

Terapeutický ultrazvuk

Petr Nádeníček, Martin Sedlář

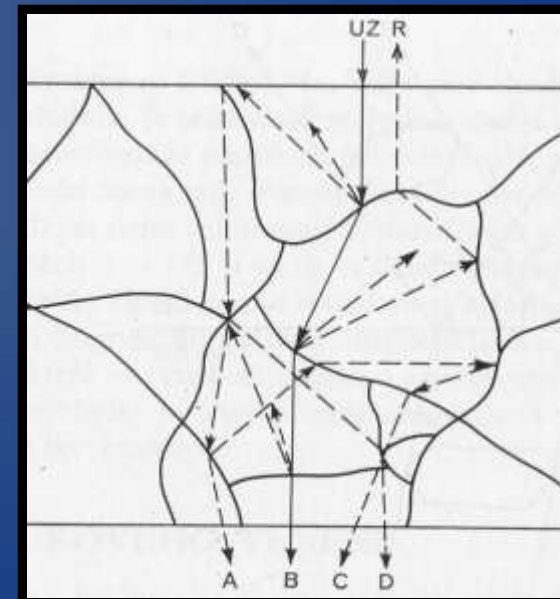
Ultrazvuková terapie

- Podkladem:
 - tepelné účinky
 - fyzikálně-chemické účinky
 - mechanické účinky

Tepelné účinky

- Absorpce a přeměna akustické energie v teplo.
- Vnitřní tření ve tkáních, relaxační procesy
- Nehomogenita struktury
- Akustický odpor tkáně
- Ohřev na akustických rozhraních
- Intenzita a frekvence ultrazvuku

Hrazdira I. 1993, Čech E. a spol. 1982



Netepelné účinky – kavitace

1. Mechanické

- kavitace

2. Chemické

- volné radikály, snížení pH prostředí



N_3 , tryptofan, fenylalanin



Mornstein V. et al. 1994, Morstein V. 1982,

Leighton T.G. 1989, Gavrilov L.R. 1988, Holland

Ch.K. 1989

Netepelné-nekavitační účinky

- Mechanické jevy vázané na vysokou frekvenci ultrazvuku při nepřítomnosti kavitace
- „**Mechanický stres**“
- **Viskózní tlak, Radiační síla**
- Mikroproudění v blízkosti fázových rozhraní, hydrodynamické tlakové síly
- Ovlivnění propustnosti membrán, rychlosti difúze, elektrických vlastností buněčného povrchu, aktivity enzymů

Ultrazvuková terapie

- Součásti přístroje:
 - generátor vysokofrekvenčních elektrických impulzů
 - aplikační hlavice s piezoelektrickým měničem

Terapeutický ultrazvuk

- Konzervativní terapie
- Invazivní terapie
- Kombinace uz terapie s jinými léčebnými postupy

Konzervativní terapie

- frekvence 0,8 - 1 MHz (vyjíměčně 3 MHz)
- intenzita 0,2-3 W/cm²
- Kontinuální / pulzní
- vysokofrekvenční mikromasáž + ohřev
 - hyperémie
 - zvýšení membránové permeability
 - urchlení difuze ve tkáních
 - tlumivý účinek na přenos nerv. vzruchů
- analgetický a spozmolytický účinek
- zvýšení místního krevního oběhu i metabolismu

Konzervativní terapie - příklady

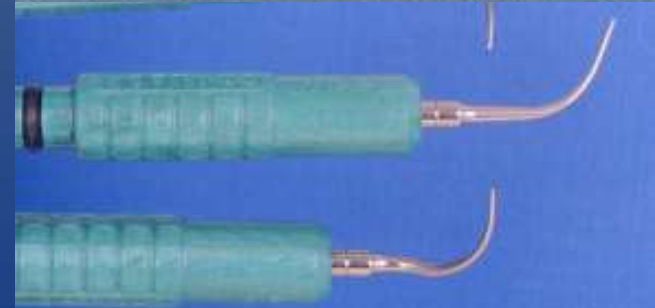
- OFTALMOLOGIE - při terapii krátkozrakosti
 - spazmolytický úč. na ciliární svaly
- STOMATOLOGIE - při terapii žvýkacích svalů
- DERMATOLOGIE- při terapii bércových ulcerací
- NEUROLOGIE - neurostimulace při terapii frenického nervu
- OTORINOLARYNGOLOGIE - při terapii Menierovy nemoci

Invazivní terapie

- Chirurgické nástroje
 - deskalér
 - aspirátor
- ESWL - Extracorporeal Shock Wave Litotripsy - Mimetřelová litotripse rázovými vlnami
- HIFU - High Intensity Focused Ultrasound (fokusovaný ultrazvuk vysoké intenzity)

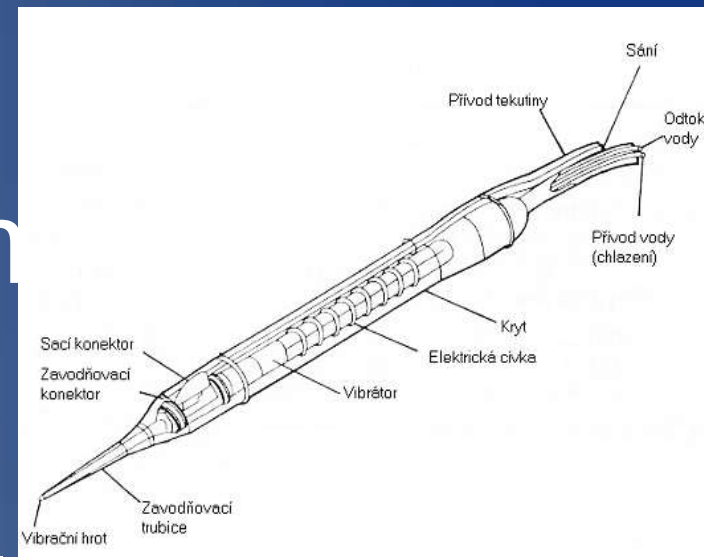
Ultrazvukový deskalér

- stomatologie
- odstraňování zubního kamene
- nízké frekvence
- pracovní nástavec - špička
- mechanicky rozrušuje plak
- princip
 - mechanicky kmitající hrot
 - akustické mikroproudění
 - kavitační účinky
- redukce času i pracnosti



UZ aspirátor - kavitrón

- kavitrón
- speciálně vyvinutý pro potřeby laparoskopické chirurgie, např. laparoskopické cholecystektomie
- fragmentace, řezání konkrementů, koagulace tkání
- přívod kapaliny do místa výkonu + zpětná aspirace tkání
- hrot kmitá 23kHz s vibrační amplitudou 300pm
- kavitace



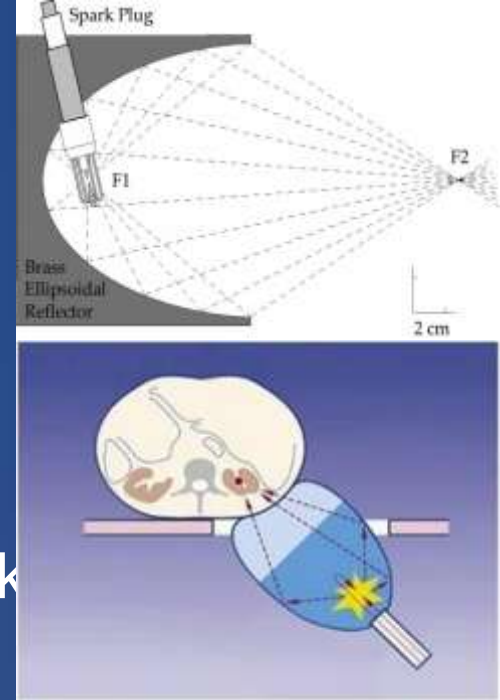
ESWL

- Extracorporeal Shock Wave Litotripsy
- neinvazivní metoda destrukce urolitiasy, cholecystolitiasy a jiných agregátů urogenitálního systému
- Princip:
 - kavitační jev
 - rozdíl ak. impedance kamene a okolní tkáně
 - na rozhraní rychlý nástup tlakového gradientu
 - přesáne-li síla mez pevnosti kamene - fragmentace



ESWL

- Zdroj akustické energie mechanických rázových vln leží mimo tělo pacienta
- způsoby generace rázové vlny:
 - elektro-hydraulicky (jiskřiště), piezoelektricky, elektromagneticky
- od místa vzniku se šíří elipsoidní odraznou plochou fokusovaná vlna dosahující v ohnisku tlak až 10^8 Pa, která je následována vlnou záporného tlaku o amplitudě dostatečně veliké, aby mohla vyvolat kavitaci



ESWL



- v kamenech se vytvoří praskliny, do kterých proniká okolní tekutina
- v těchto prasklinách se ve zvýšené míře uplatňují kavitační jevy - s výslednou destrukcí kamene
 - „osekávání“ kamene
 - centrální praskání (již v počátku expozice)
- při aplikaci 50-4000 rázových vln s průměrem 1000/hod se může dosáhnout úplného rozbití kamenů
- úspěšnost u dětí i dospělých je 57-92% (Schulz-Lampel 2001)

Elektrohydraulická litotripse

- aplikovaná intraoperativně
- princip jako u ESWL



HIFU



- High Intensity Focused Ultrasound
- transuretrální ablace tkáně při benigní hyperplasii prostaty
- $f = 4 \text{ MHz}$, $I = 1680 \text{ W.cm}^{-2}$
- fokusované UZ vlny
- teplota tkání prostaty 80-100 st. C
- mimo ozvučený region nedochází k poškození tkáně
- krvácení 0, koagulace cév

Ultrazvuková hypertermie

- využívá tepelných účinků UZ
- několik uz měničů je zaostřeno do fokusační zóny tkáně (např. nádoru), zde dochází k absorpci akustické energie vlnění a přeměny v teplo.
- teploty 41-45 °C poškozují nádorovou tkáň, zdravé tkáně zůstávají bez poškození.
- kombinace s radioterapií a chemoterapií

Fonoforéza

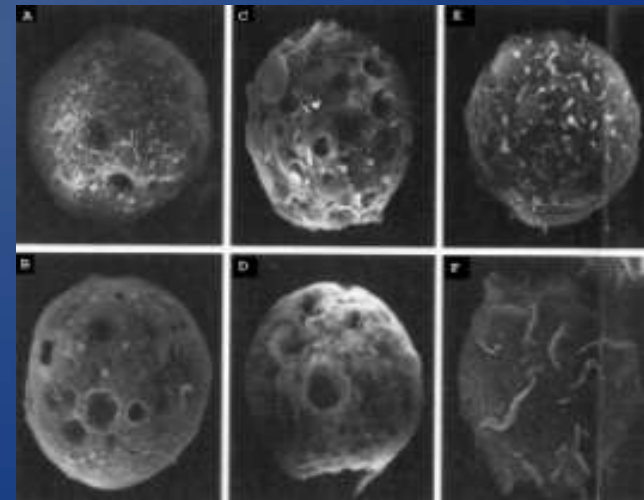
- vpravování léčiv do tkání za podpory ultrazvuku
- zvýšení propustnosti membrán při nebo po aplikaci ultrazvuku

Ultrazvukem asistovaná trombolýza

- $f = 20\text{kHz}$, $P\ 1\text{-}2\text{W}$
- při současném použití UZ a trombolitika dochází k signifikantnímu vzestupu trombolýzy než při samotné aplikaci urokinázy nebo UZ

Destrukce leukemických buněk

- při současném působení UZ ($f=255\text{kHz}$, $I=0,4\text{W.cm}^{-2}$, 30s) a fotosenzitivních látek (erocyanin 540) - selektivní eliminace - destrukce leukemických buněk (HL-60)



Mechanický index MI

- Vyjadřuje stupeň nebezpečí poškození tkáně kavitací
- Závisí na frekvenci a energii vysílaného ultrazvuku

$$MI = \frac{P_{r3}(Z_{sp})}{\sqrt{f_c}}$$

- P_{r3} – akustický tlak v hloubce Z_{sp}
- f_c – střední frekvence ultrazvuku v MHz

MI < 1,9

MI < 0,23 – v oftalmologii

Tepelný index TI

- **Definice:** poměr aktuálně nastaveného celkového výkonu k hodnotě energie, která by zvýšila teplotu tkáně o 1 st. C
- Vyjadřuje stupeň nebezpečí poškození tkáně ultrazukovým ohřevem
- **TI < 4**
- **Čas expozice maximálně 15 minut**

TIS	pro měkkou tkáň – „soft tissue“
TIB	pro kost v hloubce ohniska - „bone“
TIC	pro kost v blízké oblasti – „cranial“

Děkuji za pozornost

Ultrazvuková hypertermie - randomizované studie

Autor studie, rok publikace	Nádor	Počet pacientů	Sledované parametry	Účinnost RT + HT	Účinnost RT
Valdagni, 1993	hlava a krk	41	CR 5letá lok. kontrola 5leté přežívání	83 % 69 % 53 %	41 % 24 % 0 %
Datta, 1990	hlava a krk	65	CR DFI v 1,5 roku	83 % 33 %	41 % 19 %
Overgaard, 1996	maligní melanom	70	CR 2letá lok. kontrola	62 % 46 %	35 % 28 %
Vernon, 1996	karcinom prsu	306	CR	59 %	41 %
Sneed, 1998	glioblastoma multiforme	68	medián přežívání 2leté přežívání	85 týdnů 31 %	76 týdnů 15 %
Van der Zee, 2000	močový měchýř, konečník, čípek děložní	298	CR 3leté přežívání	55 % 30 %	39 % 24 %
Bedrow, 1990	konečník	115	5leté přežívání	36 %	7 %
Datta, 1987	čípek děložní	64	CR	55 %	31 %
Egawa, 1989	povrchové nádory	92	CR + PR	82 %	63 %
Harima, 2001	čípek děložní	40	CR	85 %	50 %
Wang, 1996	jícen	125	3leté přežívání	42 %	24 %
You, 1993	konečník	122	CR	23 %	5 %