oblast začíná z hlediska praktického až vlnovou délkou 190 nm. Spektrální oblast 1 - 190 nm je tzv. vakuové UV záření. Je absorbováno vzduchovou vrstvou a nemá proto přímé biologické účinky.

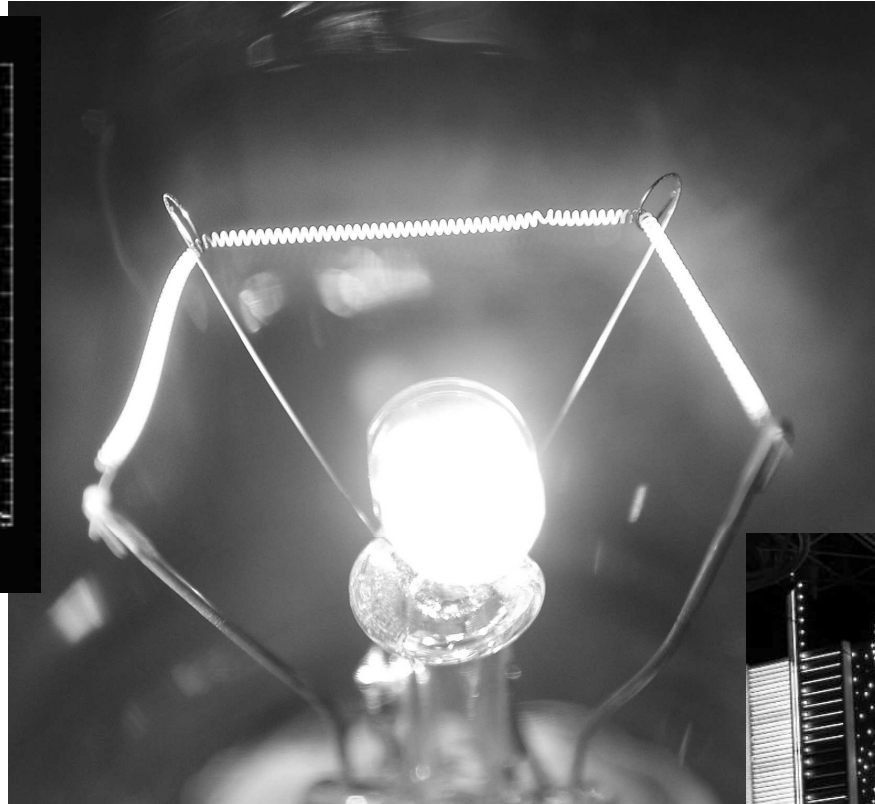
Zdroje záření

- Jediným významným přirozeným zdrojem je **Slunce**.
- Ostatní zdroje jsou umělé a každý z nich pokrývá jen část optického spektra:
 - **Teplotní.** Vlnová délka záření závisí na teplotě zdroje, jeho spektrum je spojitě. Teplotním zdrojem je každé těleso, jehož teplota je vyšší než 0 K. Žárovky a různé zdroje sálavého tepla.
 - **Luminiscenční.** Využívají excitačních pochodů v atomech a molekulách. Spektrum těchto zdrojů může být čárové. Patří sem zářivky a různé druhy výbojek.
- Oba tyto druhy zdrojů vysílají nekoherentní záření.
- Jediným umělým zdrojem koherentního záření jsou v současné době **lasery**.

Zdroje viditelného světla



science.nasa.gov/headlines/y2002/18jan_solarback.htm



Molekulové mechanismy biologického účinku světla

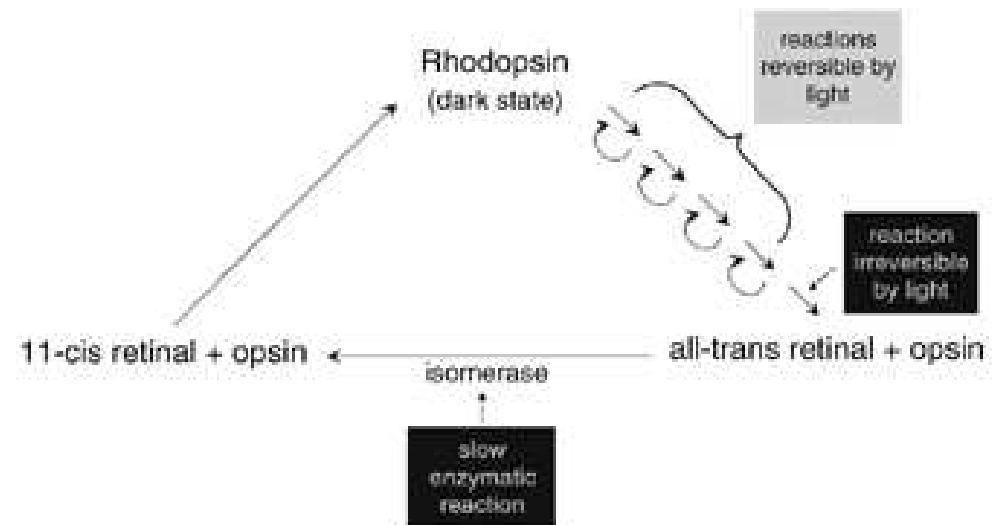
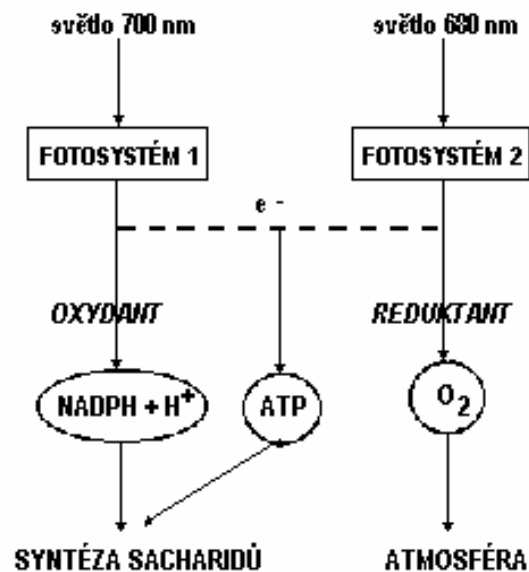
- Energie **izolovaného atomu** závisí na jeho elektronové konfiguraci. Dodání energie způsobí přeskok elektronu na vyšší energetickou hladinu (ΔE_e) - vzniká excitovaný stav. Absorpční spektrum je nespojité. K excitaci dochází především ve valenční sféře.
- Energetický stav ΔE **izolované molekuly** je v zásadě dán součtem energie elektronů ΔE_e odpovídající elektronové konfiguraci, energie vibrační ΔE_v a energie rotační ΔE_r . Všechny 3 druhy energie jsou kvantované:

$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_v + \Delta E_r$$

- Účinek záření závisí na energii fotonů. Nejnižší mají fotony IR-C, odpovídá pouze rotační energii molekul. Energie fotonů IR-B a IR-A může ovlivňovat současně stav vibrace i rotace molekuly. Energie fotonů VIS a UV může ovlivňovat stavy rotace, vibrace i elektronové konfigurace.

Účinky viditelného světla

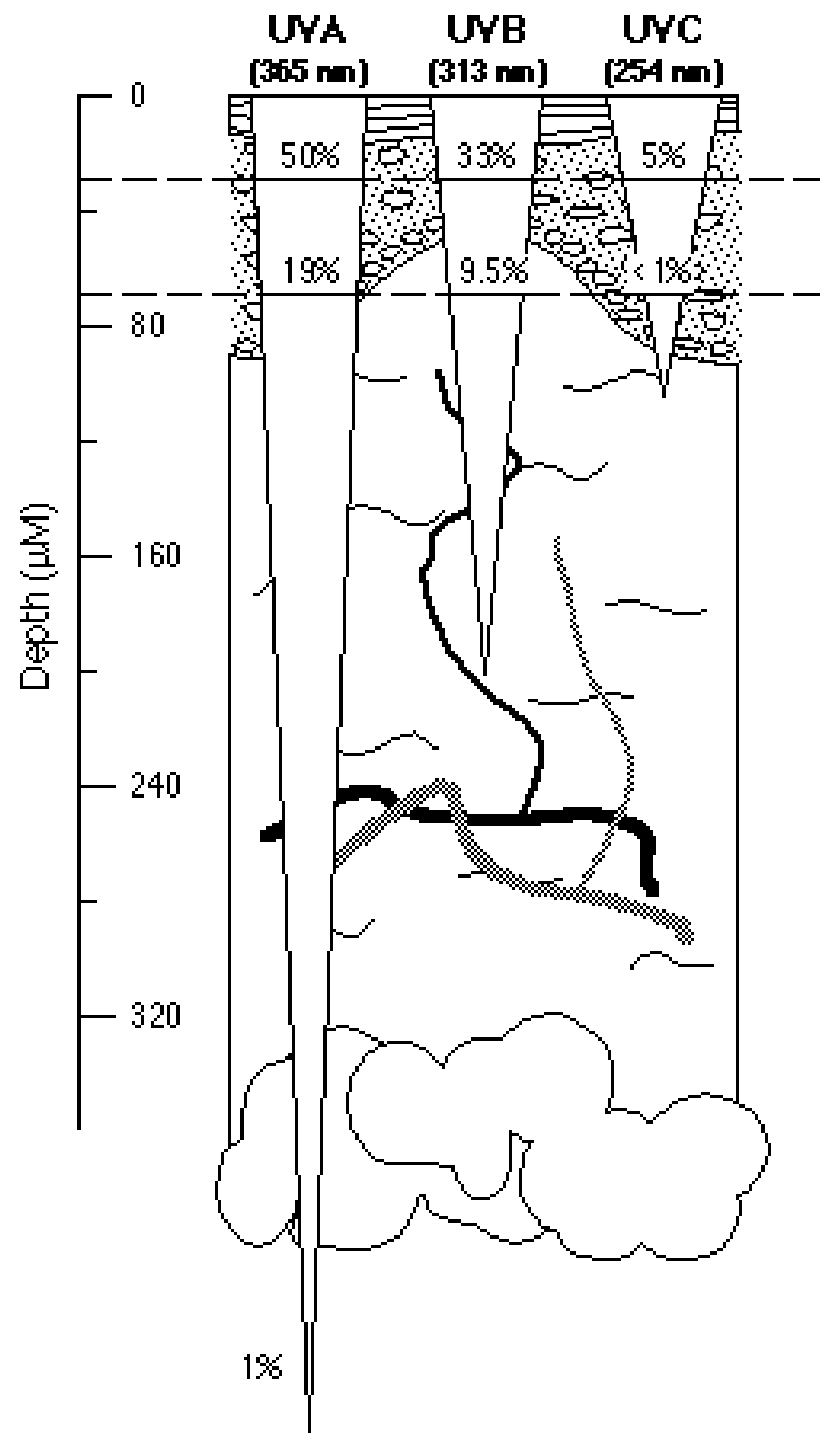
- Fotosyntéza → biochemie
- Fotorecepce → biofyzika zrakového analyzátoru



Účinky ultrafialového záření

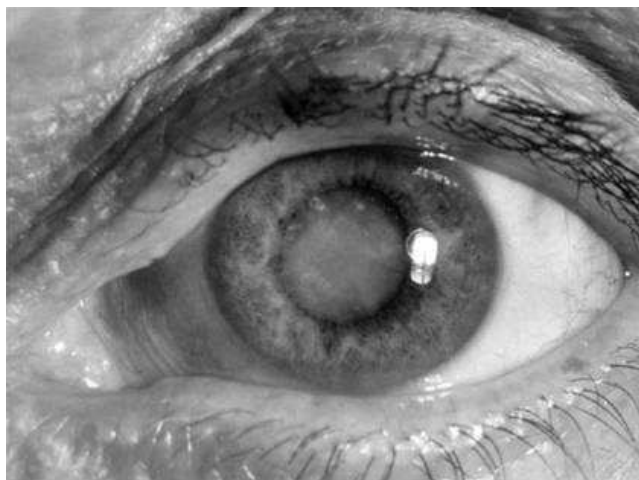
- Z biogenních látek jsou vůči UV záření nejcitlivější **organické sloučeniny nenasycené** s konjugovanými dvojnými vazbami.
- V bílkovině jsou vůči UV záření citlivé některé aminokyseliny, především tyrosin a tryptofan. (abs. maximum kolem 280 nm).
- U NK jsou na UV záření citlivé především N-báze. Absorpce je podstatně vyšší než u bílkovin a pohybuje se v oblasti 240-290 nm.
- UV záření proniká jen povrchově
- Účinek na kůži se projeví zčervenáním – **erytémem** - následovaným melaninovou **pigmentací** ⇒ ochranný mechanismus proti dalšímu ozáření. Dalším biologickým účinkem UV je **syntéza vitamínu D**, který řídí metabolismus Ca a P, jeho nedostatek způsobuje křivici (*rachitis*). Nelze vyloučit kancerogenní účinek, téměř 90% kožních nádorů se vyskytuje na nekrytých místech kůže.

Pronikání UV záření



Účinky ultrafialového záření

- Účinek na oko: blefarospasmus (sevření víček) vzniká v důsledku poškození rohovky UV zářením. ⇒ ochranné brýle.
- UV-C o vlnových délkách pod 280 nm má výrazné **baktericidní účinky**. ⇒ sterilizace mikrobiologických a virologických boxů, operačních sálů apod.

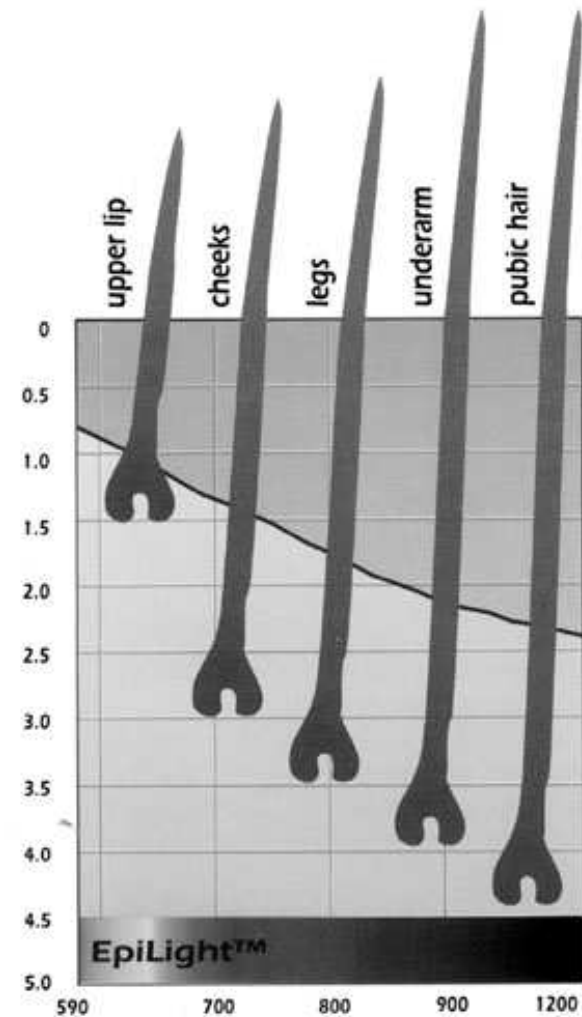


Účinky infračerveného záření

- Všechna tři pásma IR záření mají **účinky tepelné**.
 - Pásmo IR-A je obsaženo ve slunečním světle. Prochází sklem a je málo absorbováno vodou.
 - Záření IR-B vyzařují žárovky a výbojky. Prochází sklem, ale je silně pohlcováno vodou.
 - Zdrojem záření IR-C jsou topná tělesa. Je pohlcováno jak sklem tak vodou.
- Většina IR záření je pohlcována pokožkou. Dochází k místní vasodilataci a **tepelnému erytému**, který má skvrnitý charakter a od erytému vyvolaného UV zářením se liší krátkou dobou trvání a velmi malou pigmentací. Ozáření IR zářením však zvyšuje citlivost kůže k účinku UV záření.
- Dlouhodobá expozice očí IR záření u některých profesí (foukači skla, slévači, hutníci) vedla v minulosti často ke vzniku tzv. **žárové katarakty**, což je zákal oční čočky vyvolaný tepelnými účinky.

- Snížení intenzity světla na 35 % původní hodnoty

- <http://www.depilazione.net/news4.htm>

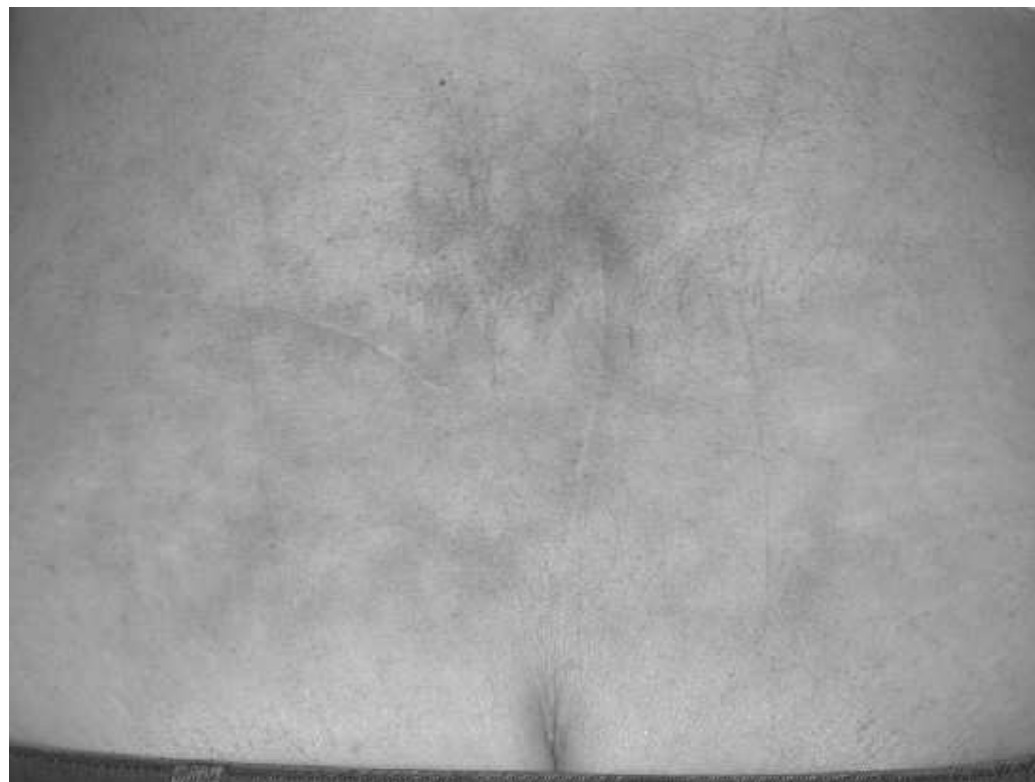


Účinky infračerveného záření

- tepelný erytém – erythema ab igne, vznikl v souvislosti s nadměrným používáním elektrické podušky

-

<http://dermatlas.med.jhmi.edu/derm/Display.cfm?ImageName=EAB>



Souhrn

CIE band	UV-C	UV-B	UV-A	VISIBLE	IR-A	IR-B	IR-C
	100	280	315	400	700	1400	3000
Adverse Effects	Photokeratitis				Retinal Burns	Corneal Burns	
	Cataracts					Cataracts	
	Erythema				Colour Vision Night Vision Degradation		
				Thermal Skin Burns			

Účinky mikrovln a radiofrekvenčního záření

- Převážně tepelné, nespecifické, viz též účinky vf proudů
 - Mikrovlnné zdroje
 - Radary
 - Mobilní telefony
 - Rozhlasové a televizní vysílače
 - Elektrické rozvodné sítě
 - Troleje
- Studie poukazující např. na kancerogenní účinky se ukazují jako málo průkazné, přesto by se expozice měly omezovat.

Καλή όρεξη!

