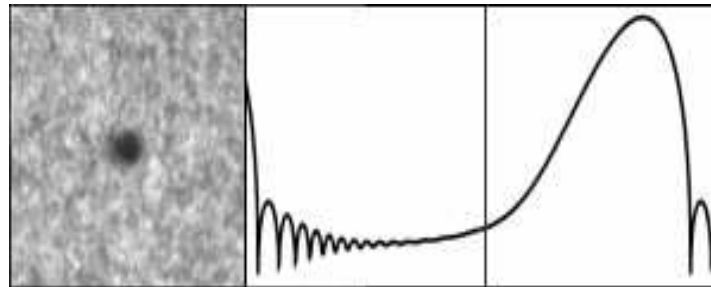


Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně



**Biologické účinky
mechanických faktorů a
neionizujícího záření**

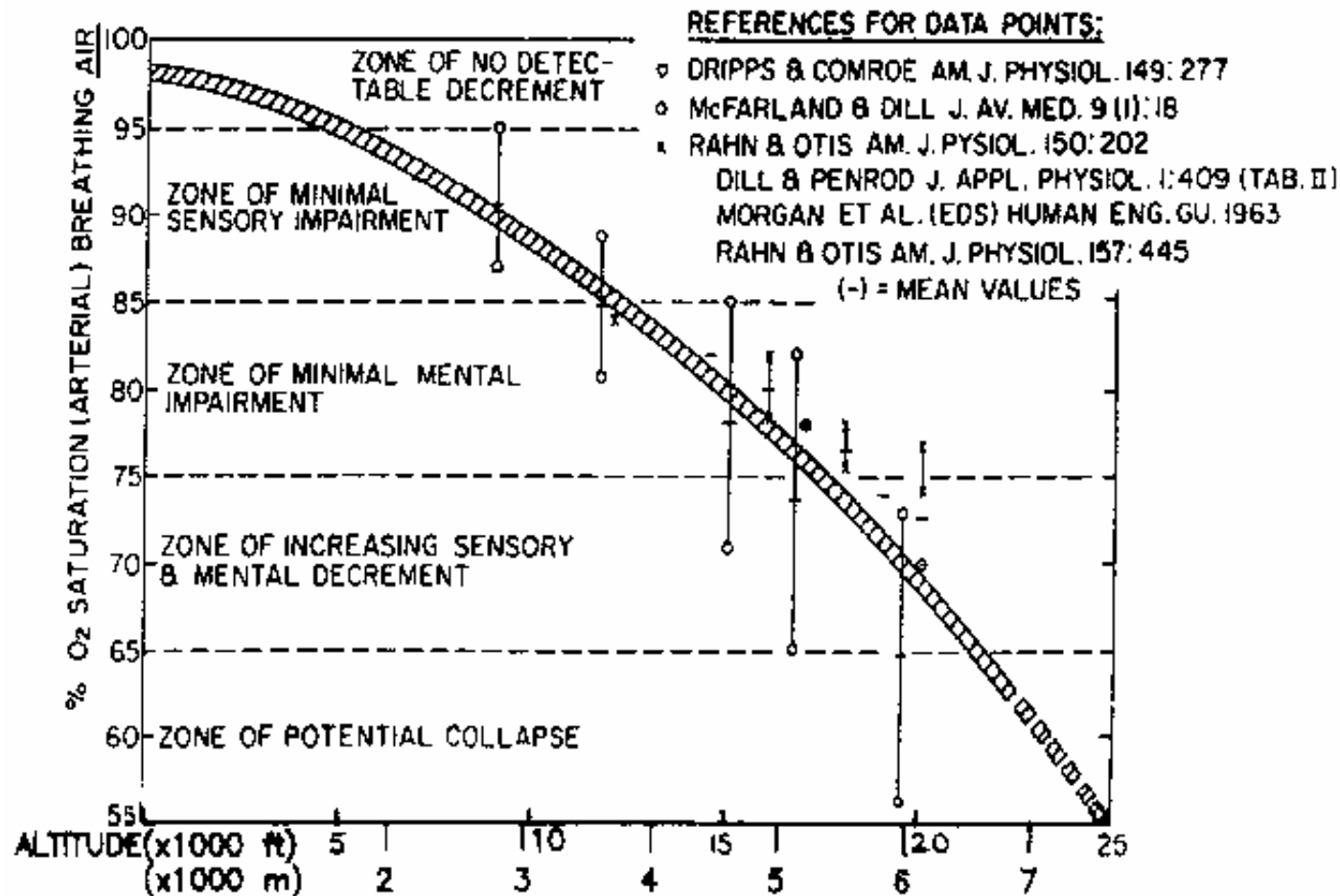
Účinky podtlaku

Atm. tlak klesá s nadmořskou výškou exponenciálně, polovina dosahuje ve výšce asi 5400 m (sycení krve kyslíkem asi 80%).

- Při náhlém výstupu nad 3000 m dochází u netrénovaných jedinců k **výškové hypoxii** (nevolnost a bolesti hlavy). První reakcí je zrychlené povrchní dýchání, které vede ke zvýšení parciálního tlaku O_2 v alveolech a tím i sycení hemoglobinu kyslíkem. Následuje zvýšení počtu erytrocytů vyplavením z rezervních prostorů, zvýšení srdečního výdeje a tepové frekvence (tachykardie). Vyšší prokrvení mozku a srdce.
- Využití léčebné - **podtlakové komory**. Snížení tlaku o 20 - 40 kPa. Použití k léčbě respiračních onemocnění. Zvyšuje se DO a ventilace plic a tím i výdej CO_2 . Plíce jsou lépe prokrveny - usnadňuje vykašlávání (expektoraci) a tlumí úporný kašel.

- Graf sycení krve kyslíkem

- <http://www.alma.nrao.edu/memos/html-memos/alma162/medical0.gif>



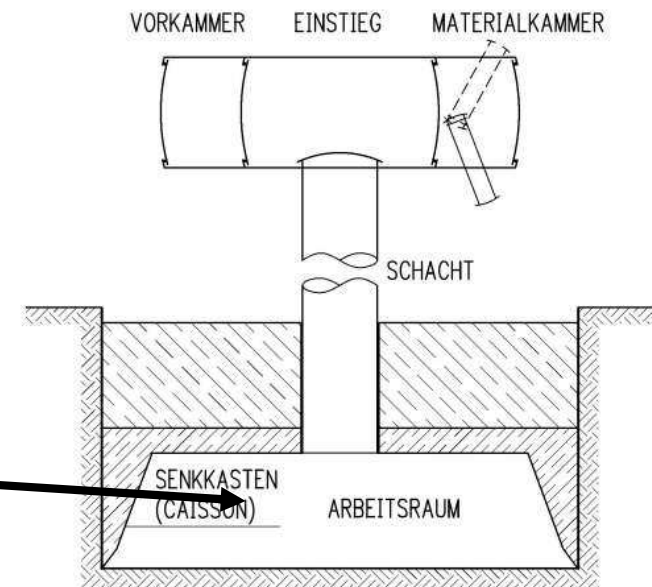
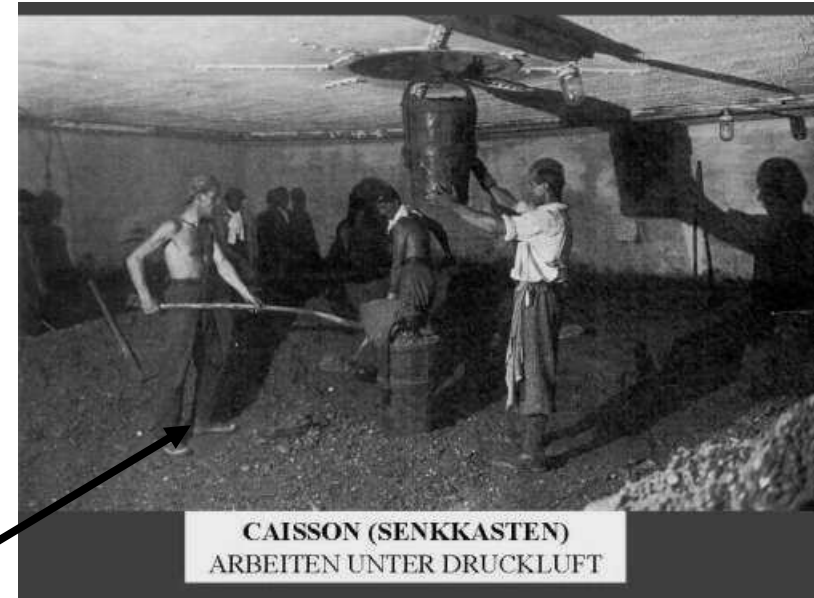
Účinky přetlaku

Přetlak zvyšuje parciální tlaký dýchacích plynů a tím i jejich obsah v krvi. Při snížení okolního tlaku pak přebytečné množství dýchacích plynů difunduje z tkání do krve a alveolárního vzduchu. Potíže vznikají při rychlé dekompresi. Přebytečný kyslík je rychle metabolizován. Dusík se uvolňuje ve tkáních a v krvi ve formě bublin a vyvolává **dekompresní** nebo **kesonovou nemoc**.

Nejčastěji bývají postiženy klouby, mozek a srdeční sval – objevují se svalové a kloubní bolesti, bolesti hlavy, závratě a zvracení.

Bubliny N_2 ve venózní krvi mohou způsobit plynový embolus v plicích. Kesonová nemoc se někdy vyskytuje u potápěčů.

- Prevencí kesonové nemoci je tzv. **fyziologická dekomprese**. Při nutnosti rychlého výstupu z hloubky je nutno použít terapeutické rekompresce s následující pomalou dekompresí v přetlakové komoře. Osvědčuje se též oxygenoterapie.



- Kesony při stavbě mostů přes Dunaj
<http://www.stahl.tuwien.ac.at/institute/wdbv/Folie08.jpg>

Barokomory a dysbarismus

- **Přetlakové komory - barokomory** se využívají léčebně i při jiných onemocněních než u kesonové nemoci. Používaný přetlak kolísá v rozmezí 26 - 54 kPa, někdy i více. Často se používá barokomora s kyslíkovým přetlakem (hyperbarická oxygenoterapie). Této léčby se využívá u některých plicních onemocnění, u otrav CO a kyanidy, u popálenin aj. Ve velkých barokomorách lze s výhodou provádět některé srdeční operace.
- **Dysbarismus** - obtíže při tlakových změnách menšího rozsahu (do 5 kPa), které se projevují především v letecké dopravě. Bolestí v uších v důsledku relativního přetlaku nebo podtlaku ve středoušní dutině, který vede k vyklenutí nebo vpáčení bubínku. Příčinou bývá omezená průchodnost Eustachovy trubice. K vyrovnání tlaků napomáhá aktivní polykání.

Barokomra

- <http://www.stranypotapecske.cz/kontakty/pic/komora2.jpg>



Účinky přetížení

- Člověk je adaptován na **gravitační zrychlení**, $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. V letectví a při kosmických letech však může působit zrychlení několikanásobně vyšší – **přetížení**. Dle směru působící setrvačné síly rozlišujeme přetížení ve směru podélné a příčné osy těla. Přetížení ve směru podélné osy: kladné a záporné.
- **Kladné přetížení** - síla směřuje od hlavy k nohám. Přesun krve ve směru působící síly \Rightarrow nedokrevnost mozku a městnání krve v nohách. Pokles TK v mozku může vést ke ztrátě vědomí a k tzv. bílé slepotě (nedokrvení sítnice). Kritická hodnota - přibližně 5 g.
- **Záporné přetížení** - působí síla od nohou k hlavě. Krev se městná v hlavě, překrvení sítnice vede k tzv. červené slepotě, může dojít ke krvácení do sítnice i do mozku. Kritická hodnota - 3 g.
- Při přetížení ve směru kolmém k podélné ose těla je oběhový systém ovlivňován méně, kritická hodnota - asi 18 g.
- Účinek přetížení je možno snížit vhodnou polohou těla vzhledem ke směru pohybu a tzv. antigravitačním oblekem.

Stav beztíže, kinetózy

- Při pohybu po oběžné dráze kolem Země je odstředivá i dostředivá síla v rovnováze a dochází k tzv. **beztížnému stavu**. Dochází k poruše nervosvalové koordinace následkem nedostatku dostředivých vzruchů z končetin a k poruše vnímání polohy v prostoru v důsledku vyřazení vestibulárního aparátu z činnosti. Při delším pobytu v beztížném stavu se snižuje svalová síla a odvápnují se kosti. Cvičení může nahradit sníženou zátěž pohybového aparátu.
- Nepravidelné zrychlování a zpomalování při přepravě dopravními prostředky vede u citlivých jedinců ke vzniku **kinetóz**, vyvolaných vegetativním nervovým systémem a charakterizovaných bledostí, povrchním a zrychleným dýcháním, nevolností a zvracením.

- Verne: Cesta na Měsíc



Biofyzika ultrazvuku

- **Pasivní a aktivní interakce ultrazvuku**

- **Účinky tepelné, kavitační a „jiné“**

- **Tepelné** – ohřev tkání se sníženým odvodem tepla, více tepla se uvolňuje na rozhraní měkké a kalcifikované tkáně – využití ve fyzioterapii

- Kavitační** – viz dále

- **„jiné“** – tixotropní a emulgační efekt, zvýšení propustnosti membrán, urychlování difuze – ovlivňování rychlosti chemických reakcí, vznik vibračních potenciálů aj.

Historická pozorování kavitace a první pokus o matematické zpracování problému



Sir John Isaac Thornycroft (1843 - 1928, loďař, britský konstruktér válečných plavidel) a Sidney Barnaby pozorují v roce 1895 kavitační účinky turbulencí na lodní šroub (HMS Daring)



Lord (John William Strutt) Rayleigh, 1842 – 1919, první zpracovává matematicky radiální kmity bubliny v kapalině - na zakázku britského válečného námořnictva

Od Paula Langevina a sonaru k UZ terapii a diagnostice



Po katastrofě Titanicu (1911) a ponorkové válce vzniká potřeba včasné výstrahy. Paul Langevin (1872 – 1946) a jeho spolupracovník Chilowski patentují ultrazvukový echolokační systém (1918). Bylo umožněno efektivní a řízené vyzařování ultrazvuku do vodného prostředí.

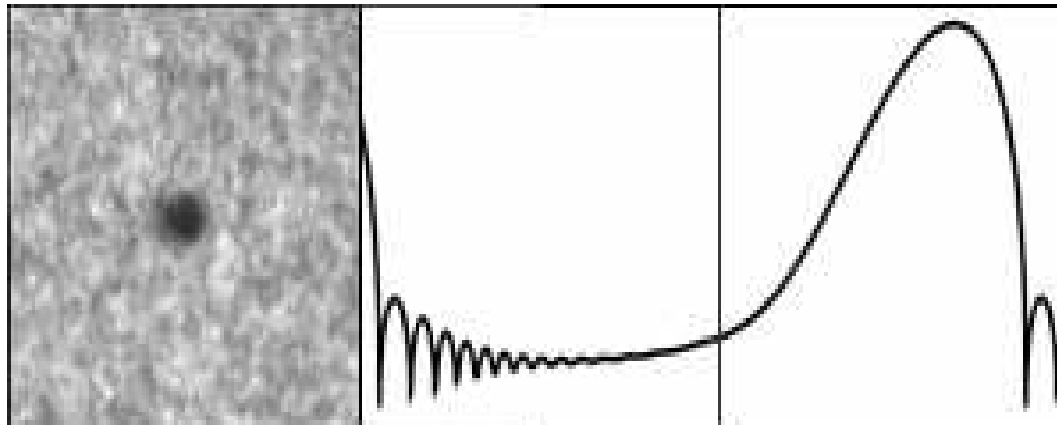
Wood a Loomis (1926, 1927) – chem. a biol. působení UZ kavitace.
Sokolov (1937), Firestone (1942) - UZ odrazový defektoskop
čtyřicátá léta - začátky ultrazvukové fyzioterapie
padesátá léta - začátky aplikací UZ ve stomatologii
Wild (1950) - statické zobrazení B
Satomura (1957) - dopplerovské měření pohybu myokardu

Co to je kavitace?

- Kmity mikrobublin, nejčastěji vzduchových ve vodě, které jsou RADIÁLNÍ = periodické změny poloměru.
- Tři druhy kavitace:
 - Přechodná (*transient*, též kolapsová) - I_{UZ} nad $\sim 100 \text{ W/cm}^2$ (1MW/m^2)
 - Rezonanční neboli pseudokavitace - I_{UZ} řádově nad $0,1 \text{ W/cm}^2$ (1kW/m^2)
 - Aktivace plynových těles (*gas body activation*)
- Kavitační prahy: (obecně různé) - pro mechanické účinky, sonoluminiscenci, chemické účinky, Blakeův práh (přechod ke kolapsově kavitaci).

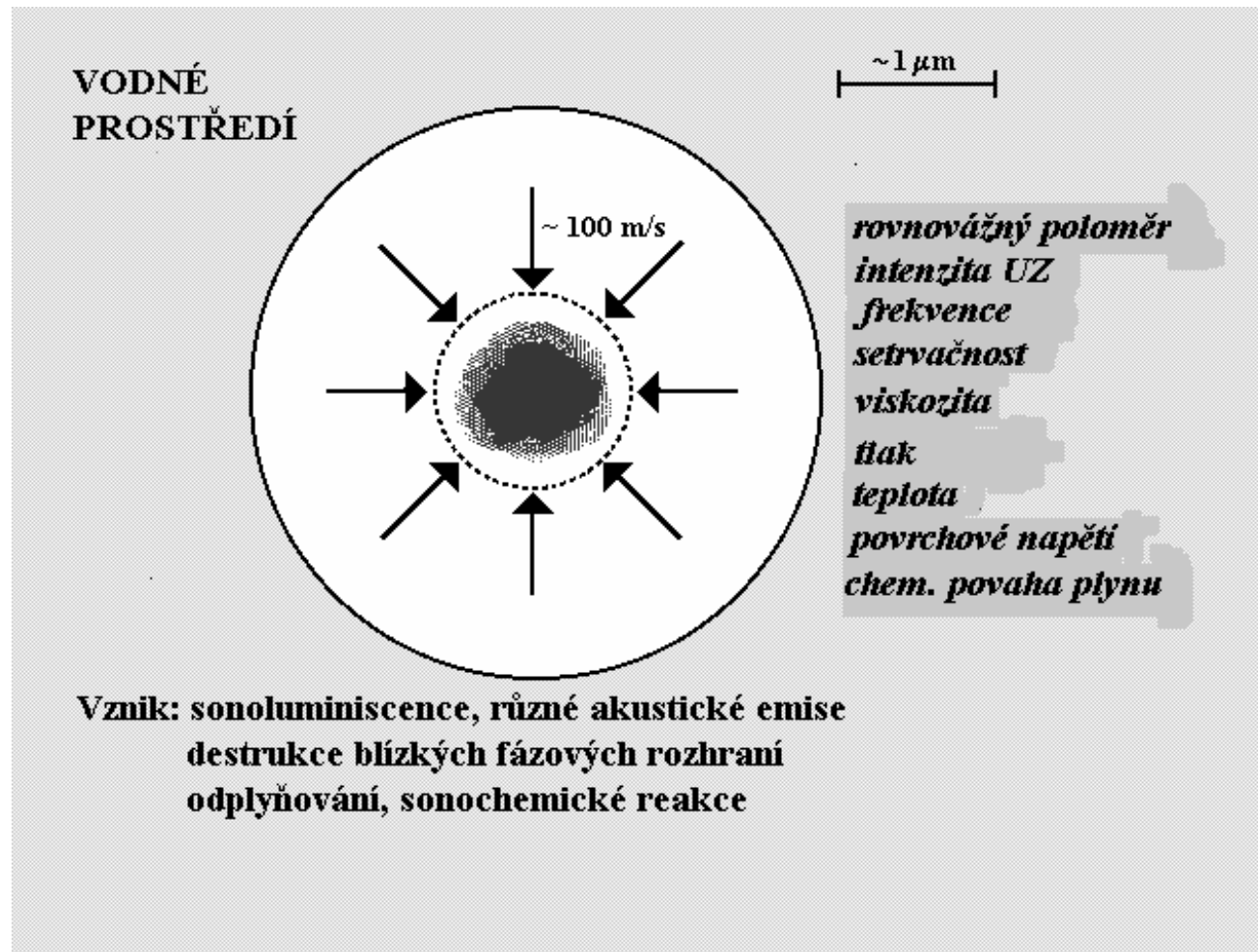
Kmity kavitační bubliny

- Kmity kavitačních bublin jsou neharmonické, jejich časový průběh ($r = f(t)$) není sinusový (na rozdíl od průběhu akustického tlaku v okolní kapalině)



Převzato z Reinhard Geisler (DPI), 1997
<http://www.physik3.gwdg.de/~rgeisle/nld/blaf.html>

Kompresie mikrobubliny



Chování mikrobublin na rozhraní kapalné a pevné fáze



<http://www.scs.uiuc.edu/~suslick/excsummsono.html>: THE CHEMICAL AND PHYSICAL EFFECTS OF ULTRASOUND
Kenneth S. Suslick



Crum L.A., Cavitation microjets as a contributory mechanism for renal calculi disintegration in ESWL, J. Urol. 140, 1988, p. 1587 - 1590

AFM snímky leštěného povrchu platiny před a po aplikaci UZ, kavitační poškození mosazné destičky



EROZE ↓↓↓↓



http://www.fb-chemie.uni-rostock.de/ess/sonochem_image.htm

Jak lze kavitaci zkoumat?

- **PROBLÉM FYZIKÁLNÍ:** Kavítace jako fenomén na pomezí makrosvětá a mikrosvětá - kavitační bublina je objektem příliš malým a nestabilním pro klasickou fyzikální analýzu a příliš velkým pro analýzu kvantovou.
- **PROBLÉM BIOFYZIKÁLNÍ:** Jak působí kavítace v nitru živých organismů? Jak ovlivňuje toto prostředí samu kavitaci? Lze vůbec kavitaci zkoumat in vivo?

Teoretický popis kavitace

Rayleigh – Plessetova rovnice:

$$\rho \left[R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 \right] + 4\mu \frac{\dot{R}}{R} = P_{g0} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3k} \left[P_v - P_\infty(t) - \frac{2\gamma}{R} \right]$$

μ - dynamická viskozita kapaliny, ρ - hustota kapaliny, γ - povrchové napětí, R_0 - rovnovážný poloměr bubliny, P_{g0} - rovnovážný parciální tlak plynu v bublině, P_v - parciální tlak par kapaliny v bublině, R - okamžitý poloměr bubliny, tečky udávají derivace dle času, k je polytropický koeficient (pro izotermický děj =1, pro adiabatický rovný Poissonově konstantě C_p/C_v), $P_\infty(t)$ je superponovaný tlak, např. periodický akustický tlak UZ. Lze říci, že pravá strana rovnice popisuje tlaky v bublině, přetlak daný povrchovým napětím a vnější, např. akustický tlak. Levá strana zahrnuje „protitlak“ způsobovaný setrvačností kapaliny a vnitřním odporem (viskozitou). Aproximace: předpoklad termodynamické rovnováhy, newtonovské nestlačitelné kapaliny aj.

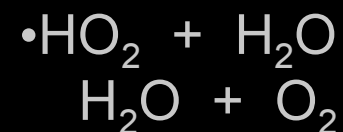
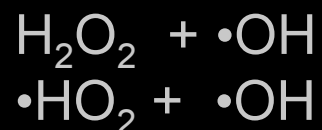
Biofyzikálně relevantní metody studia kavitačních jevů

- akustické (měření akustické emise a změn odrazivosti)
- optické (šlířová metoda zobrazení akustického pole, vysokorychlostní fotografie a stroboskopie, snímání kmitů „ukotvené“ bubliny laserem, měření sonoluminiscence)
- chemické (chemická dozimetrie)
- biologické (hemolýza, histologie - např. výskyt krvácení do plicní tkáně u experimentálních zvířat)
- sledování mechanických stop kavitace např. na kovových foliích vložených do UZ pole.

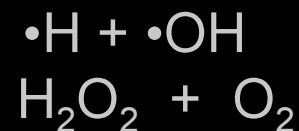
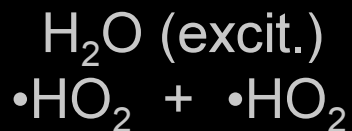
Jaká je použitelnost těchto metod in vivo?

Sonochemie vodných roztoků nasycených vzduchem

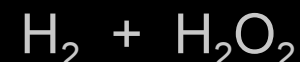
Sonolýzu vody lze srovnat s radiolýzou vody. V nitru kavitačních bublin dochází k excitaci molekul plynu. Za nepřítomnosti kyslíku se v ozvučované vodě může objevit kyslík v důsledku těchto reakcí :



V plynné fázi je pravděpodobnější reakce, při které vzniká i peroxid vodíků :



V okolní kapalině mohou excitované molekuly vody také vstoupit do reakcí, vedoucích k prvotním produktům sonolýzy vody:



Jiné sonochemické procesy

- Existuje řada látek, které snižují intenzitu ultrazvukové kavitace a tím i výtěžnost sonochemických reakcí. Pronikají do kavitační bubliny a brání tak jejímu zmenšování nebo kolapsu – např. různé alkoholy, étery a aldehydy vyznačující se vysokou tenzí par. Dále inhibují chemický účinek kavitace některé plyny, jako CO_2 , CO , H_2S , N_2O .

Chemické dozimetrické metody

Frickeho dozimetr využívá oxidace Fe^{2+} na Fe^{3+} .

Jodidová dozimetrie: KI rozpuštěný v destilované vodě. Po ozvučení je měřena koncentrace vyloučeného jódu.

Cerový dozimetr využívá redukci Ce^{4+} na Ce^{3+}

Taplinův dozimetr dvousložkový dozimetr - chloroform převrstvený vodou. Vzniká HCl, měří se pH.

Stanovení H_2O_2 na základě měření **luminiscence luminolu**.

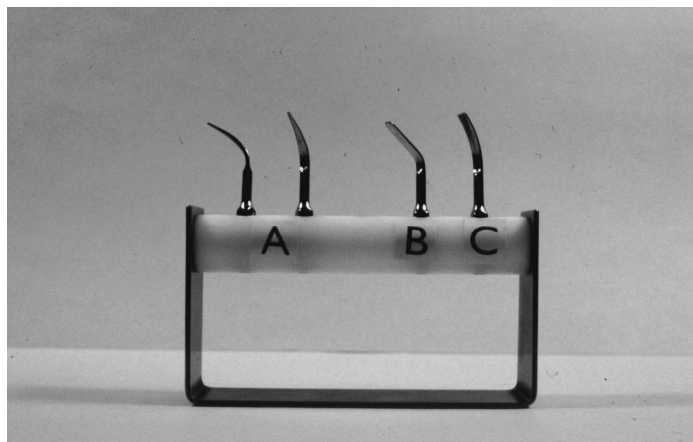
Fluorescence kys. tereftalové po interakci s volnými radikály.

Uvolňování chlóru z **tetrachlórmetanu**. Chlór vytváří barevnou sloučeninu s O-tolidinem

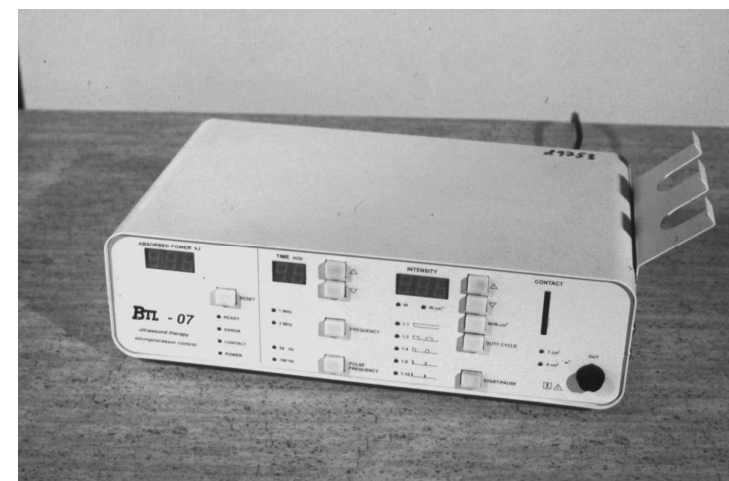
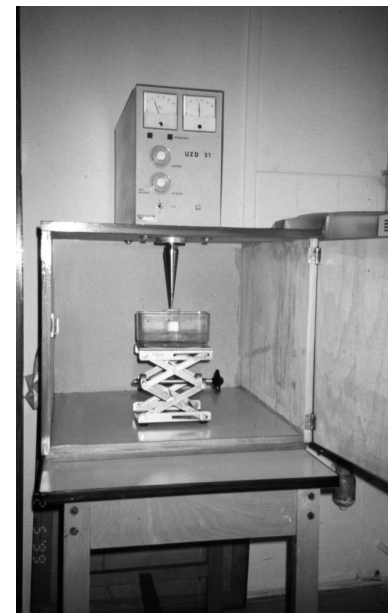
Použité zdroje ultrazvuku



Piezon Master 400



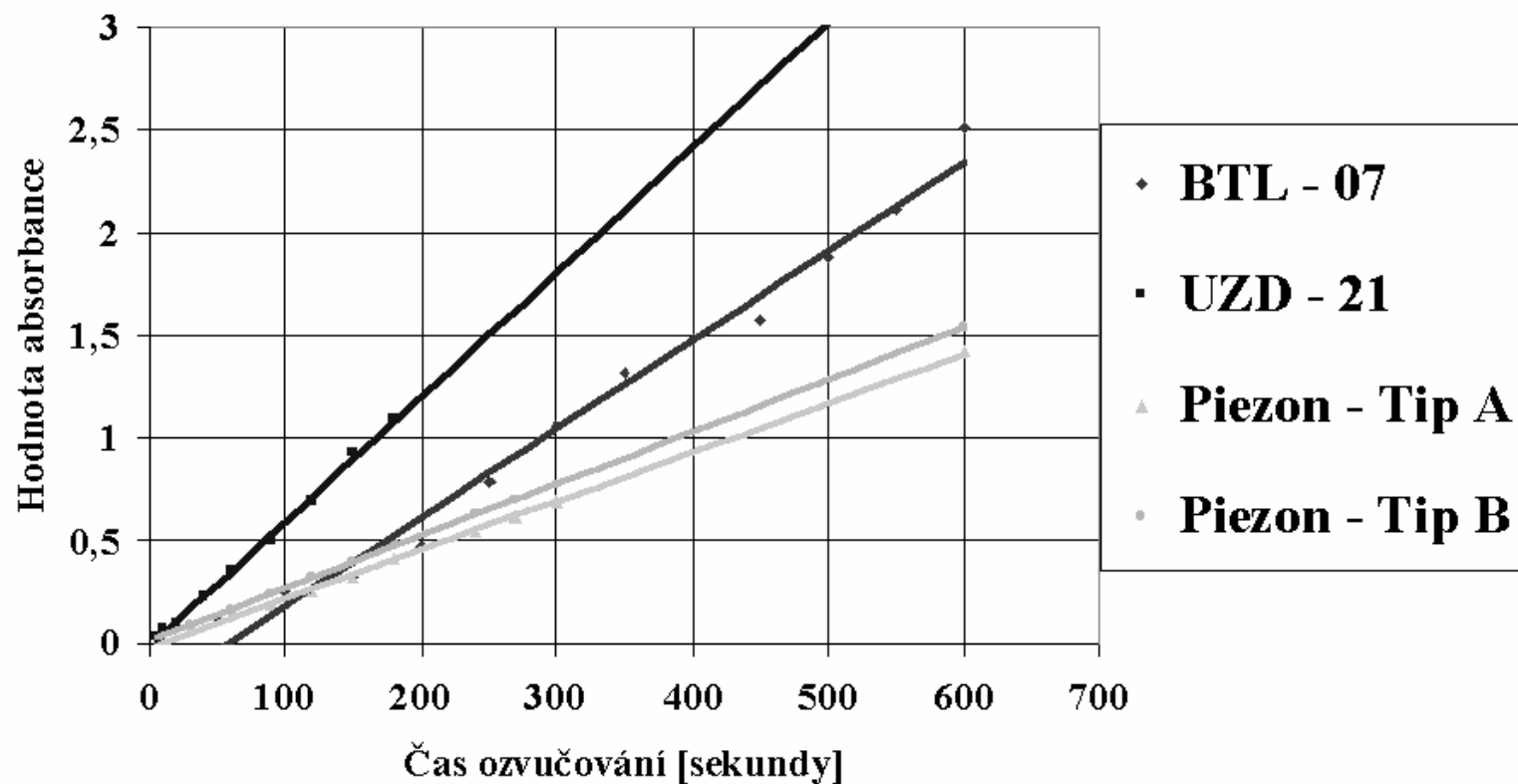
UZD - 21



BTL - 07

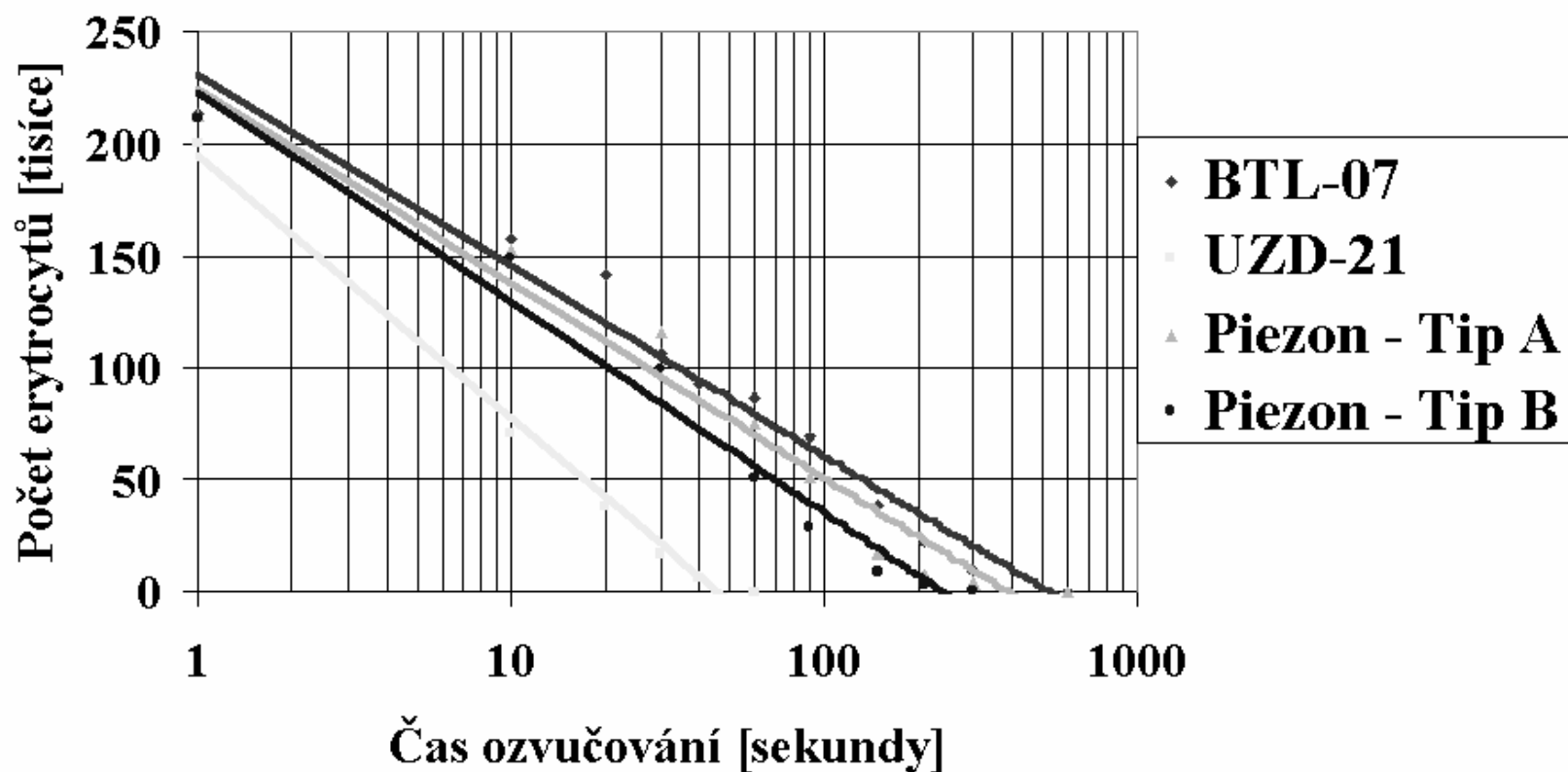
Jodidová dozimetrie kavitace buzené přístroji Piezon Master 400, BTL 07 a UZD 21 – měření absorbance prováděno při 350 nm

Srovnání kavitačních účinků u jodidové dozimetrie



Hemolýza jako účinek UZ kavitace

Srovnání kavitačních účinků u suspenze erytrocytů



Kavitace - jev v medicíně žádoucí i nežádoucí

- **Rizika:** v ultrasonografii i dopplerovské diagnostice, se zvláštním zřetelem ke kontrastním prostředkům, vnášejícím do prostředí zárodky kavitačních bublin. Plíce.
- **ESWL** po použití kontrastních prostředků.
- Vedlejší účinný mechanismus: aplikace rázových vln, stomatologický ultrazvuk
- Hlavní účinný mechanismus: chirurgické aplikace, fakoemulgátory, nebulizéry, dezintegrátory, čističky

- **Mechanický index** $MI = I_{UZ} / \sqrt{f} \quad [W \cdot cm^{-2}, MHz]^{17}$



HAL Series



Závěry

Ultrazvuková kavitace je významnou komponentou biofyzikálních účinků UZ.

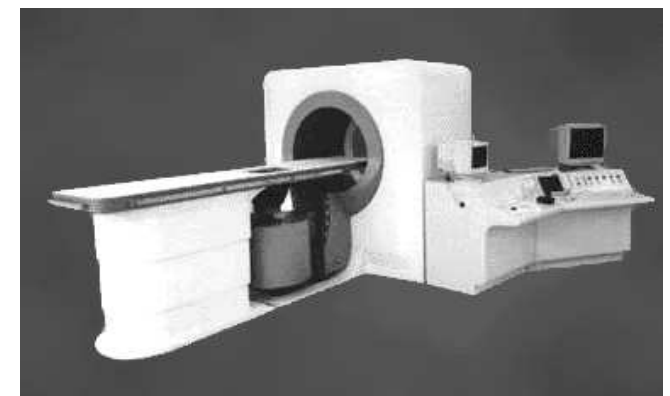
Je buzena i za podmínek, které jsou srovnatelné s terapeutickými aplikacemi UZ

V oblasti diagnostiky je chápána jako potenciální riziko při extrémních expozicích, respektive za přítomnosti kontrastních prostředků na bázi mikrobublin

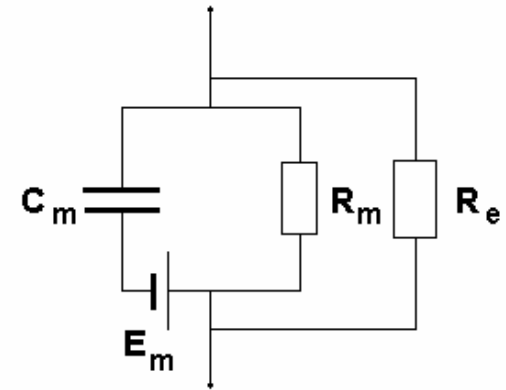
- Stále testování nových diagnostických i terapeutických metod z hlediska kavitační bezpečnosti – oblast zájmu "Komise pro bezpečnost ultrazvukového záření" při EFSUMB (*European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology*)
- Hledání a optimalizace metod kvantifikace kavitačních jevů *in vivo*
- Využití kavitace v chirurgii – HIFU (High Intensity Focused Ultrasound) a LMRV (buzení kavitace dvojitými rázovými vlnami)

Perspektivy

Levovist



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

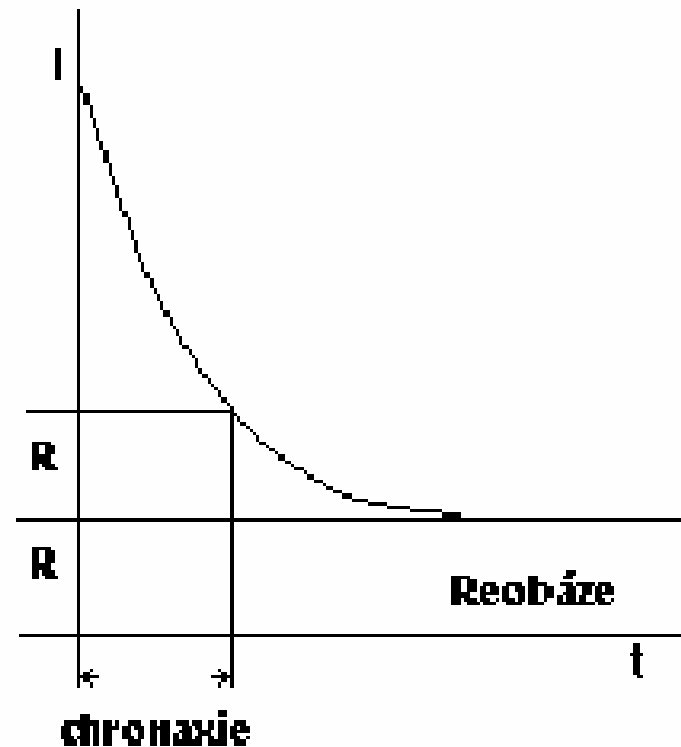
- Ve tkáních nejsou všechny náboje volné, často jsou vázány na makromolekuly, které jsou integrální součástí buněčných struktur a mají omezenou pohyblivost. Makromolekuly se chovají jako **elektrické dipóly** - různě orientované - jejich dipólové momenty se navzájem ruší.
- Působením zevního elektrického 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 \sim 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.

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**.

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.

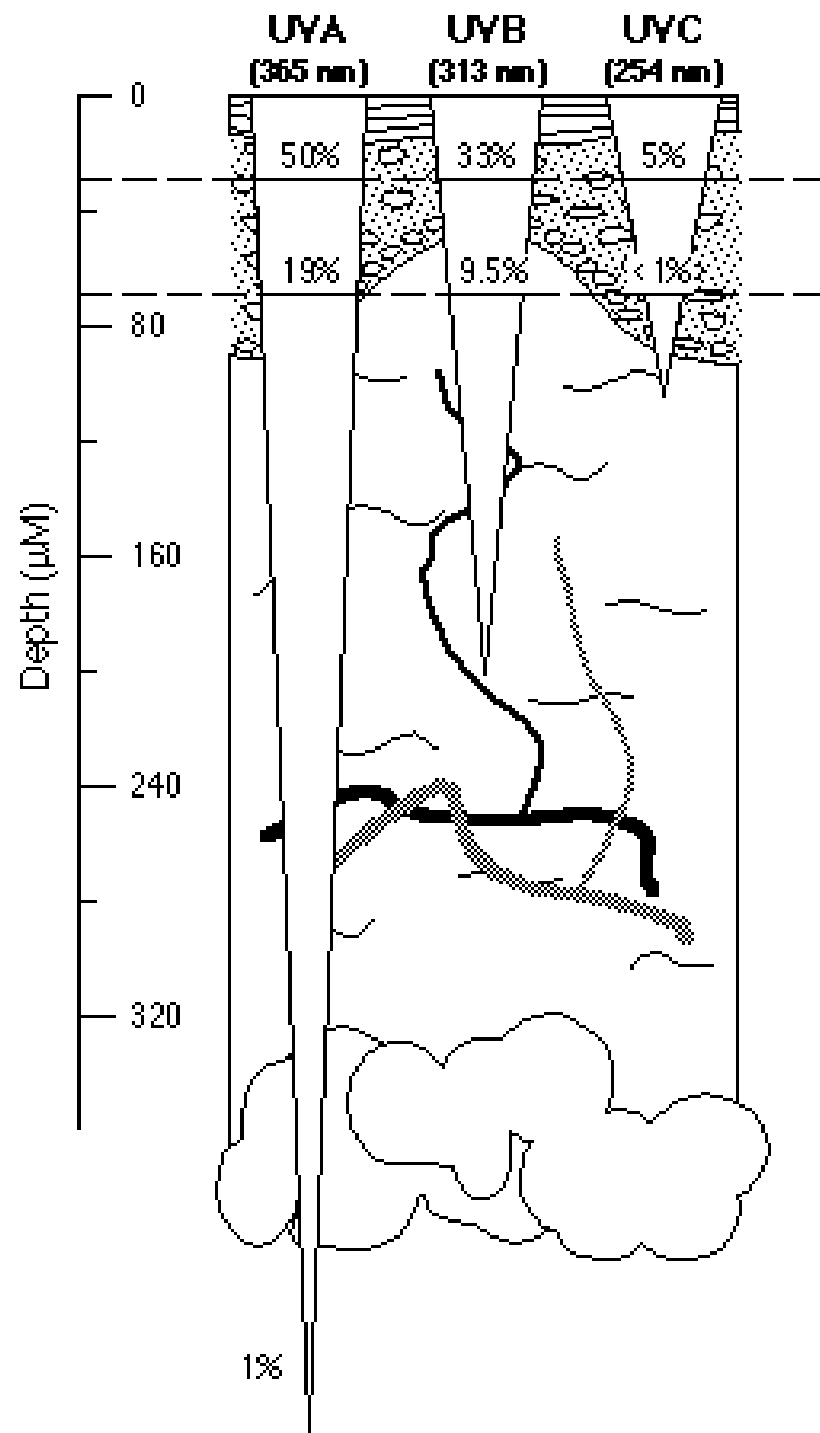
Účinky viditelného světla

- 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.

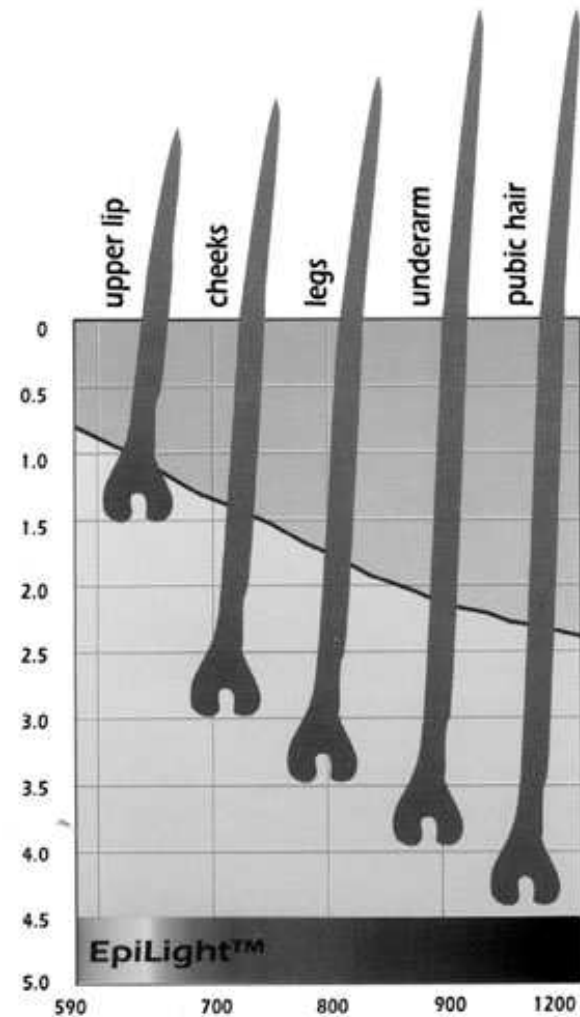


Účinky infračerveného záření

- 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>



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!

