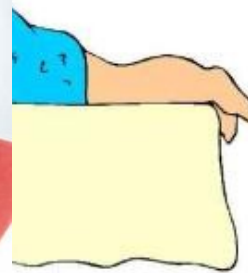
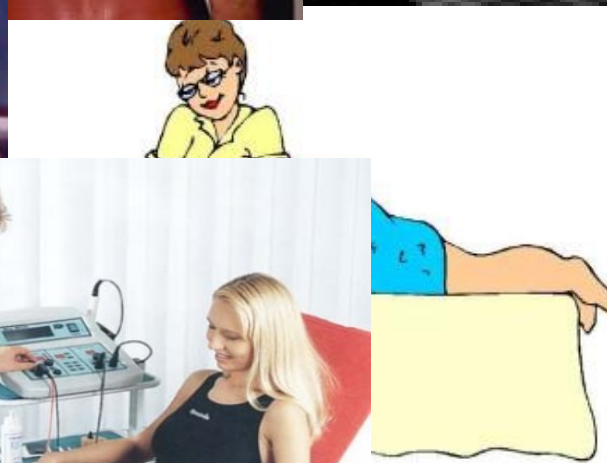


Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno





Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno



Hubbard Hydrotherapy
Tank, Carlos Andreson,
Watercolour, 1943



Fyzikální terapie

a nežádoucí účinky některých fyzikálních faktorů

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.

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
- Proudění tepla
- 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 psychologii. 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



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



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



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



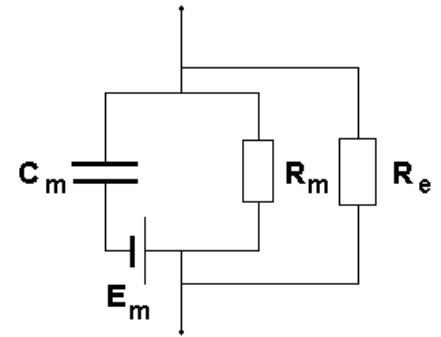
Elektroterapie

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:

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

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

Měrný elektrický odpor ρ tkání



Tkáň	Měrný odpor [Ωm]
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. Stejnoseměrný 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.



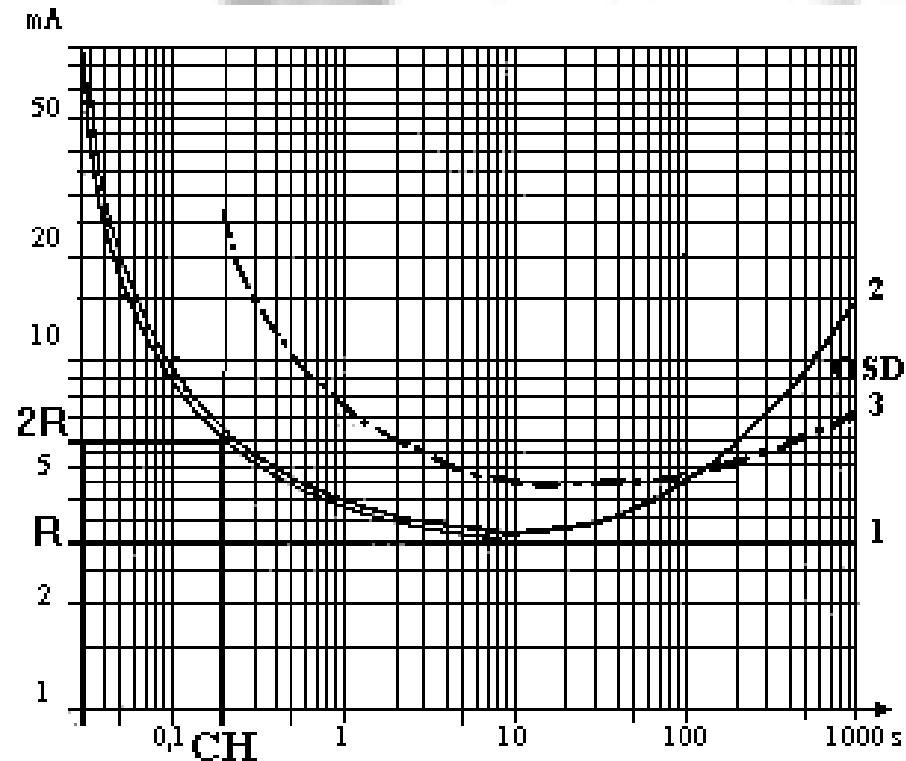
- Kosterní sval s normální inervací reaguje různě na dráždění elektrickými impulsy s rychlým nástupem (obdélníkové impulsy) a s pomalým nástupem (trojúhelníkové impulsy). Pro krátké impulsy pod cca 10 ms, má I/t křivka stejný průběh. U dlouhých obdélníkových impulsů se dráždivost nemění (křivka 1) avšak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

I-t křivka

R – reobáze

CH - chronaxie

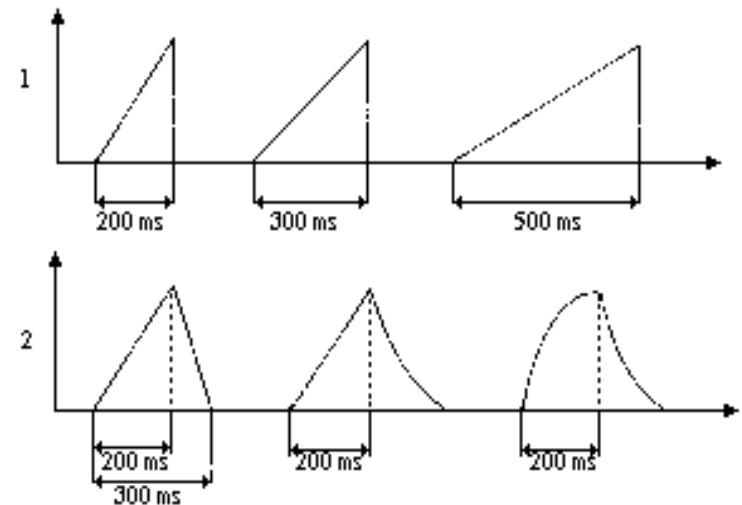




Nízkofrekvenční střídavé proudy – frekvenční závislost dráždivých účinků

- 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:

$$Q = UIt$$

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 indukce tzv. **vířivé proudy**, které též vedou k produkci tepla.

Použití VF elektrických proudů



- U střídavých VF elektrických proudů ($>100\text{kHz}$) zcela převládají tepelné účinky. Teplo vzniká přímo ve tkáních dielektrickým ohřevem, působením vířivých proudů nebo v důsledku absorpce elektromagnetické energie.
- Mezinárodními dohodami byla 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:

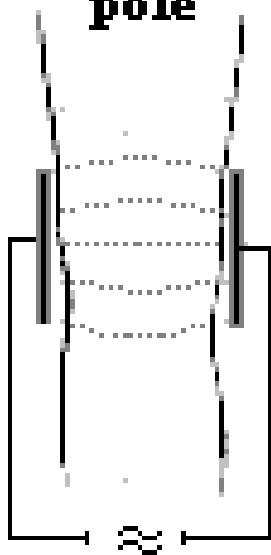


- 1. Tkáň je zapojena do elektrického obvodu jako **odpor** pomocí kontaktních elektrod – klasická diatermie. Dnes se v praxi nepoužívá.
- 2. Tkáň zapojená jako **dielektrikum** je umístěna mezi dvěma izolovanými elektrodami – **ohřev v kondenzátorovém poli**. Vznikající teplo je úměrné ztrátám v dielektriku. 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.

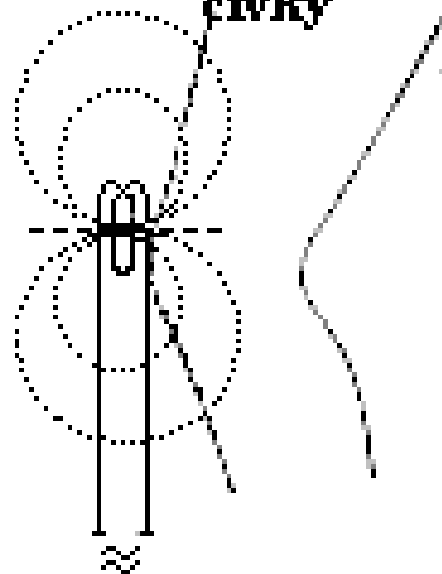
Různé způsoby VF diatermie



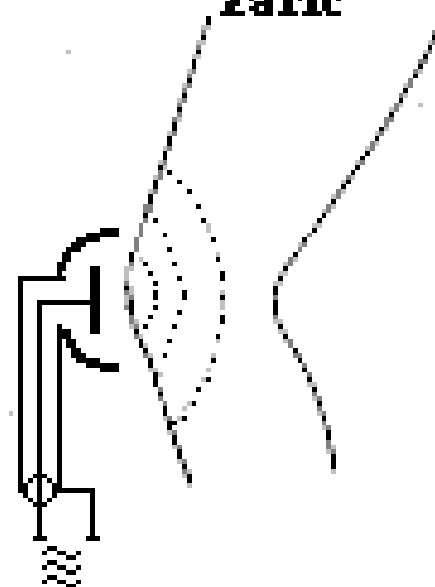
kondensátorové
pole



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

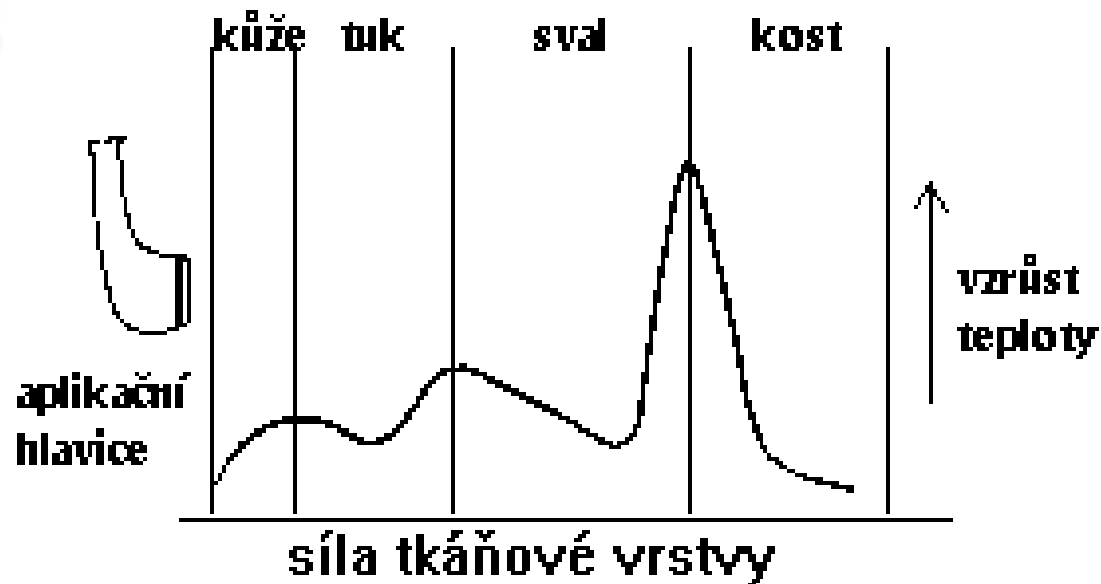


- Účinky jsou především tepelné.
 - Zdroje mikrovln
 - Radary
 - Mobilní telefony
 - Rozhlasové a televizní vysílače
 - Elektrická rozvodná síť
 - Trolejová vedení
- Některé studie popisující kancerogenní účinky mikrovln nebo nízkofrekvenčních elektromagnetických polí nebyly dostatečně ověřené, je však 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 hlavičky, 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 W·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 hlavičkou 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 bérkových 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 A·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



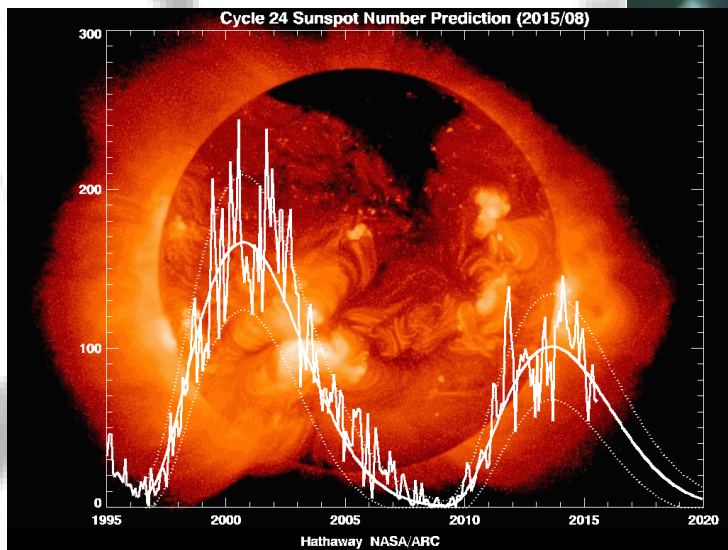
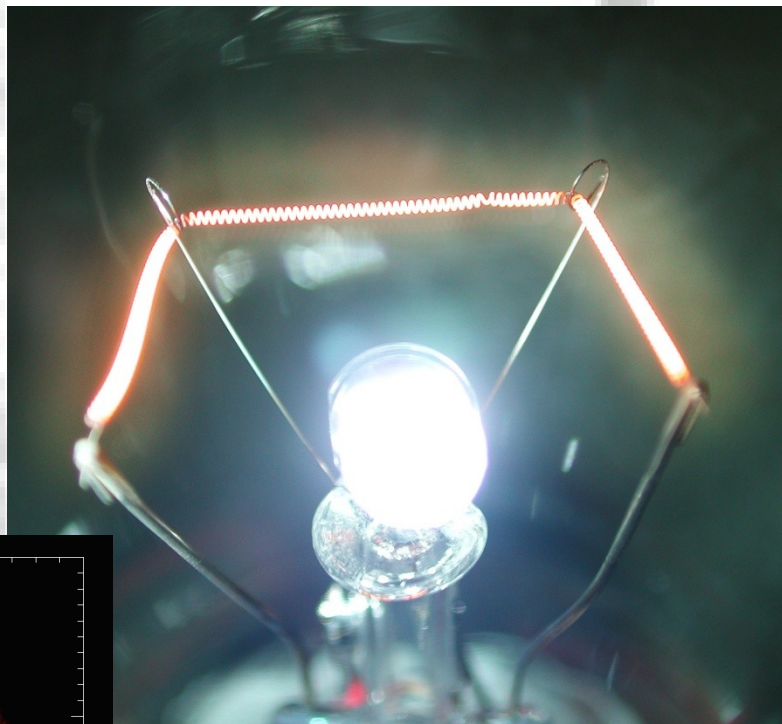
- **ultrafialové (UV)** 1- 380 nm: **UV-A** 380 - 315 nm
UV-B 315 - 280 nm
UV-C 280 - 190 nm
- **viditelné (VIS)** 380 - 780 nm
- **infračervené (IR)** 0,780 - 1mm: **IR-A** 0,78 – 1,4 μm
IR-B 1,4 – 3,0 μm
IR-C 3,0 μm – 1,0 mm
- Z praktického hlediska ultrafialová oblast začíná vlnovou délkou 190 nm. 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 :

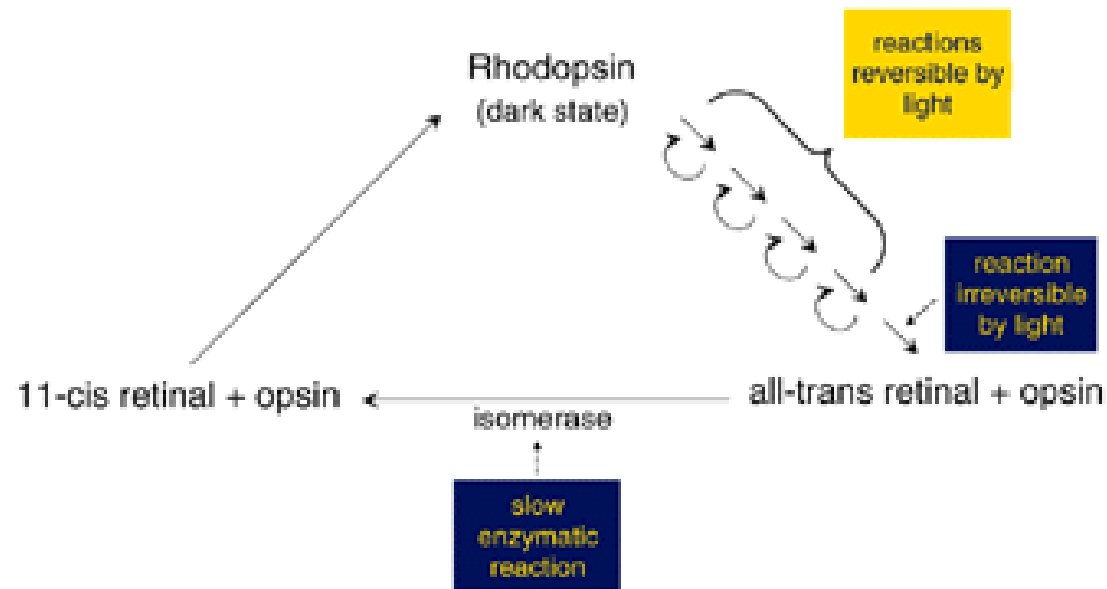
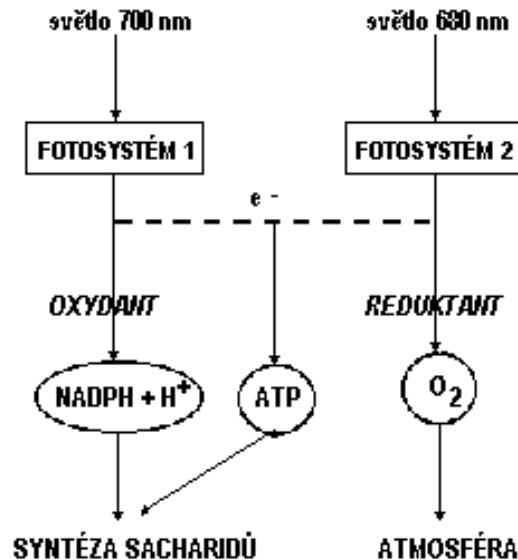
$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_v + \Delta E_r$$

- 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 dvojné 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.

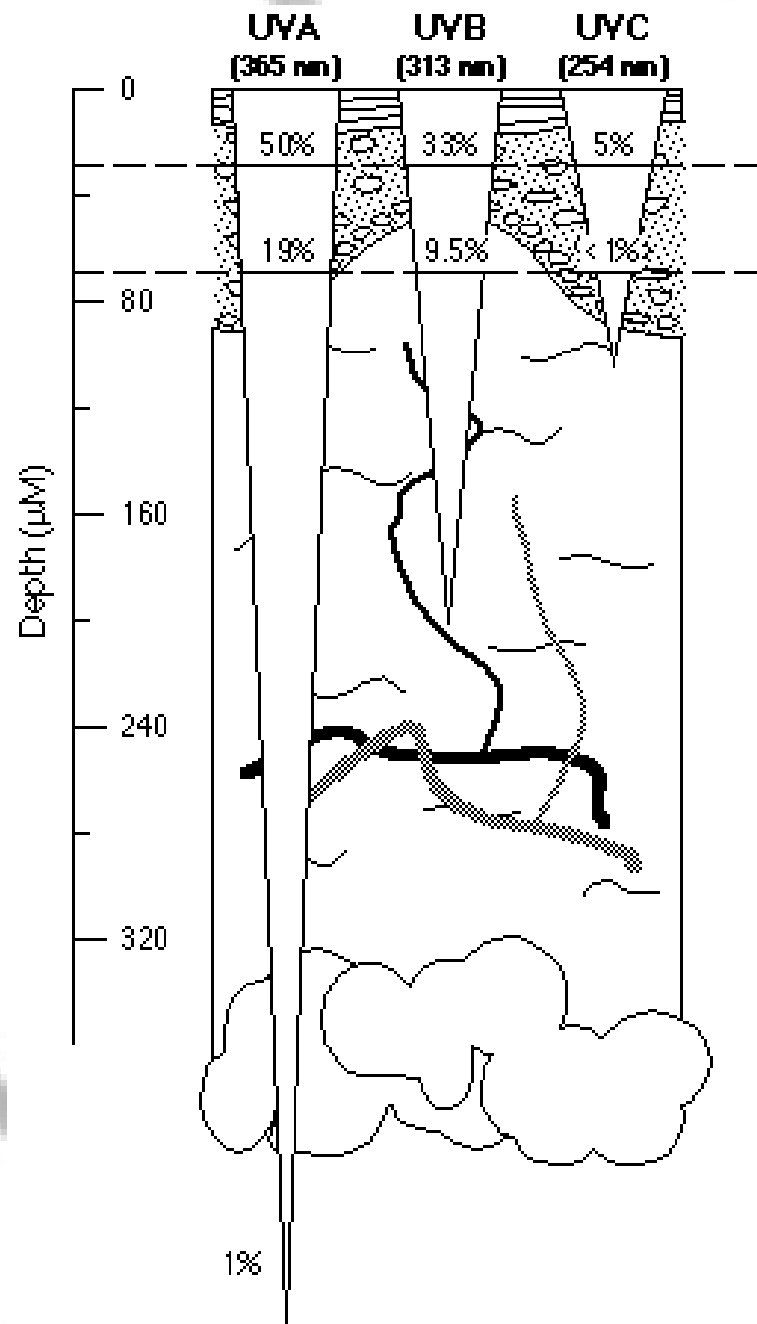


Zdroje ultrafialového záření



- 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



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

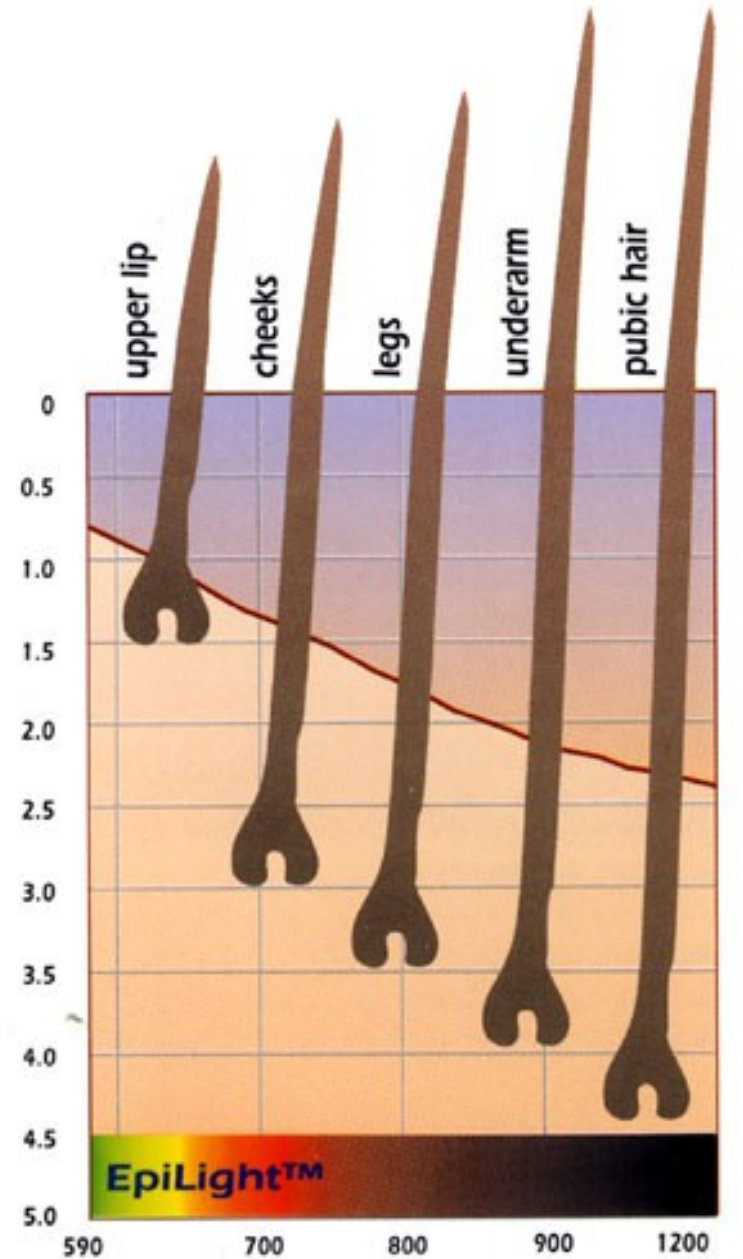


Tepelné účinky viditelného a infračerveného záření z umělých zdrojů:

- 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



Tepelný erytém



Tepelný erytém jako
důsledek
nadměrného
používání elektrické
podušky



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		

Autor:
Vojtěch Mornstein

Obsahová spolupráce:
Ivo Hrazdira, Carmel J. Caruana

Grafika:
Lucie Mornsteinová

Poslední revize a ozvučení: duben 2020