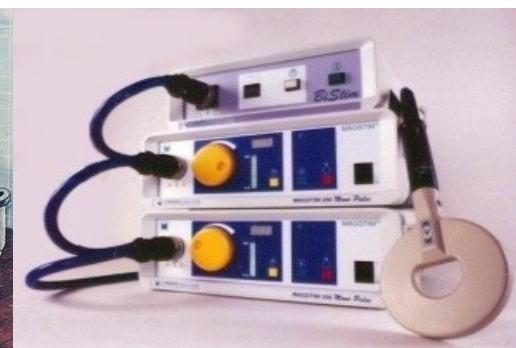




Přednášky z lékařské biofyziky

Fyzikální terapie a nežádoucí účinky některých fyzikálních faktorů



Hubbard Hydrotherapy Tank,
Carlos Andreson,
Watercolour, 1943

Obsah přednášky

Hlavní metody fyzikální terapie:

Terapie mechanickým působením

Neelektrická léčba teplem – (ohřívání a ochlazování, vodoléčba)

Elektroterapie

Léčba ultrazvukem

Magnetoterapie

Fototerapie

Průběžně se zmiňujeme i některých nežádoucích účincích fyzikálních faktorů, které jinak nacházejí uplatnění ve fyzikální terapii. V některých případech jde o rizika fyzikální léčby, jindy i rizika diagnostiky.

Terapie mechanickým působením - příklady

Masáže – ruční a strojové
Změny v krevním oběhu, svalová
relaxace



Rehabilitační tělocvik

Zvyšování tělesné síly a pohyblivosti,
psychické účinky, zlepšení držení těla



Léčba teplem (termoterapie)

Působení tepla je (z hlediska biofyziky) zásahem do termoregulace. Teplo může být do organismu dodáváno (**pozitivní termoterapie**), nebo z něj odebíráno (**negativní termoterapie**).

Odpověď organismu závisí na:

- **Způsobu aplikace** – vedením, prouděním nebo zářením (viz elektroterapie a fototerapie)

- **Intenzitě, pronikavosti a době trvání tepelného podnětu**. Neelektrická termoterapie vyvolává zejména změny teploty povrchu těla (do hloubky 2 – 3 cm), pomocí elektroterapie můžeme prohřívát hlouběji uložené tkáně.

- **Velikosti a geometrii aplikační oblasti** v případě **místní aplikace**: Teplota tkáně se zvyšuje, jestliže množství tepla přijímaného převažuje na množství tepla odevzdávaného. Válcovité části těla se zahřívají rychleji při malém poloměru. Uvažujeme-li pouze vedení tepla, **tepelný odpor tkáně** roste lineárně s tloušťkou vrstvy tkáně. Ve válcovitě tvarovaných tkáních roste nelineárně.

- **Na zdravotním stavu pacienta (jeho termoregulační schopnosti)**.

Léčba teplem (termoterapie)

V termoterapii se používají tyto **zdroje** tepla:

a) Vnitřní (teplo si vytváří organismus sám)

b) Vnější. Podle vzniku a přenosu tepla se

Teploléčebné metody dělí do pěti hlavních skupin založených na:

- Vedení tepla (kondukci)
- Proudění tepla (konvekci)
- Sálání (radiaci)
- Vysokofrekvenčních elektrických proudech
- Tepelných účincích ultrazvuku

Vedení tepla

Hlavně **zábaly a obklady**. Podle velikosti pokryté části těla se dělí na celkové nebo částečné, podle teploty na **teplé, indiferentní** nebo **chladné**, a dále na vlhké nebo suché.

Obklady mohou být suché (přikrývky, láhve), **peloidové (bahenní)** a **parafínové**. Jejich teplota se pohybuje od 45 do 55 °C (suché obklady), od 60 do 77 °C u obkladů parafínových.



Proudění tepla – vodoléčba (hydroterapie)

Hydroterapie zahrnuje tepelné i mechanické účinky (vztlak, hydrostatický tlak, pohyb vody). Působí především na kardiovaskulární systém, vegetativní nervstvo a psychiku. Teplo napomáhá relaxaci svalů, omezuje bolest, urychluje resorpci otoků. Procedury se liší **způsobem přenosu tepla, poměrem vedení a proudění** a mírou **homogenity** tepelného toku:

studené (do 18 °C), **chladné** (18 – 24 °C), **vlažné** (24 – 33 °C), **teplé** (33 – 36 °C) nebo **horké** (37 – 42 °C).

Nebo: hypotermické (10 - 34 °C, 5 min.), **izotermické** (34 - 36°C, 20 - 30 min), **hypertermické** (37 - 42°C, krátké trvání).

Účinek celotělové koupele je dán především povrchovou teplotou těla. Po ponoření je povrch těla vystaven skutečné teplotě prostředí, dokud nedojde k vytvoření tepelné rovnováhy v několik mm silné vrstvě vody a nezačne působit **efektivní teplota koupele**. Narušování této vrstvy zabraňuje ustálení efektivní teploty, a proto se nemá pacient v lázni pohybovat.

Vířivé koupele, podvodní masáže, skotské stříky



Pro horní a dolní končetiny se používají mírně hypertermické vířivé koupele – zvyšují prokrvení a metabolismus, aktivují kožní receptory

Skotské stříky: Střídavé aplikace ostrých horkých a studených vodních proudů - metoda s výborným aktivačním účinkem.



Sauna



Účinek horkého vzduchu (80 - 100°C) o nízké relativní vlhkosti (10-30%), následovaný ochlazením v chladné vodě. Výborný tonizující účinek. Parní lázeň: kolem 45°C, vlhkost až 100%.

Kryokomory (sauna naruby)



Působení suchého velmi chladného vzduchu (do -160°C) po dobu několika minut, následované aerobním cvičením

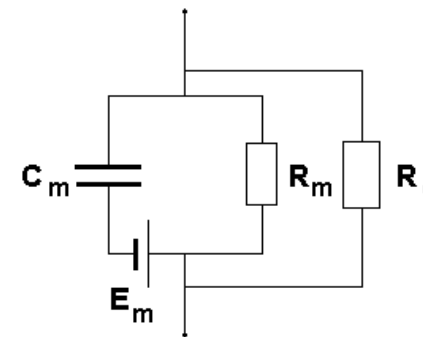


Elektroterapie

Elektroterapeutické metody využívají

- Stejnoseměrného elektrického proudu (galvanoterapie, iontoforéza)
- Nízkofrekvenčního střídavého proudu nebo krátké impulsy stejnosměrného proudu (stimulace)
- Vysokofrekvenční střídavé proudy (diatermie)
- Vysokofrekvenční elektromagnetické záření (diatermie)

Vedení elektrického proudu ve tkáních



Průchod elektrického proudu lidským tělem se řídí Kirchhoffovými zákony. Tkáňový odpor se ale mění v čase. Nosiči proudu jsou **ionty**.

Můžeme rozlišit dva druhy elektrické vodivosti tkání. Cytoplazma a mezibuněčné prostředí se chovají jako vodiče, jejichž odpor nezávisí na frekvenci. Membránové struktury mají vlastnosti kondenzátorů, tj. jejich **impedance** Z závisí na frekvenci:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Měrný elektrický odpor ρ tkání

| Tkáň | Měrný odpor [$\Omega \cdot m$] |
|------------------------|----------------------------------|
| Cytoplasma buněk | 1 |
| Tělesné tekutiny | 0,8 – 1,3 |
| Svalová tkáň | 3 |
| Parenchymatózní orgány | 4 - 6 |
| Tuková tkáň | 10 - 15 |
| Kostní tkáň | 30 |

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

Polarizace tkáně

Elektrické náboje přítomné ve tkáních nejsou vždy volné, často jsou vázány na makromolekuly, které jsou integrální součástí buněčných struktur a jejich pohyblivost je omezena.

Makromolekuly se chovají jako **elektrické dipóly** – různě orientované – jejich dipólové momenty se vzájemně kompenzují.

Elektrické dipóly se **orientují** podle směru vnějšího elektrického pole, pokud je přítomno – nastává jejich **polarizace**. Tím vzniká vnitřní elektrické pole s opačnou polaritou a intenzita vnějšího elektrického pole se **snižuje**. Toto natáčení polárních molekul vede ke vzniku tzv. **posuvného proudu**. Mírou schopnosti vytvářet tento proud je **permitivita ϵ** .

Účinky stejnosměrného elektrického proudu (galvanoterapie, iontoforéza)

Nepřerušovaný stejnosměrný proud nedráždí, avšak může *měnit* dráždivost. Tento účinek se nazývá **elektrotonus** a využívá se v **galvanoterapii**.

- V oblasti katody (-) dochází ke zvyšování dráždivosti motorických nervů = **katelektrotonus**.
- V oblasti anody (+) dochází ke snižování dráždivosti senzitivních nervů = **anelektrotonus**.
- Využití v elektroterapii.

Elektrokinetické jevy – pohyb iontů nebo rozpouštědla v elektrickém poli – **iontoforéza** – ionty jsou přiváděny do těla.



Nízkofrekvenční střídavé proudy – elektrické dráždění

Dráždivost je nejlépe vyvinuta u tkáně nervové a svalové.

Elektrické dráždění (stimulace) – schopnost tkáně reagovat na elektrický podnět. Stejnosměrný proud má dráždivé účinky jen při náhlých změnách. Elektrické dráždění je prahový jev, nastává pouze po překročení určité prahové intenzity proudu - **reobáze**.

Pro kvantifikaci dráždivosti je důležitější časový faktor: **Chronaxie** je doba nutná pro vyvolání podráždění proudem, jehož intenzita je rovna dvojnásobku reobáze.

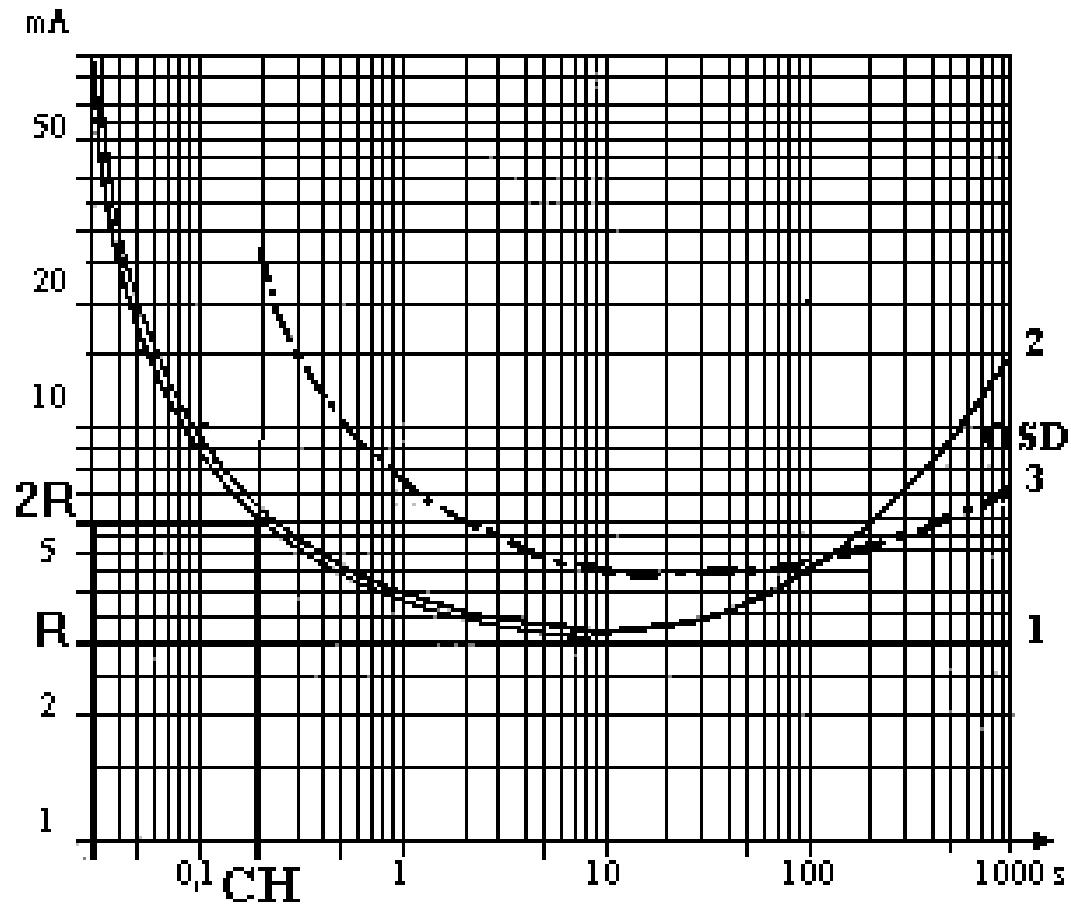
Každý kosterní sval má charakteristickou chronaxii. Změny chronaxie pomáhají určit stupeň poškození dráždivosti a tím i stupeň poškození svalu.

Nejkratší chronaxii mají kosterní svaly (< 1 ms), srdeční sval (5 ms), nejdelší mají hladké svaly (50-700 ms). Chronaxii lze odečíst z tzv. I/t křivky, závislosti intenzity proudového impulsu schopného vyvolat podráždění na jeho délce.

I-t křivka

R – reobáze

CH - chronaxie



➤ Kosterní sval s normální inervací reaguje různě na dráždění elektrickými impulsy s rychlým nástupem (obdélníkové impulsy) a s pomalým nástupem (trojúhelníkové impulsy). Pro krátké impulsy pod cca 10 ms, má I/t křivka stejný průběh. U dlouhých obdélníkových impulsů se dráždivost nemění (křivka 1) avšak u trojúhelníkových impulsů se snižuje (křivka 2).

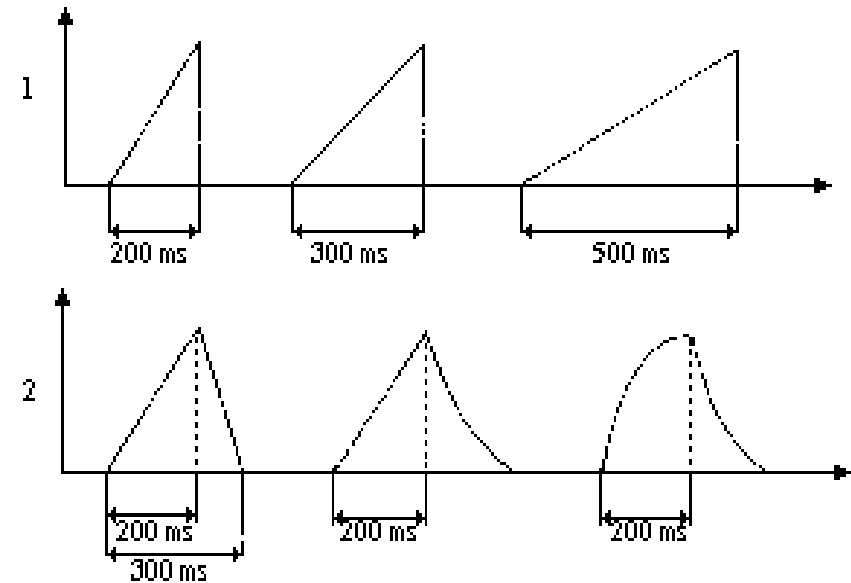
➤ Svaly s poškozenou inervací (denervované) nejsou drážditelné velmi krátkými impulsy. Jejich dráždivost dlouhými impulsy s pomalým nástupem však roste (křivka 3). Tím vzniká **oblast selektivní dráždivosti (OSD)**, která umožňuje stimulovat denervované svaly, aniž by docházelo ke stimulaci svalů zdravých.

Nízkofrekvenční střídavé proudy – frekvenční závislost dráždivých účinků

U velmi nízkých frekvencí (< 100 Hz), dráždivé účinky rostou lineárně s frekvencí. U vyšších frekvencí nárůst dráždivých účinků již není tak výrazný a od jisté frekvence se mění v pokles. V oblasti 500 - 3000 Hz prahová hodnota stimulačního proudu závisí na \sqrt{f} . K poklesu elektrické dráždivosti dochází od 3000 Hz a při cca 100 kHz zcela mizí.

Vysokofrekvenční proudy nemají žádné dráždivé účinky, protože délka jedné periody kmitů je mnohem kratší než nejkratší chronaxie. Stejně tak nemají účinky elektrochemické.

Elektrostimulace



Dráždivé účinky závisejí na amplitudě, frekvenci, tvaru a modulaci impulsů a na druhu tkáně!!!!

Tepelné účinky vysokofrekvenčních (VF) proudů

Mechanismus účinku těchto proudů je založen na 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 . Tento mechanismus tvorby tepla závisí na způsobu aplikace VF proudů.

- **Dielektrický ohřev** (vliv tzv. ztrát v dielektriku) nastává při aplikaci proudu v poli kondenzátoru.
- Ve střídavém elektromagnetickém poli vznikají indukci tzv. **vířivé proudy**, které též vedou k produkci tepla.

Použití VF elektrických proudů

U střídavých VF elektrických proudů (>100kHz) zcela převládají tepelné účinky. Teplo vzniká přímo ve tkáních dielektrickým ohřevem, působením vířivých proudů nebo v důsledku absorpce elektromagnetické energie.

Mezinárodními dohodami byly určeny následující frekvence pro léčbu pomocí VF proudů:

Krátkovlnná diatermie (27,12 MHz, tj. vlnová délka 11,06 m),

Ultrakrátkovlnná diatermie 433,92 MHz (69 cm),

Terapie pomocí mikrovln 2 400 nebo 2 450 MHz (12,4 nebo 12,25 cm) .

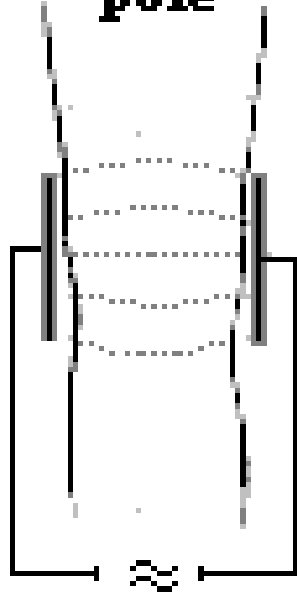
Terapie pomocí VF proudů umožňuje hloubkové prohřívání.

Tři způsoby aplikace VF proudů:

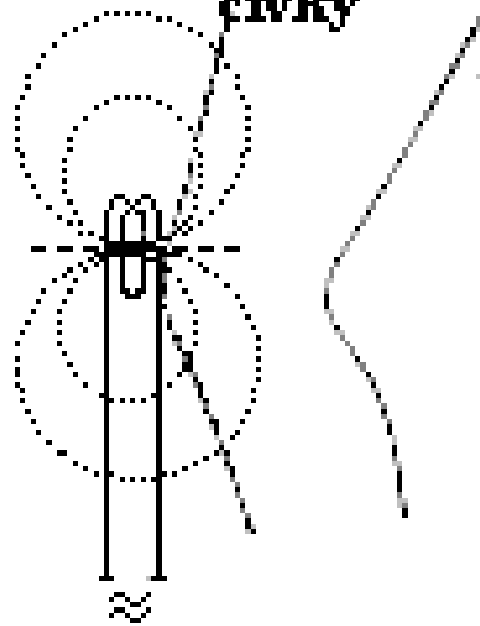
1. Tkáň je zapojena do elektrického obvodu jako **odpor** pomocí kontaktních elektrod – klasická diatermie. Dnes se v praxi nepoužívá.
2. Tkáň zapojená jako **dielektrikum** je umístěna mezi dvěma izolovanými elektrodami – **ohřev v kondenzátorovém poli**. Vznikající teplo je úměrné ztrátám v dielektriku. Množství tepla vznikajícího v podkožní tukové tkáni je menší než ve svalech.
3. Využití **vířivých proudů** v magnetickém poli cívky – **ohřev indukcí**. Izolovaný kabel je navinutý kolem končetiny nebo se k povrchu těla přikládá cívka. Kůže se zahřívá méně, 2 cm silná vrstva svalů snižuje ohřev na polovinu.

Různé způsoby VF diatermie

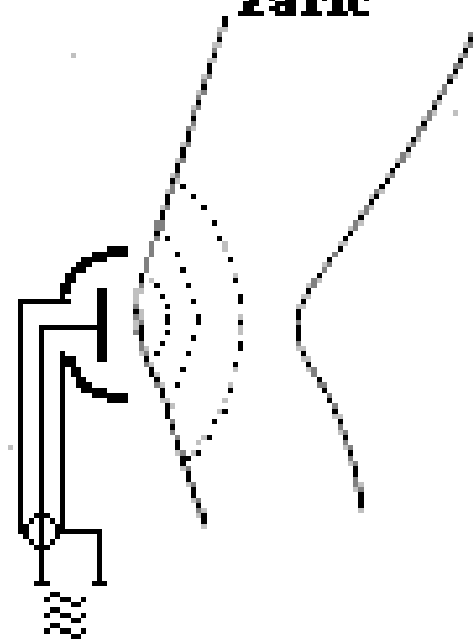
kondensátorové
pole



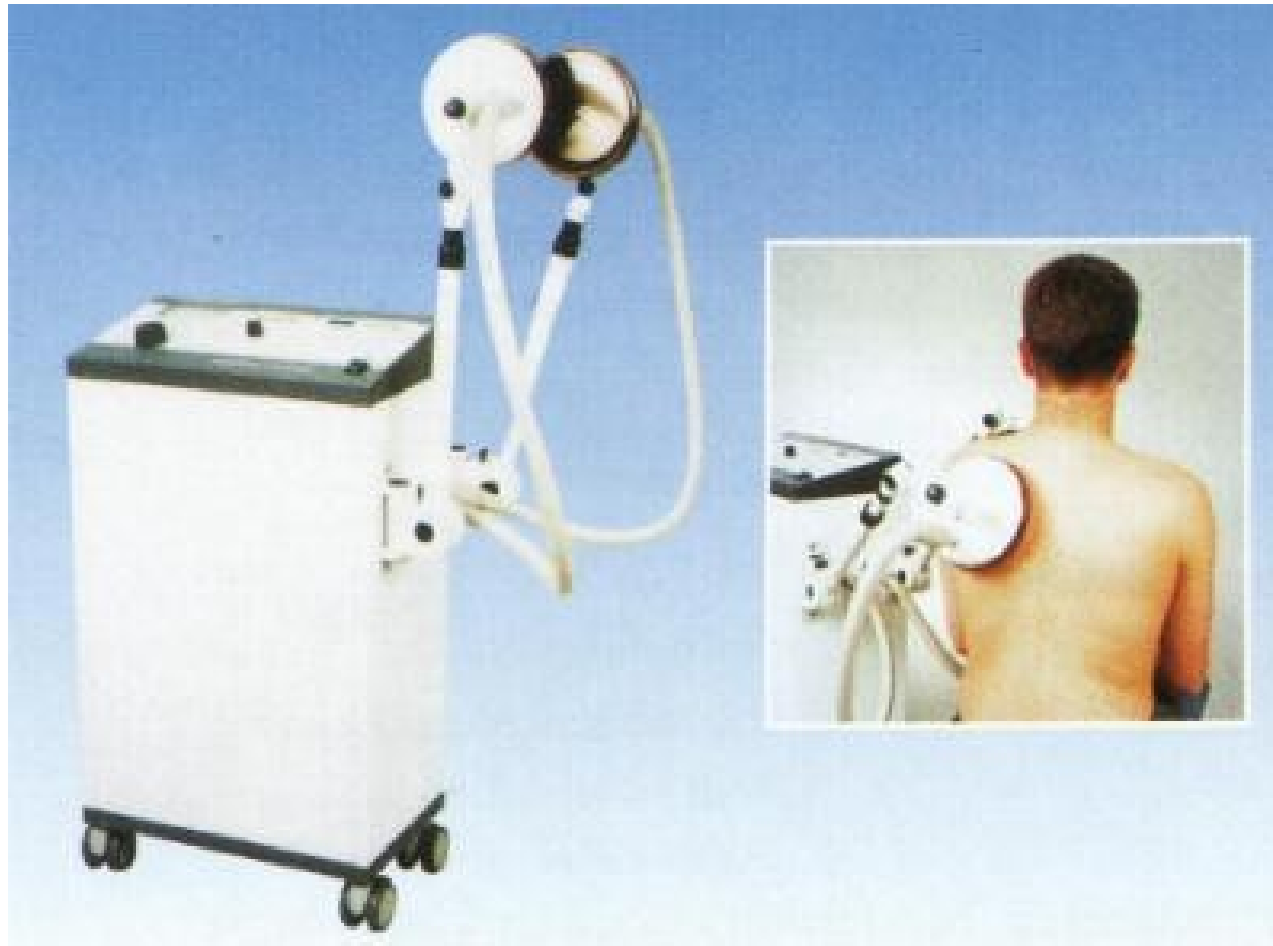
pole
cívky



mikrovlnný
zářič



Krátkovlnná diatermie – ohřev v kondenzátorovém poli



Terapie pomocí mikrovln

Zdroj: magnetron. Kmity elektromagnetického pole jsou přiváděny do zářiče – dipólu s reflektorem. 1 cm svalu snižuje intenzitu mikrovln na polovinu, poměr tvorby tepla mezi kůží a svaly je téměř vyrovnaný.

Mikrovlny přivádějí elektricky nabitě částice (ionty, dipóly) do kmitavého pohybu, který se transformuje v teplo třením.

Mikrovlnná diatermie



(starší typ přístroje)



Možná rizika spojená s mikrovlnným a radiofrekvenčním zářením

Účinky jsou především tepelné.

- Zdroje mikrovln
- Radary
- Mobilní telefony
- Rozhlasové a televizní vysílače
- Elektrická rozvodná síť
- Trolejová vedení

Některé studie popisující kancerogenní účinky mikrovln nebo nízkofrekvenčních elektromagnetických polí nebyly dostatečně ověřené, je však prozíravé omezovat expozice.

Ultrazvuková terapie

Ultrazvuková (UZ) terapie je založena na biologických účincích ultrazvukových (neelektrických) kmitů. Přesto se tato terapie někdy řadí mezi elektroterapeutické metody.

UZ terapeutický systém se skládá ze dvou hlavních částí: **generátoru** VF elektrického proudu a **aplikační hlavice**, tj. vlastního zdroje ultrazvuku tvořeného piezoelektrickým měničem.

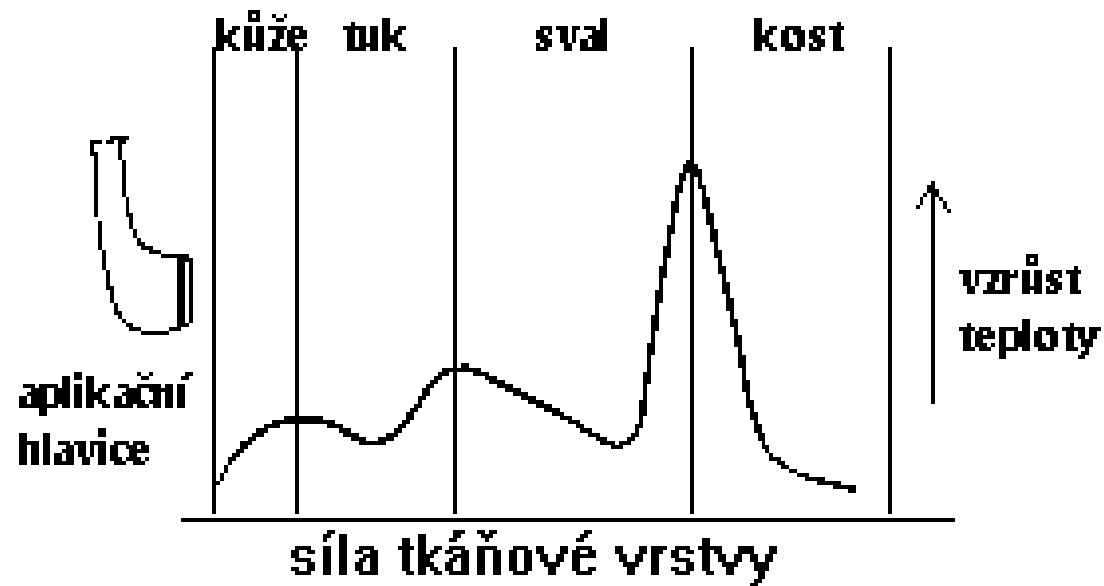
V UZ terapii se používají frekvence 0,8 - 1 MHz, někdy až 3 MHz, s intenzitami typicky $0,5 - 1 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$. Doby ozvučování bývají 5 - 15 min., v 5 - 10 opakováních. UZ lze aplikovat kontinuálně nebo v impulsech.

Hlavní léčebným mechanismem je **VF masáž** tkáně. Další účinky vyvolává **ohřev** tkáně (vedoucí k hyperémii) a některé **fyzikálně-chemické jevy**.

Akustická vazba mezi hlavicí a tkání je zajišťována olejem nebo gelem (lokální aplikace), případně vodou (podvodní aplikace).

Hlavní indikace UZ terapie: chronická onemocnění kloubů, svalů a nervů. Jisté úspěchy byly zaznamenány i při hojení pooperačních ran a bércových vředů.

Tepelné účinky ultrazvuku



V UZ terapii je důležitá přeměna akustické energie na teplo. Ohřev tkání závisí na jejich fyzikálních vlastnostech a jejich krevním zásobení. K nejvyššímu ohřevu dochází na rozhraních mezi tkáněmi, které se od sebe silně odlišují akustickými impedancemi. Tepelné účinky UZ nelze uvažovat samostatně bez ohledu na jiné léčebné mechanismy (mikromasáž aj.)

Ultrazvuková terapie



Účinky magnetických polí - magnetoterapie

Základní pojmy: magnetická pole: statická, střídavá a pulsní. Homogenní a nehomogenní magnetická pole.

Magnetická indukce B závisí na *magnetické permeabilitě prostředí* μ :

$$\mu = \mu_r \mu_0$$

Ferromagnetické látky - $\mu_r \gg 1$.

Diamagnetické látky - μ_r je mírně nižší než 1

Paramagnetické látky - μ_r je mírně vyšší než 1.

(μ_0 je permeabilita vakua – $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$)

Tkáně lidského organismu jsou složeny téměř výhradně z diamagnetických a paramagnetických látek. Magnetická pole mohou ve tkáních vyvolávat elektrická napětí a proudy (účinkem Lorentzovy síly na pohybující se elektrické náboje nebo dle Faradayova zákona působením proměnlivého magnetického pole). Tato indukovaná napětí však jsou podstatně nižší než membránové potenciály.

Magnetomechanické a magnetochemické účinky

V silném homogenním mg poli se **orientují** diamagnetické a paramagnetické molekuly, aby minimalizovaly svou energii. V nehomogenních polích s vysokými gradienty dochází k translačnímu **pohybu** ferromagnetických látek (u živých organismů zanedbatelné). Silné mg pole (cca $10^6 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$, resp. nad 1 T) snižuje průtok laminárně proudící kapaliny v trubici.

Dle některých autorů 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. Příkladem budiž MRI a **magnetická stimulace mozku**.

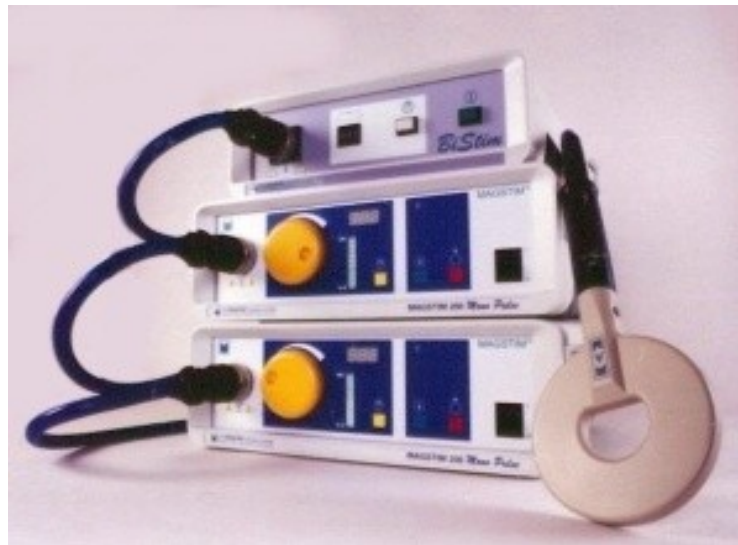
Magnety v medicíně



Magnetoterapie



Biomagnetismus –
šarlatánství Franze
Messmera před 200 lety



Transkraniální
magnetická stimulace

Léčba světlem - fototerapie

Ultrafialové (UV), viditelné (VIS) a infračervené (IR) světelné zdroje se běžně využívají v medicíně, zejména ve fyzikální léčbě.



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 - 1mm:

IR-A 0,78 – 1,4 μm

IR-B 1,4 – 3,0 μm

IR-C 3,0 μm – 1,0 mm

Z praktického hlediska ultrafialová oblast začíná vlnovou délkou 190 nm. Spektrální oblast 1 - 190 nm je tzv. vakuové UV záření. Je silně zeslabováno vzduchem, a proto se jeho biologické účinky vyskytují zřídka.

Zdroje světla

Jediný významný přirozený zdroj světla je **Slunce**.

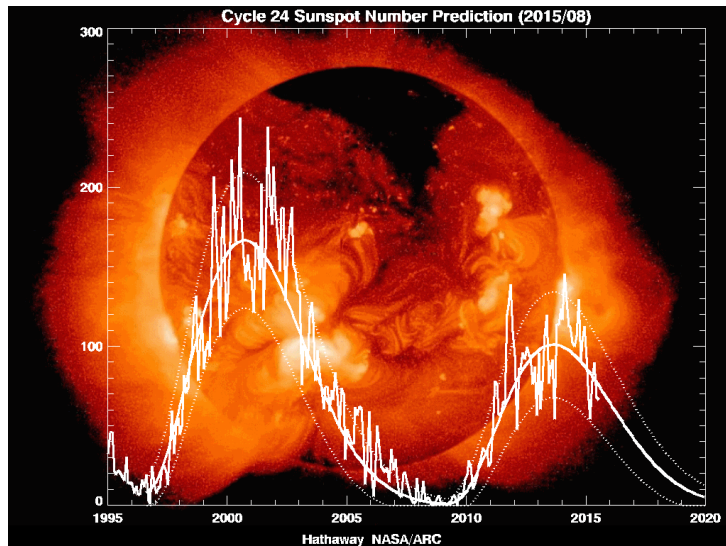
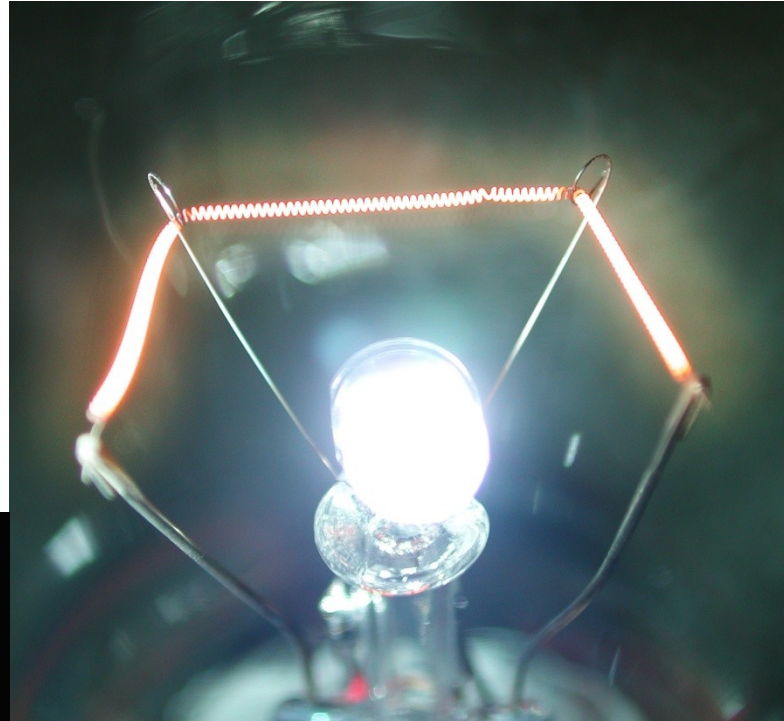
Jiné zdroje jsou umělé a každý z nich emituje pouze část optického spektra:

- **Horká tělesa.** Vlnová délka záření závisí na teplotě zdroje. Vyzařované spektrum je spojité. Žárovky a různé zdroje sálavého tepla.
- **Luminiscenční zdroje** (zářivky a výbojky). Jejich principem jsou deexcitační procesy u atomů a molekul. Spektrum těchto zdrojů může být čárové.

Oba tyto typy zdrojů emitují nekoherentní záření.

Jediný umělý zdroj intenzivního koherentního světla je **laser**.

Zdroje viditelného světla



Molekulární mechanismy biologických účinků světla

Energie **jednotlivých atomů** závisí na jejich elektronové konfiguraci. Dodání energie způsobuje přeskoky elektronů do vyšších energetických hladin (ΔE_e) – vzniká excitovaný stav. Absorpční spektrum je nespojité. K excitaci dochází hlavně ve valenční vrstvě.

Změny energetických stavů ΔE **jednotlivých molekul** jsou v zásadě součtem změn energie elektronů daných změnami elektronové konfigurace ΔE_e , vibračních stavů ΔE_v a rotačních stavů ΔE_r :

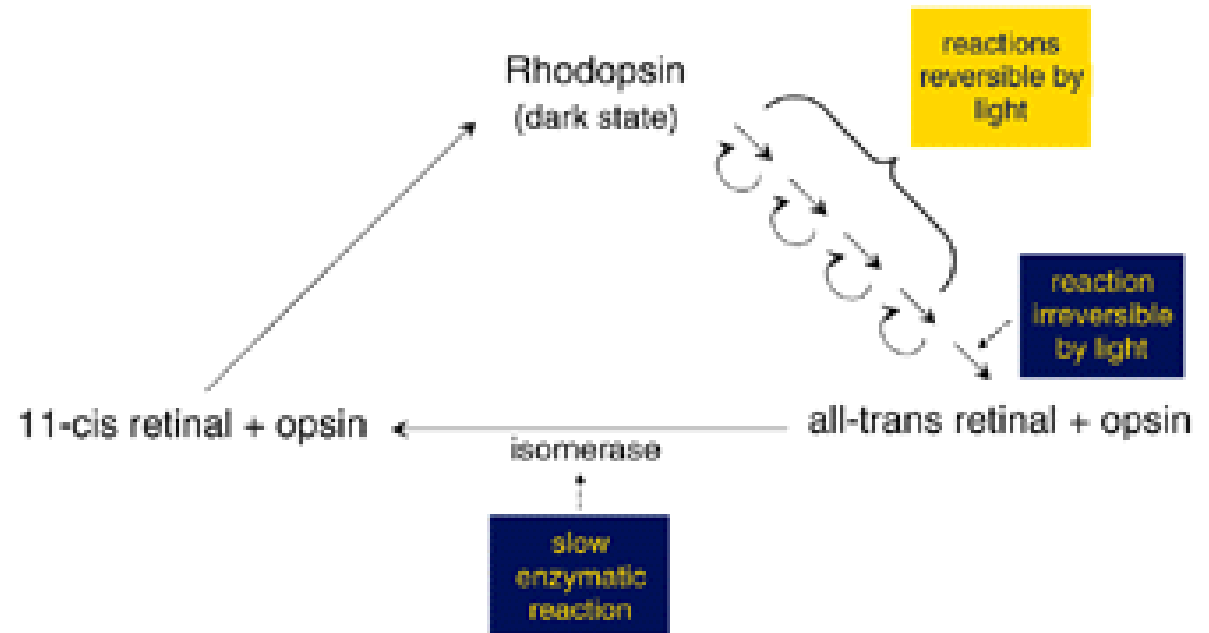
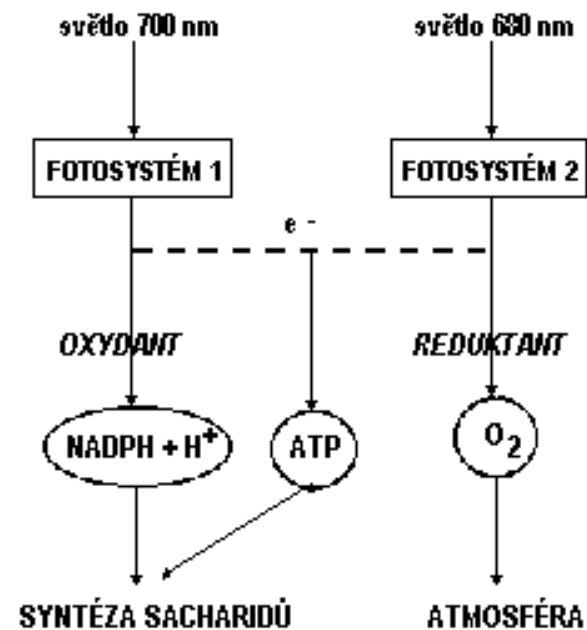
$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_v + \Delta E_r$$

Všechny tyto tři druhy energie jsou kvantované. Účinek záření závisí na energii fotonů. Nejnižší energii mají fotony IR-C, odpovídá změnám rotačních stavů molekul. Energie fotonů IR-B a IR-A může ovlivnit jak vibrační tak i rotační stavy molekul. Energie fotonů VIS a UV může ovlivnit rotační a vibrační stavy i elektronovou konfiguraci.

Účinky viditelného světla

Fotosyntéza → biochemie

Fotorecepce → biofyzika zraku



Molekulární účinky ultrafialového záření

Vezmeme-li v úvahu biologicky významné sloučeniny, nejcitlivější jsou ty, které obsahují konjugované dvojně vazby.

V bílkovinách jsou nejcitlivější zbytky aminokyselin tyrosinu a tryptofanu (abs. maximum kolem 280 nm).

V nukleových kyselinách jsou citlivé dusíkaté báze. Absorbance NA je vyšší než absorbance bílkovin, maximum je při 240-290 nm.

UV záření proniká pouze do povrchových vrstev kůže.

Účinek UV záření na kůži se projevuje jako zčervenání – **erytém** – následované melaninovou **pigmentací** ⇒ **ochranný mechanismus** proti dalšímu pronikání UV.

Syntéza vitamínu D, který řídí metabolismus Ca a P (jeho nedostatek způsobuje křivici - rachitis), je významným pozitivním účinkem UV světla. Nelze také vyloučit kancerogenní účinky UV, protože téměř 90% případů rakoviny kůže se objevuje na jejích nekrytých oblastech.

Zdroje ultrafialového záření

Slunce

Rtuťové výbojky (používané v medicíně)

Vodíkové a deuteriové výbojky (používané ve výzkumu)

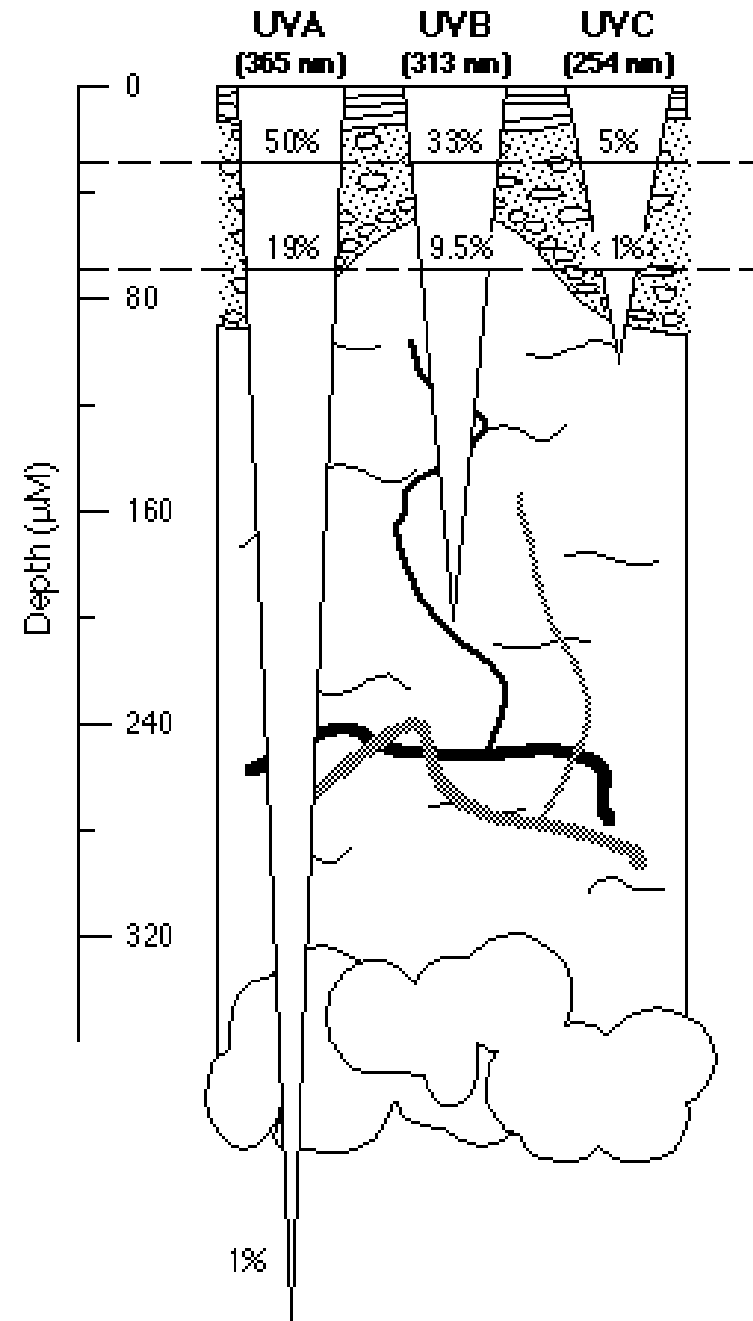
Xenonové lampy (výbojky)

Elektrický oblouk, blesky atd.

Některé lasery

Pronikavost UV záření

Povšimněte si silné závislosti na vlnové délce!



Účinky ultrafialového záření na živý organismus

Sluneční spáleniny - erytémy

Účinky na oko: blefarospasmus (neovladatelné sevření víček) – vzniká při poškození rohovky UV zářením (*keratitis photoelectrica*). ⇒ Ochrana pomocí brýlí s UV filtrem. Může vzniknout též zákal čočky – katarakta (obr.↓)

UV-C s vlnovou délkou pod 280 nm má výrazný **baktericidní účinek** ⇒ sterilizace laboratoří, boxů a chirurgických sálů.



Zdroje a účinky infračerveného světla

Všechny tři pásma IR světla mají **tepelné účinky**.

- IR-A je součástí slunečního záření. Prochází sklem a je jen mírně absorbováno vodou.
- IR-B je emitováno různými žárovkami a výbojkami. Prochází sklem, je však dobře absorbováno vodou.
- IR-C je emitováno z topných a horkých těles, lidských těl.... Je absorbováno sklem i vodou.

Téměř veškeré IR záření je pohlcováno v pokožce. Způsobuje místní vasodilataci a **tepelný erytém** vypadající jako difuzní červené skvrny. Na rozdíl od erytému způsobeného UV zářením je jeho trvání krátké. Pigmentace je velmi slabá.

Ozáření IR zářením však zvyšuje citlivost pokožky k záření ultrafialovému – využití v soláriích.

Dlouhé vystavení očí IR záření může u některých profesí (foukači skla, hutníci, taviči, oceláři apod.) způsobit tzv. **žárovou kataraktu** (zákal čočky).

Přenos tepla IR zářením

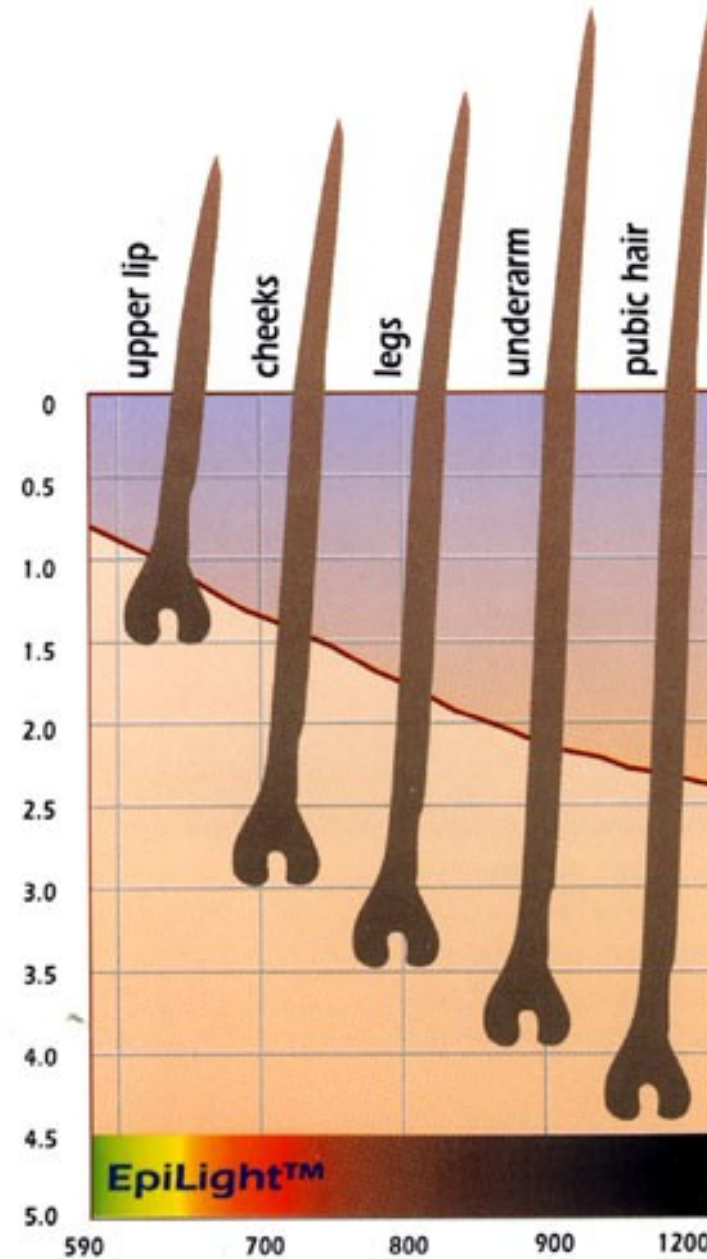
Tepelné účinky viditelného a infračerveného záření z umělých zdrojů:

Žárovkové skříně – sálavé teplo v uzavřeném prostoru. Jsou drážděny kožní receptory a nastává celkové zahřátí těla.

IR lampy: Solux, Sirius – výkonné žárovky s modrými nebo červenými filtry, infračervené zářiče. Záření je absorbováno hlavně tělesným povrchem. Používá se nejvíce v dermatologii, ORL a zubním lékařství. Jsou stimulovány kožní receptory, dostavuje se sugestivní pocit tepla, nastává reflexní vasodilatace a svalová relaxace.

Pronikavost IR záření

Snížení intenzity světla na 35 % původní hodnoty.
Obrázek má souvislost s depilací pomocí laseru.



Tepelný erytém

Tepelný erytém jako
důsledek nadměrného
používání elektrické
podušky!



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

Souhrn – účinky světla na lidský organismus

| 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 | | |

M U N I
M E D

Autor:
Vojtěch Mornstein

Obsahová spolupráce:
Ivo Hrazdira, Carmel J. Caruana

Poslední revize a ozvučení: duben 2021