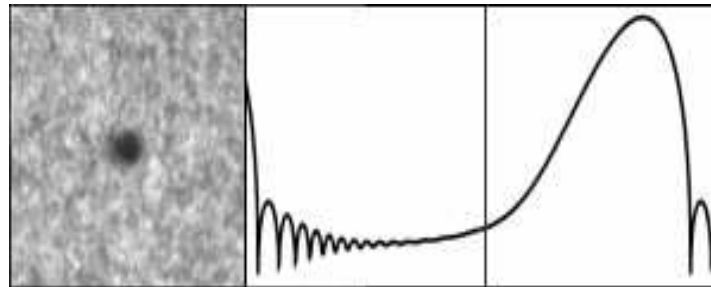


# Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně



**Biologické účinky  
mechanických faktorů a  
neionizujícího záření**

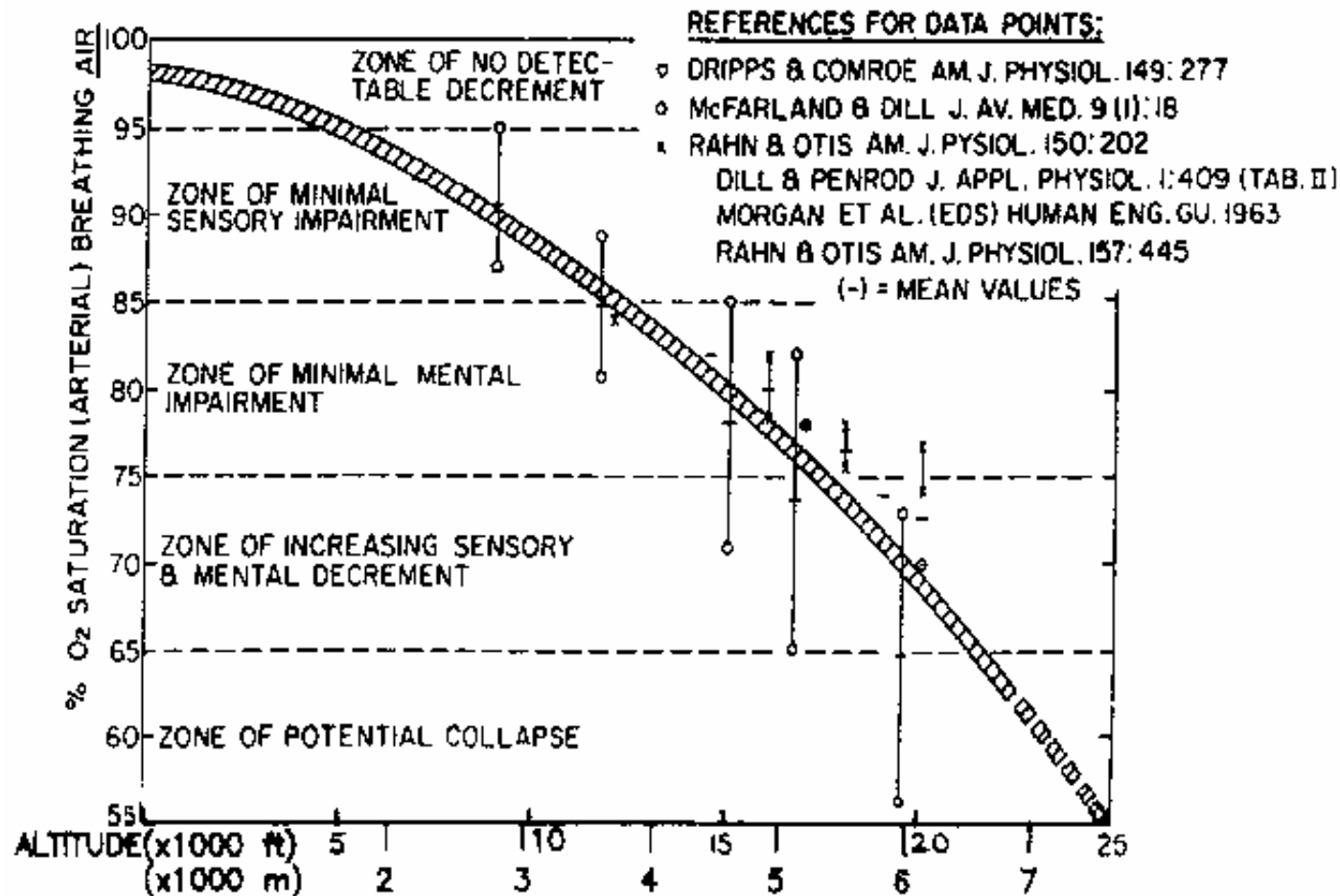
# Účinky podtlaku

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>



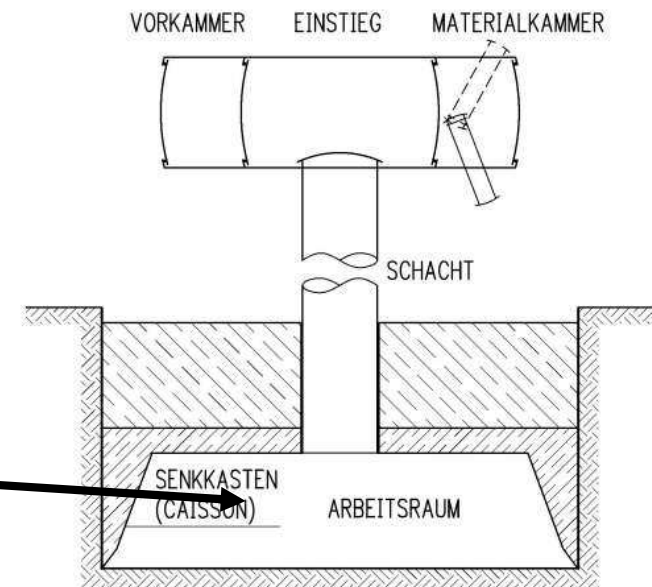
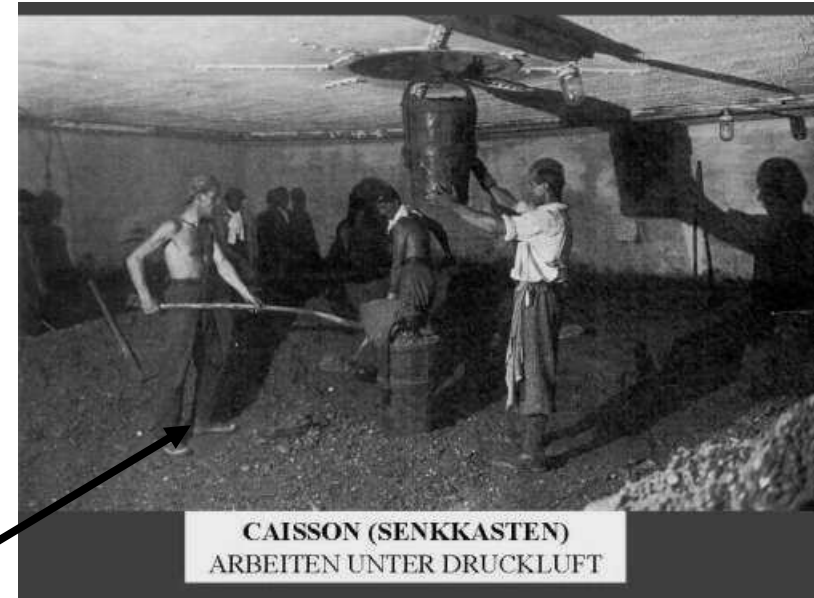
# Účinky přetlaku

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.

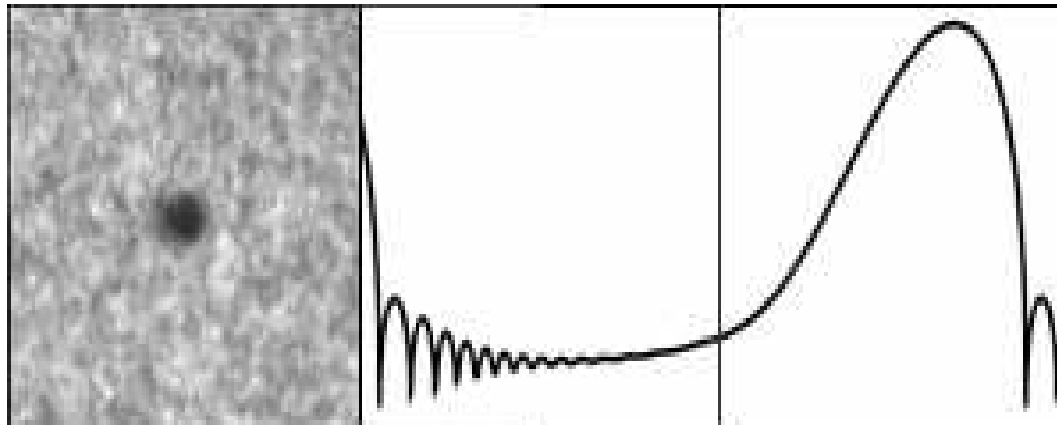
Wood a Loomis (1926, 1927) – chem. a biol. působení UZ kavitace.  
Sokolov (1937), Firestone (1942) - UZ odrazový defektoskop  
čtyřicátá léta - začátky ultrazvukové fyzioterapie  
padesátá léta - začátky aplikací UZ ve stomatologii  
Wild (1950) - statické zobrazení B  
Satomura (1957) - dopplerovské 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  $\sim 100 \text{ W/cm}^2$  ( $1\text{MW/m}^2$ )
  - Rezonanční neboli pseudokavitace -  $I_{UZ}$  řádově nad  $0,1 \text{ W/cm}^2$  ( $1\text{kW/m}^2$ )
  - Aktivace plynových těles (*gas body activation*)
- Kavitační prahy: (obecně různé) - pro mechanické účinky, sonoluminiscenci, chemické účinky, Blakeův práh (přechod ke kolapsově kavitaci).

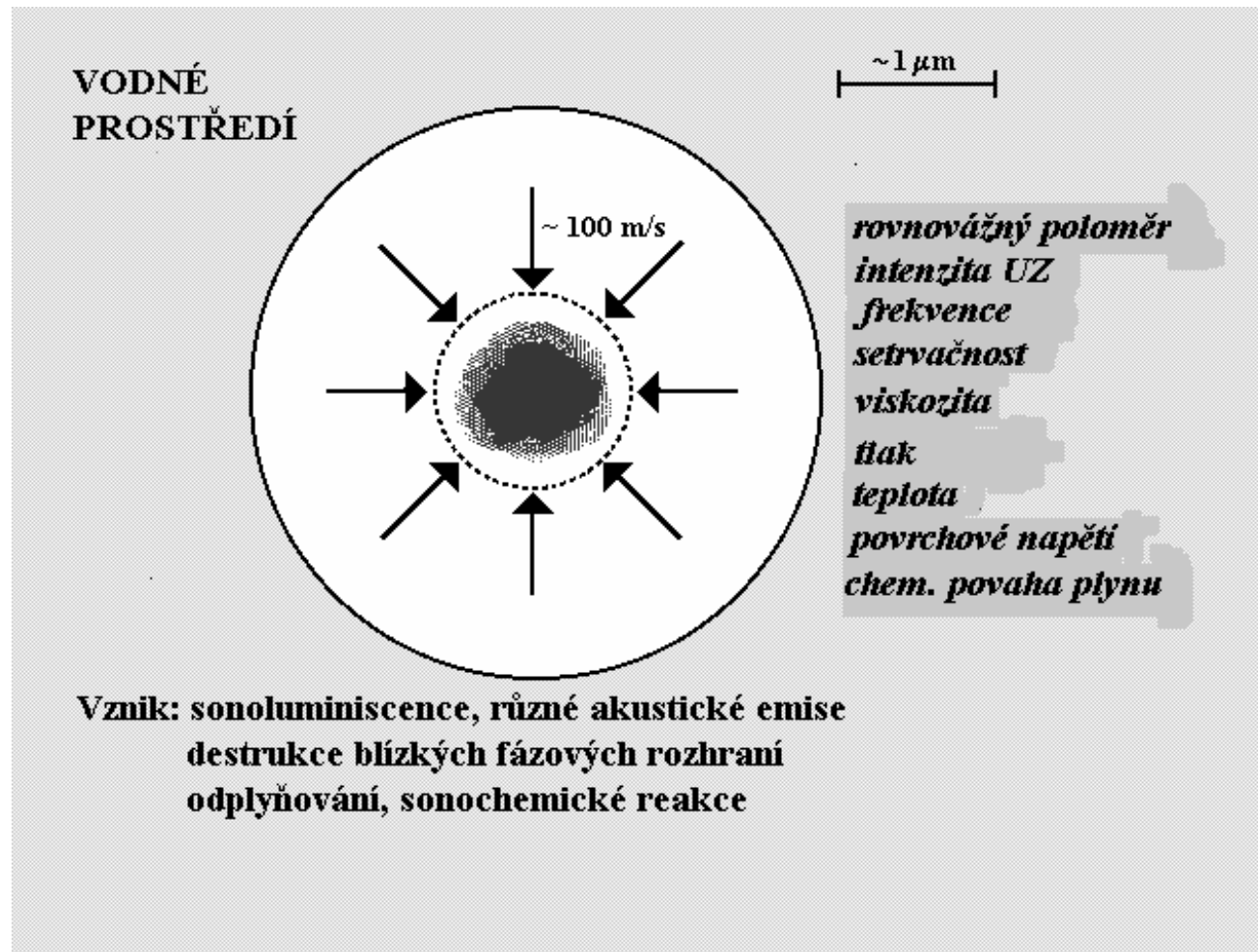
# Kmity kavitační bubliny

- 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>

# Kompresa 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](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:

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

$\mu$  - dynamická viskozita kapaliny,  $\rho$  - hustota kapaliny,  $\gamma$  - 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.

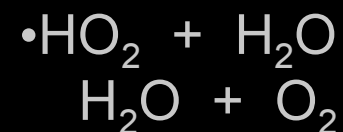
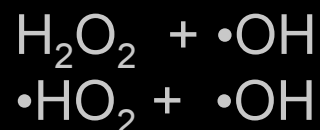
# Biofyzikálně relevantní metody studia kavitačních jevů

- 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.

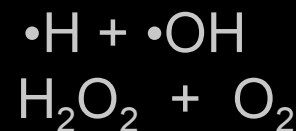
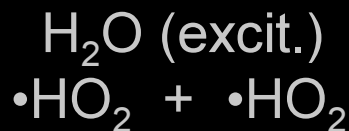
*Jaká je použitelnost těchto metod in vivo?*

# Sonochemie vodných roztoků nasycených vzduchem

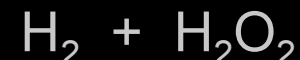
Sonolýzu vody lze srovnat s radiolýzou vody. V nitru kavitačních bublin dochází k excitaci molekul plynu. Za nepřítomnosti kyslíku se v ozvučované vodě může objevit kyslík v důsledku těchto reakcí :



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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ .

# Chemické dozimetrické metody

**Frickeho dozimetr** využívá oxidace  $\text{Fe}^{2+}$  na  $\text{Fe}^{3+}$ .

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

**Cerový dozimetr** využívá redukci  $\text{Ce}^{4+}$  na  $\text{Ce}^{3+}$

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

Stanovení  $\text{H}_2\text{O}_2$  na základě měření **luminiscence luminolu**.

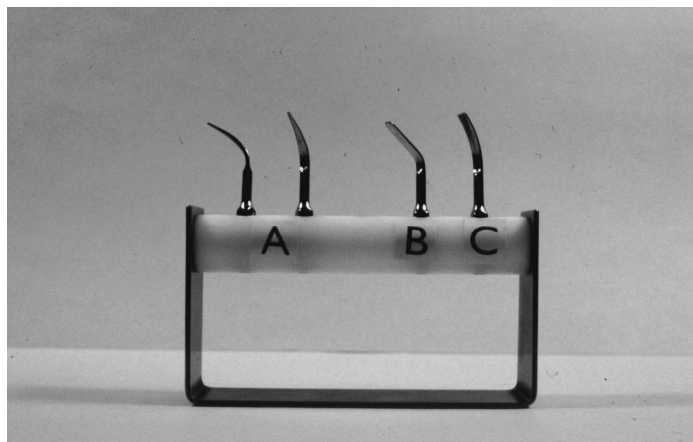
**Fluorescence kys. tereftalové** po interakci s volnými radikály.

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

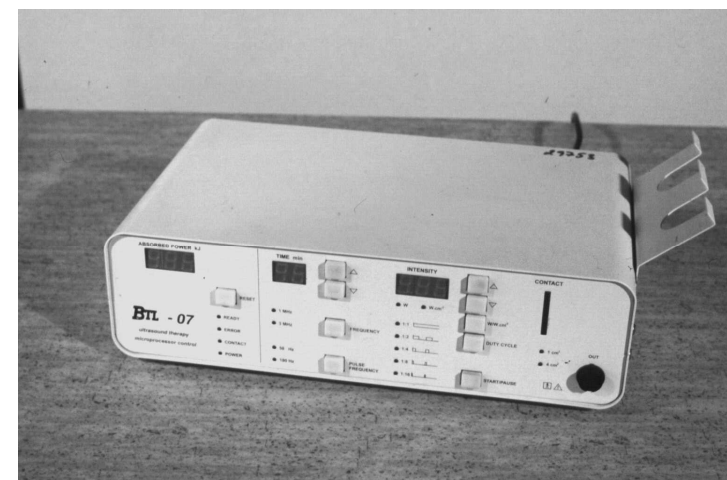
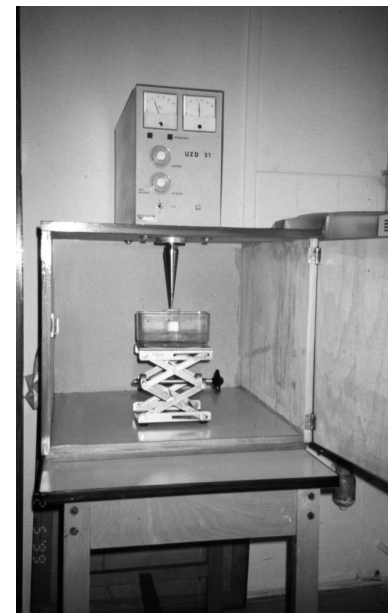
# Použité zdroje ultrazvuku



Piezon Master 400



UZD - 21

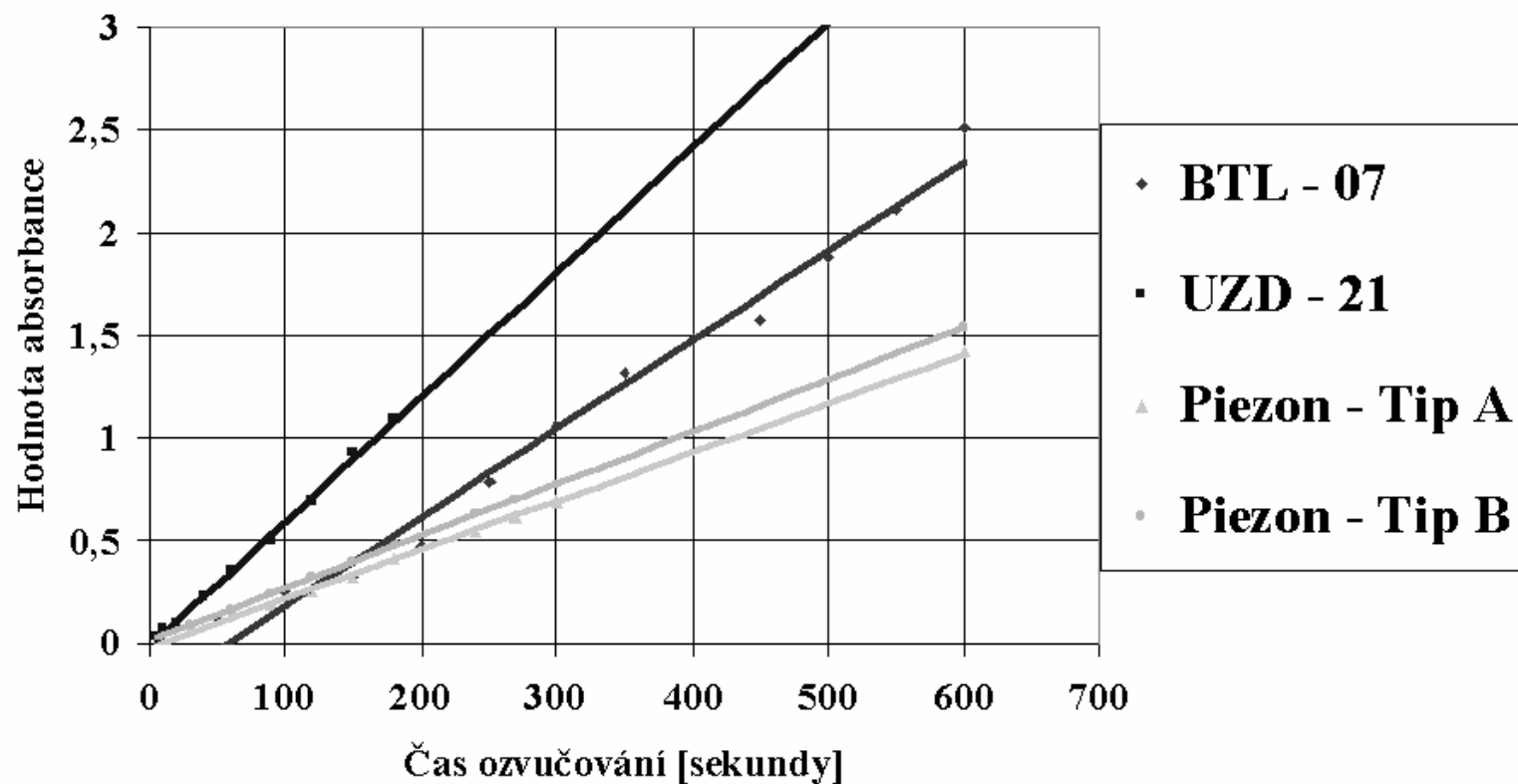


BTL - 07



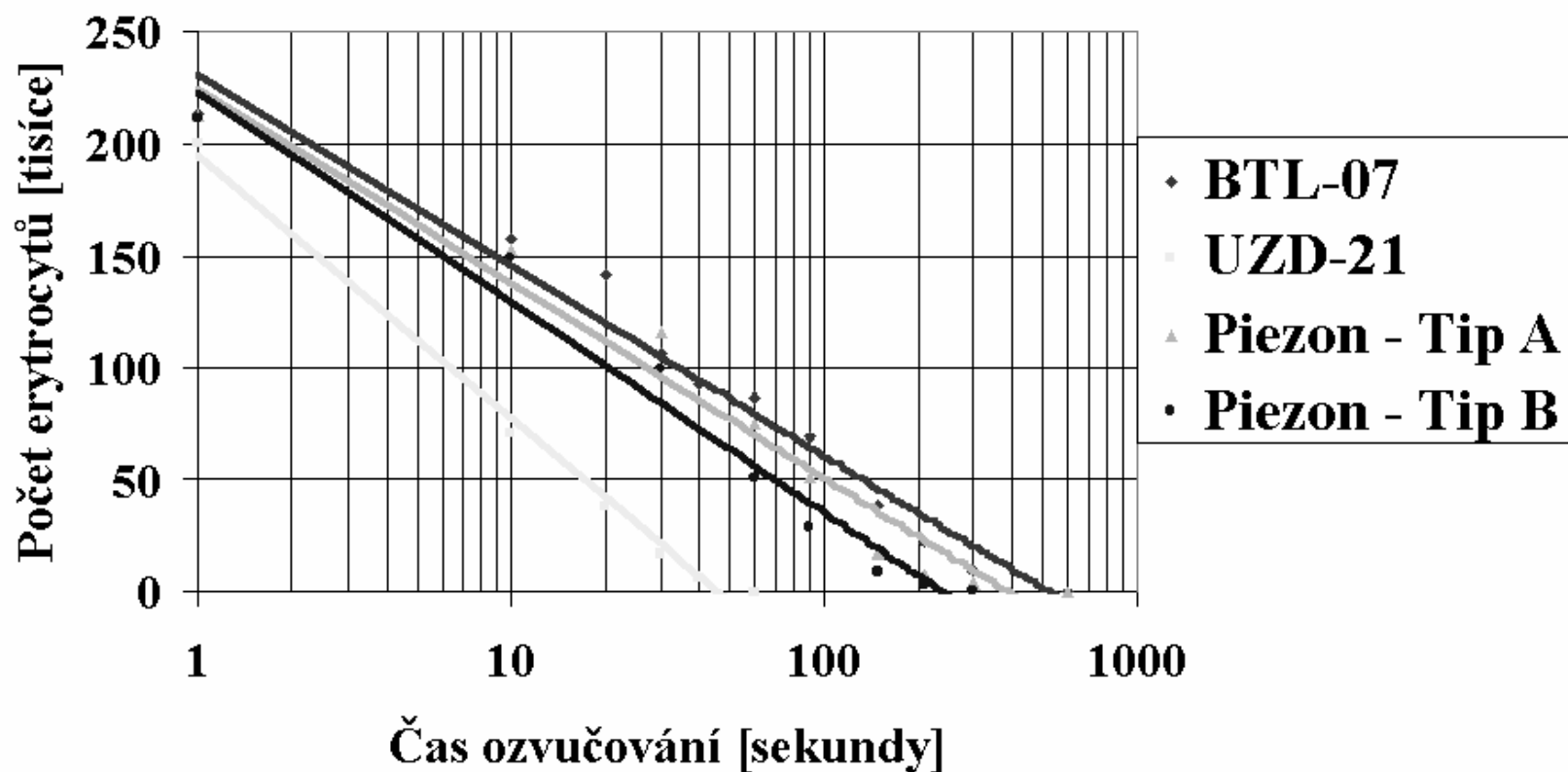
# Jodidová dozimetrie kavitace buzené přístroji Piezon Master 400, BTL 07 a UZD 21 – měření absorbance prováděno při 350 nm

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.**

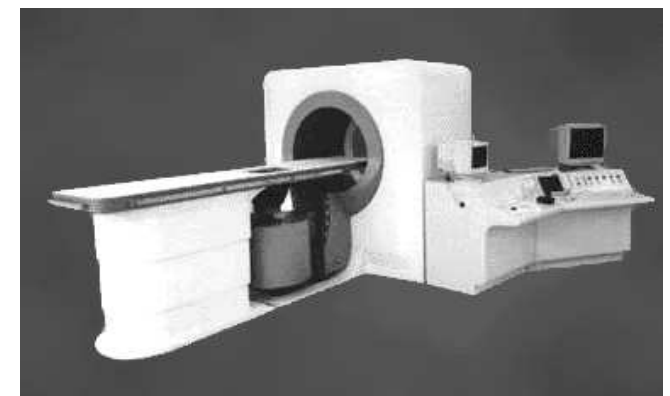
**Je buzena i za podmínek, které jsou srovnatelné s terapeutickými aplikacemi UZ**

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

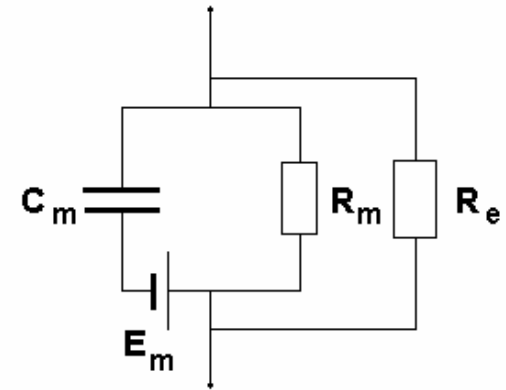
- Stále testování nových diagnostických i terapeutických metod z hlediska kavitační bezpečnosti – oblast zájmu "Komise pro bezpečnost ultrazvukového záření" při EFSUMB (*European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology*)
- Hledání a optimalizace metod kvantifikace kavitačních jevů *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 [<math>\Omega m</math>]</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

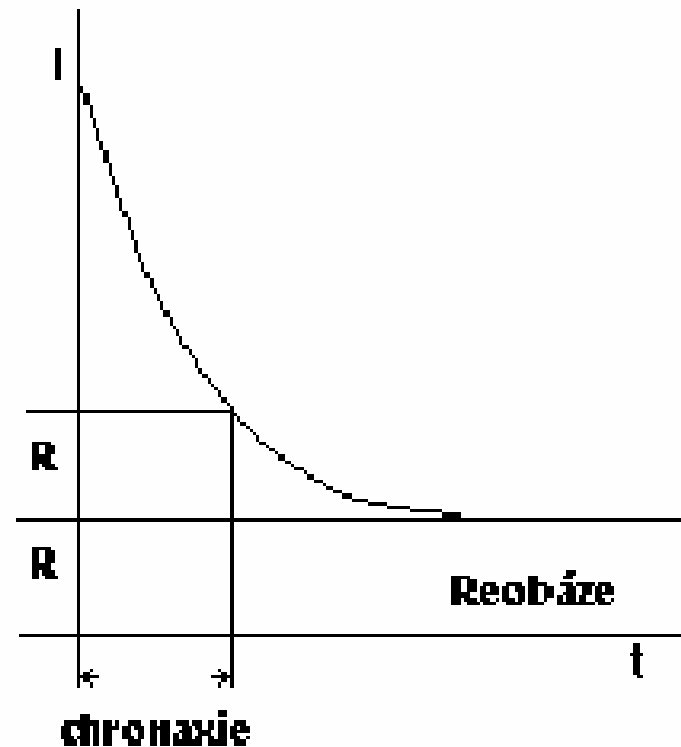
- Ve tkáních nejsou všechny náboje volné, často jsou vázány na makromolekuly, které jsou integrální součástí buněčných struktur a mají omezenou pohyblivost. Makromolekuly se chovají jako **elektrické dipóly** - různě orientované - jejich dipólové momenty se navzájem ruší.
- Působením zevního elektrického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

# 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  $\zeta$  (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*  $\mu$ :

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

- **Ferromagnetické látky** -  $\mu_r \gg 1$ .
- **Diamagnetické** -  $\mu_r$  je nepatrně nižší než 1
- **Paramagnetických** -  $\mu_r$  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  $\mu\text{m}$
- **IR-B** 1,4 - 3,0  $\mu\text{m}$
- **IR-C** 3,0  $\mu\text{m}$  - 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 ( $\Delta E_e$ ) - vzniká excitovaný stav. Absorpční spektrum je nespojité. K excitaci dochází především ve valenční sféře.
- Energetický stav  $\Delta E$  **izolované molekuly** je v zásadě dán součtem energie elektronů  $\Delta E_e$  odpovídající elektronové konfiguraci, energie vibrační  $\Delta E_v$  a energie rotační  $\Delta E_r$ . 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

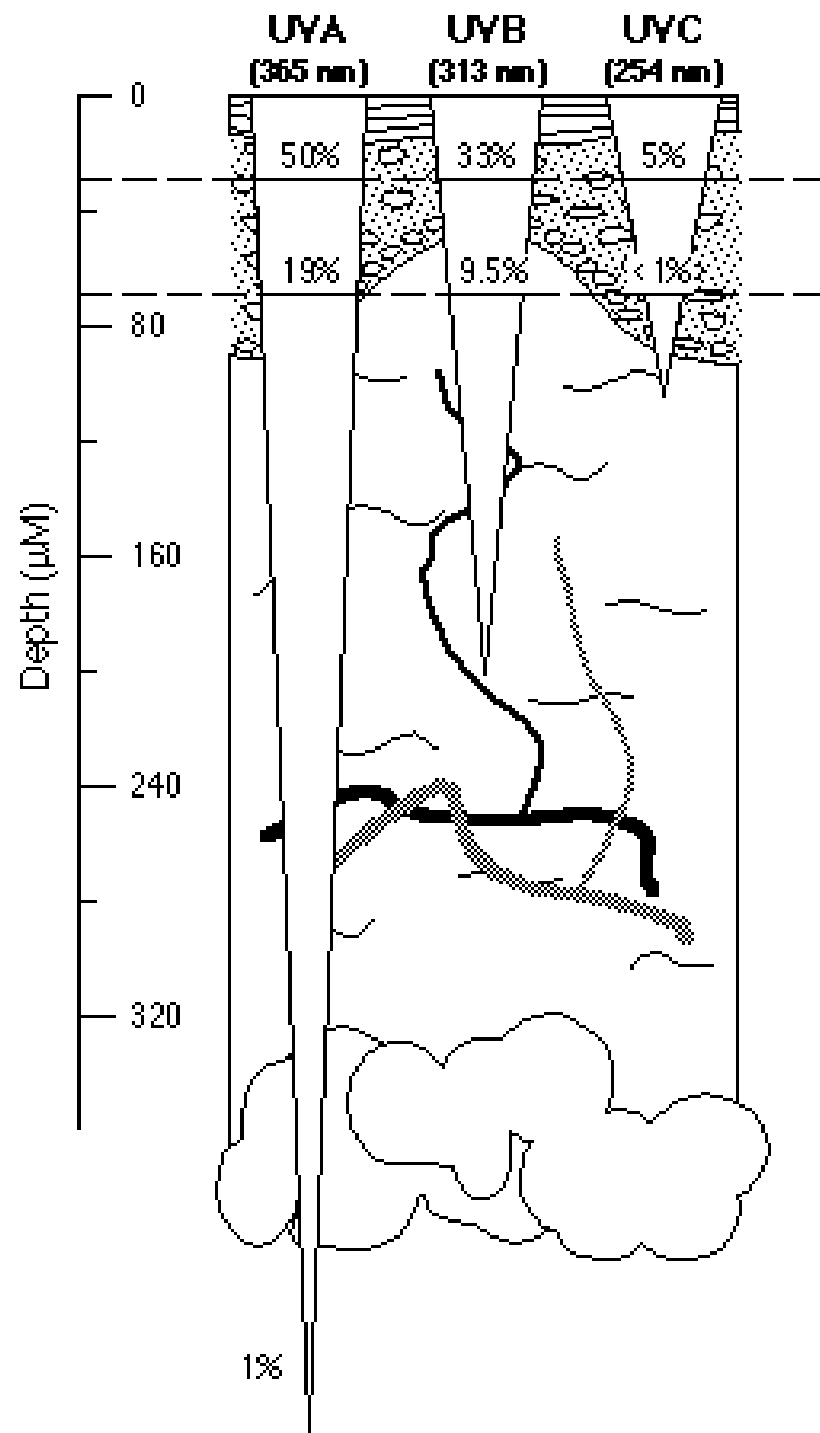
- Fotosyntéza → biochemie
- Fotorecepce → biofyzika zrakového analyzátoru

# 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.

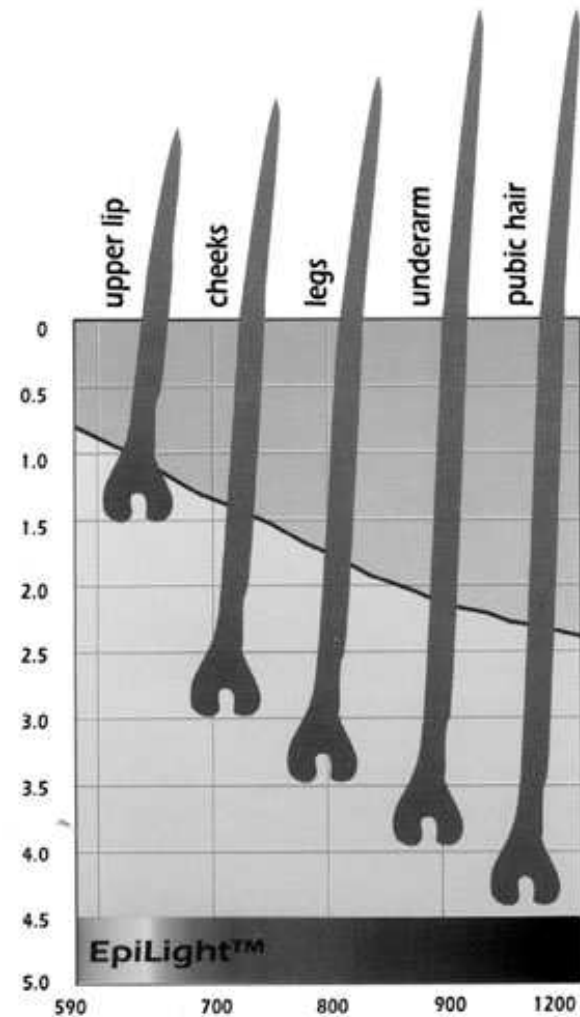


# Účinky infračerveného záření

- 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!

