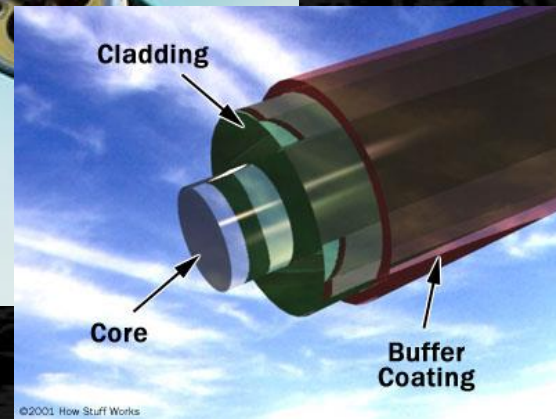


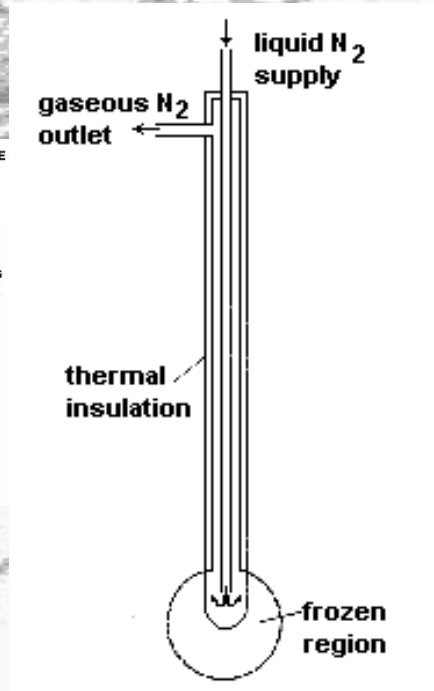
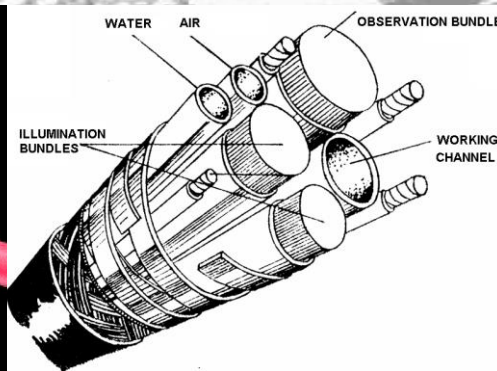
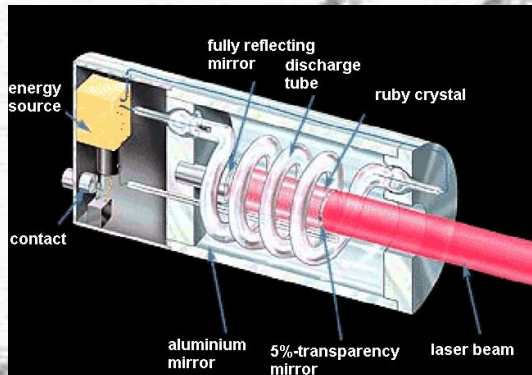
Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno



Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno



Endoskopy, zařízení pro chirurgické odstraňování tkání a litotripty

Obsah přednášky

Tato přednáška se zabývá následujícími biomedicínskými zařízeními:

- Endoskopy
- Lasery
- Elektrochirurgickými přístroji
- Ultrazvukovými chirurgickými přístroji
- Kryochirurgickými zařízeními
- „Vodním skalpelem“
- Litotripty

Endoskopie

- **Endoskopy** jsou přístroje pro vizuální vyšetřování tělesných dutin. Jsou založeny na odrazu a lomu světla.
- Do těla jsou zaváděny buď přirozenými tělesnými otvory (dutinou nosní, hrtanem, hltanem, dýchacími cestami, močovou trubicí, pochvou, konečníkem) nebo chirurgickým řezem (do břišní dutiny, hrudníku, kloubů, mozku).
- Endoskopy můžeme rozdělovat podle tří hledisek: složitosti, způsobu osvětlení a způsobu pozorování.
- Podle složitosti rozlišujeme:
 - Endoskopická zrcadla
 - Endoskopy s pevnými tubusy
 - Fibroskopy a videoendoskopy
 - Endoskopické kapsle
- Endoskopy se také používají pro drobné chirurgické výkony, protože mohou být také vybaveny malými chirurgickými nástroji.

Způsob osvětlení a pozorování

- Osvětlení může být:
 - **Vnitřní:** zdroj světla je součástí zařízení
 - **Vnější:** vyšetřovaná dutina je osvětlena vnějším zdrojem (typicky endoskopická zrcadla).
- U endoskopů s vnitřním osvětlením může být zdroj světla přímo v tělesné dutině (*distální osvětlení*) nebo mimo ni (světlo je do ní zaváděno optickým systémem, *proximální osvětlení*).
- Pozorování dutiny může být:
 - **Přímé**“ lékař používá své vlastní oči i za pomoci nějakého optického systému.
 - **Nepřímé**, jestliže je obraz snímán digitální videokamerou a pozorován na monitoru.

Endoskopická zrcadla

- **Laryngoskop.** Zrcadlo připomínající lžici používané pro pozorování nosohltanu a zadní části dutiny nosní.
- **Otoskop.** Nálevkovitý endoskop vkládaný do vnějšího zvukovodu pro vyšetření jeho distální části a ušního bubínku.
- **Rinoskop.** Nástroj ve tvaru kleští s vnitřními konkávními odrážejícími plochami – pro vyšetřování přední části nosní dutiny.
- **Oční zrcátko.** Ploché nebo konkávní zrcadlo s otvorem uprostřed. Slouží pro vybavení tzv. červeného reflexu – odrazu světla od sítnice.
- Sítnice je vyšetřována přímou oftalmoskopií – **oftalmoskop** je malý průhledový endoskop se zdrojem světla a korekcí refrakční vady lékaře.
- **Vaginální zrcadla** (kolposkop, speculum). Nástroj ve tvaru kleští s vnitřními konkávními odrážejícími plochami – pro vyšetřování pochvy a děložního čípku.

Endoskopická zrcadla



rinoskop

laryngoskop



Magnifying glass viewing lens slides left or right for quick instrumentation.

Insufflator port creates closed system for pneumatic otoscopy to assess middle ear disorders. Apply positive and negative air pressure to view tympanic membrane. Flush-mounted for durability.

Fiber optics transmit light through a 360-degree bundle of optical fibers for accurate, shadow-free exams. The fiber optics extend to the tip of the instrument for more light output, less glare and easier cleaning.

Our Halogen HPX lamp system is the newest innovation in lighting technology today. The lamp uses a high pressure mixture of halogen and xenon gases to provide 30% more light output than before.

Choice of specula: Reusable and disposable KleenSpec® specula or comfortable SofSpec® specula for a snug fit and optimal seal.

Lightweight, durable material: High impact ABS construction is more resilient, offers unmatched durability.

Throat illuminator provides light in a handy built-in penlight.

otoskop

Endoskopická zrcadla



Vaginální zrcadla

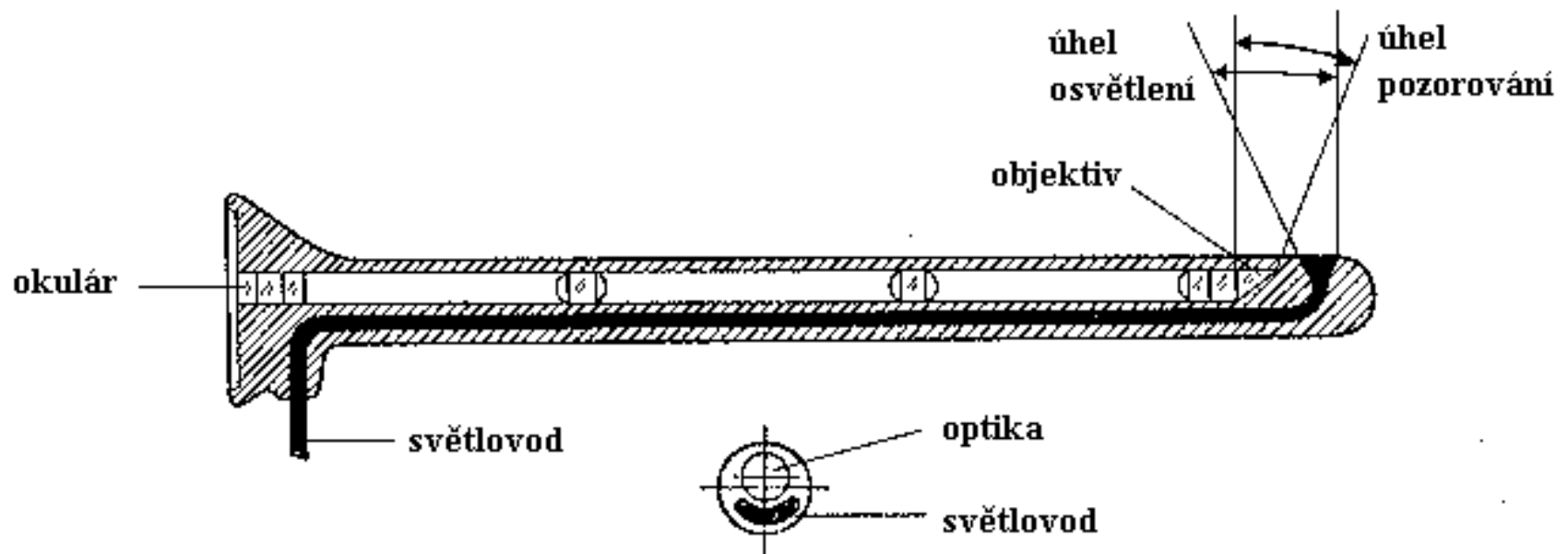


oftalmoskop

Endoskopy s pevným tubusem

- Pevné kovové trubice s optickým systémem a zabudovaným světelným zdrojem (proximálním nebo distálním). Nevýhody: poměrně velké ztráty světla a tuhost trubice.
 - **Cystoskop** – močový měchýř
 - **Rektoskop** – rektum a sigmoideum
- Endoskopy zaváděné chirurgicky:
 - **Laparoskop** – dutina břišní.
 - **Artroskop** – **klouby** (zejména kolenní).

Endoskopy s pevným tubusem



Endoskopy s pevným tubusem



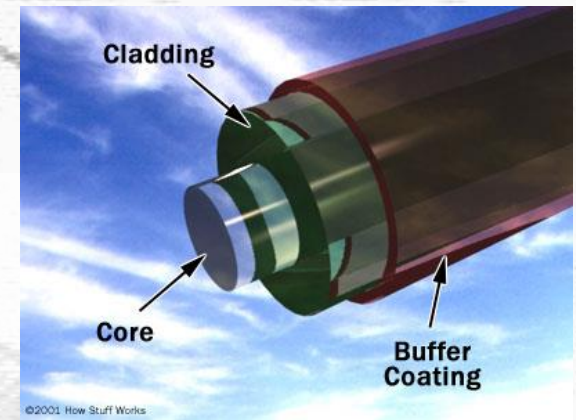
rektoskop



cystoskop

Fibroskopy

- průdušnice a průdušky (bronchoskopie)
- sliznice jícnu (ezofagoskopie)
- sliznice žaludku a dvanáctníku (gastroduodenoskopie)
- tlusté střevo (kolonoskopie)

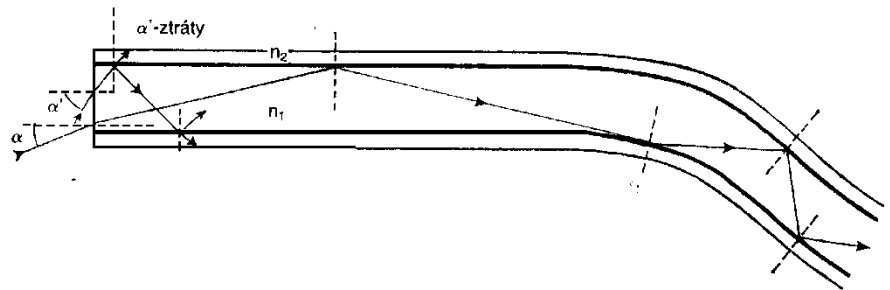


Vláknová optika, úplný odraz, mezní úhel.

Nejmenší světelné ztráty jsou typické pro dvouvrstevná optická vlákna vyrobená ze skla nebo plastu. Jádru má vyšší index lomu (n_1) než obal (n_2). Úplný odraz nastává, když $\sin \alpha < (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$. Vlákna tvoří svazky sloužící pro osvětlení a přenos obrazu.

Ve svazku přenášejícím obraz jsou vlákna uspořádána stejně na vstupu i výstupu svazku.

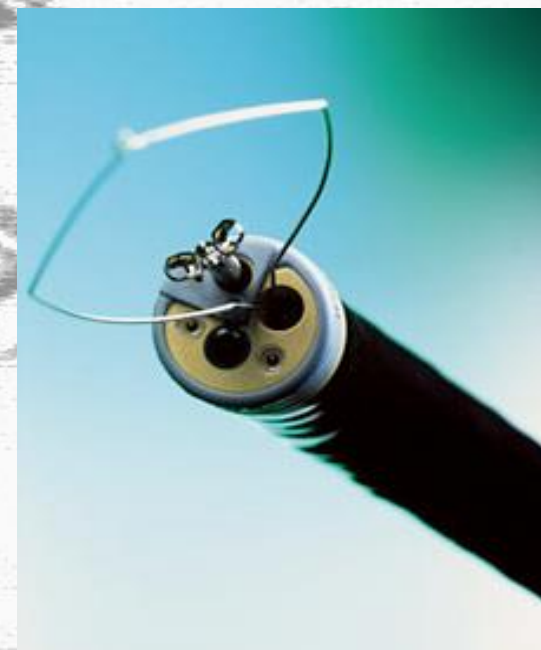
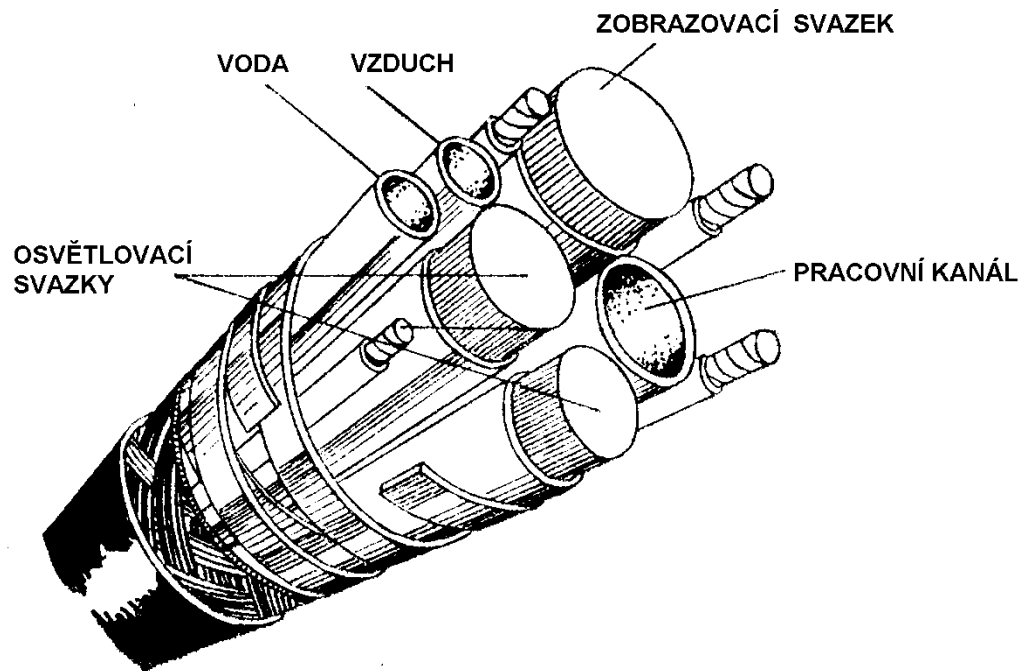
Ztráty světelného signálu:
0,001 - 0,005 dB na 1 m délky.



Fibroskopy

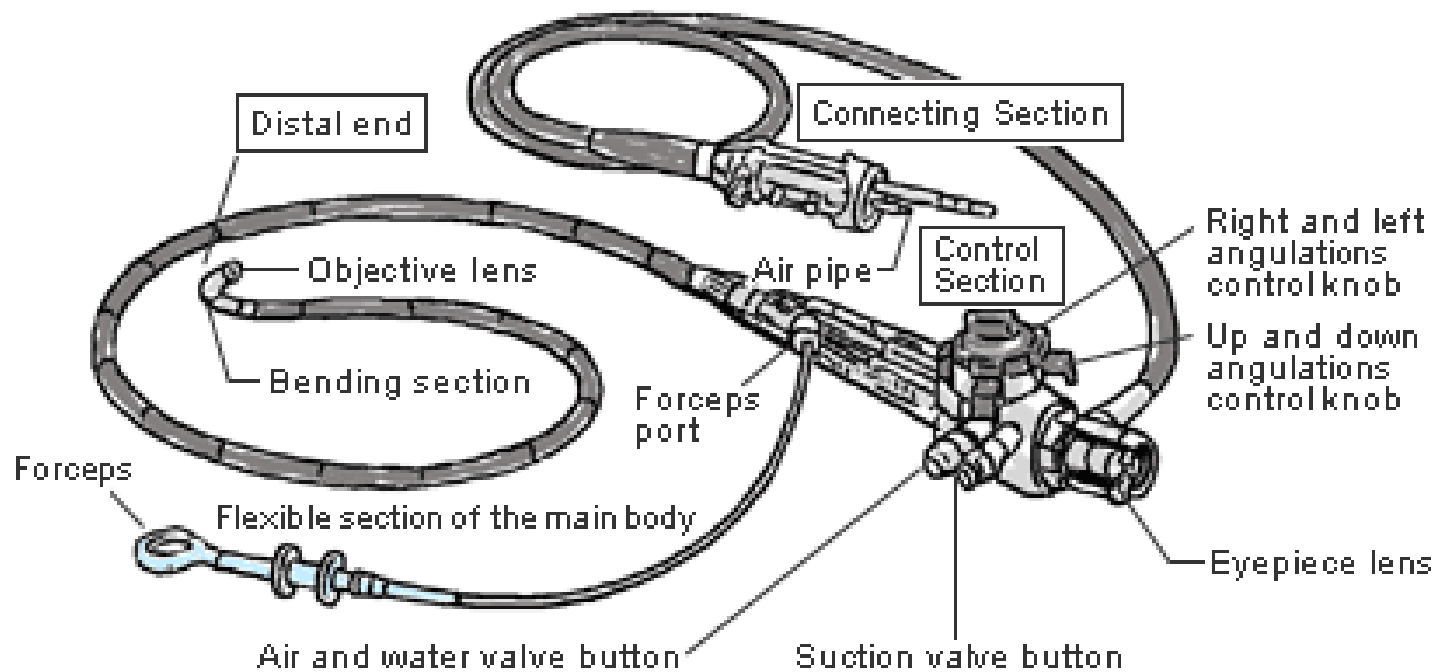
- Fibroskopy umožňují odebírat vzorky tkání a provádět drobné chirurgické výkony. Jsou ohebné, takže s nimi lze vyšetřovat i části těla nepřístupné pro endoskopy s pevnými tubusy. Délka 130 - 140 cm.
- V ohebném kabelu endoskopu se nacházejí:
 - 3 svazky optických vláken (2 pro osvětlení, 1 pro přenos obrazu),
 - trubice pro vodu a/nebo vzduch,
 - kanál pro zavádění chirurgických nástrojů a
 - ovládací táhla umožňující pohyb distálního konce endoskopu s **objektivem**, jenž poskytuje ostrý obraz ze vzdálenosti 3 - 100 mm.
- Proximální konec endoskopu je vybaven **okulárem** zabudovaným do tuhé části endoskopu. Zde se nachází ovládací zařízení pro manipulaci s distálním koncem endoskopu.
- Součástí zařízení je též výkonný zdroj světla, vzduchový kompresor, vodní čerpadlo a vývěva.

Fibroskopy



Čelo kolonoskopu

Fibroskopy



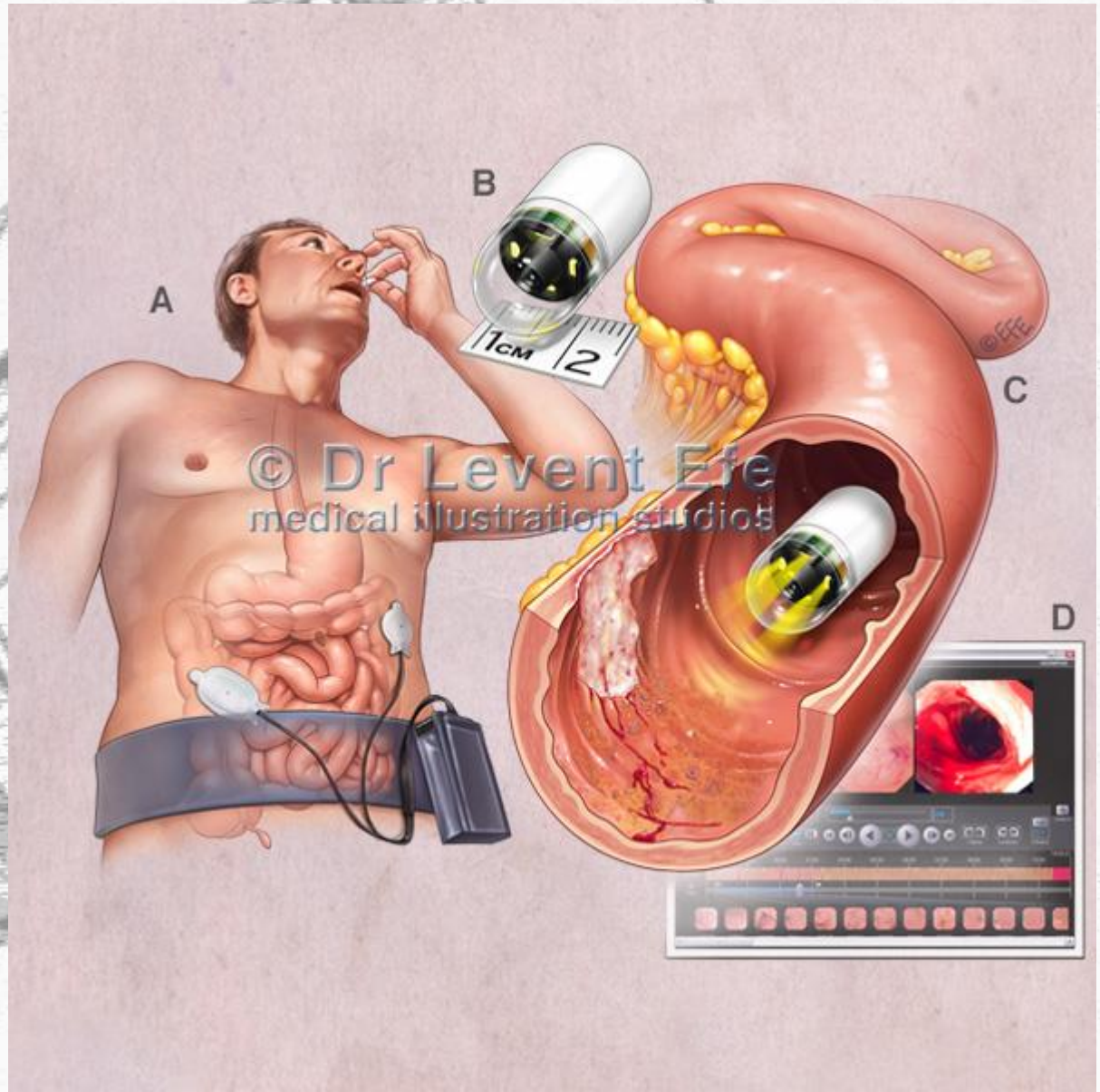
Videoendoskop



Videoendoskopie –
moderní endoskopy s
videokamerami. Obraz
je pozorován na
monitoru nebo
obrazovce PC.

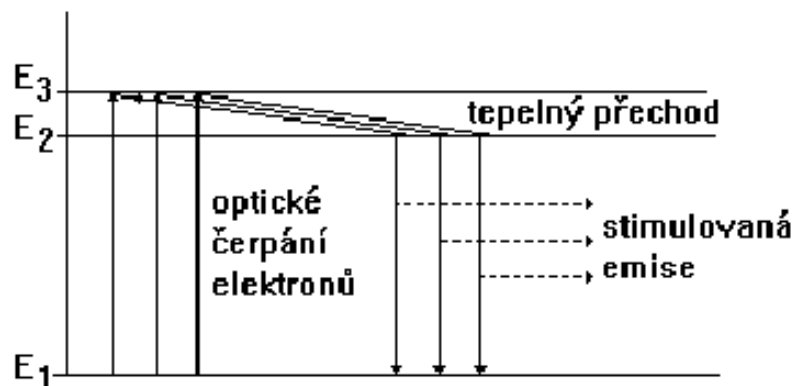
<http://www.bethesda.de/kliniken/medizinische-klinik-ii---gastroenterologie/endoskopien-spiegelungen/index.php>

Endoskopická kapsle



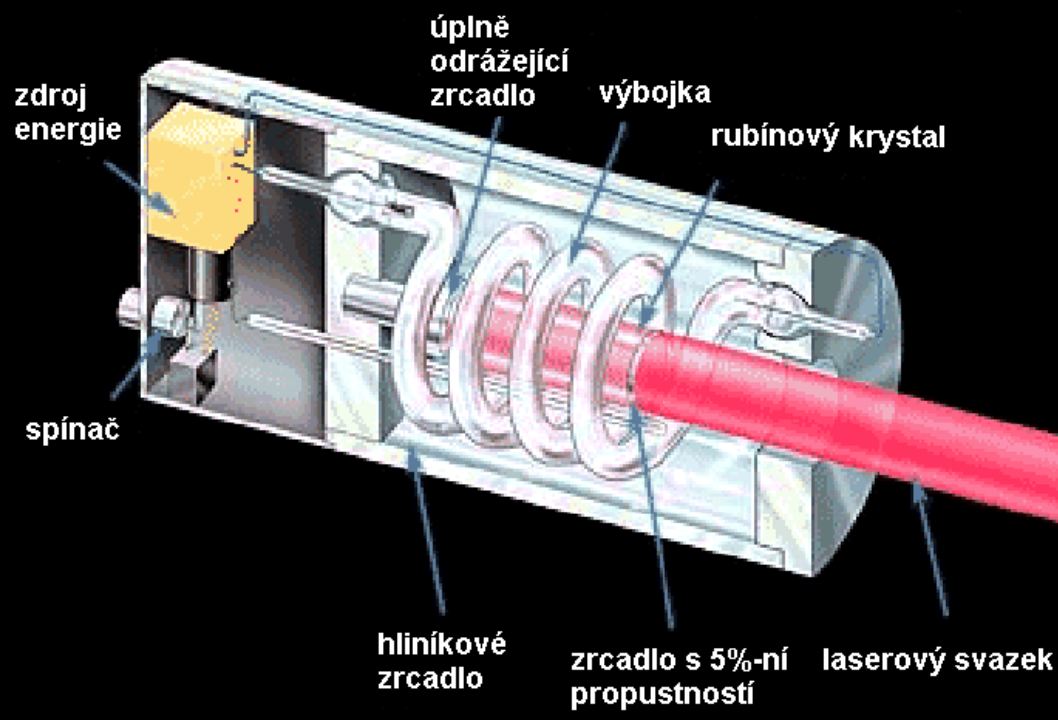
Laser

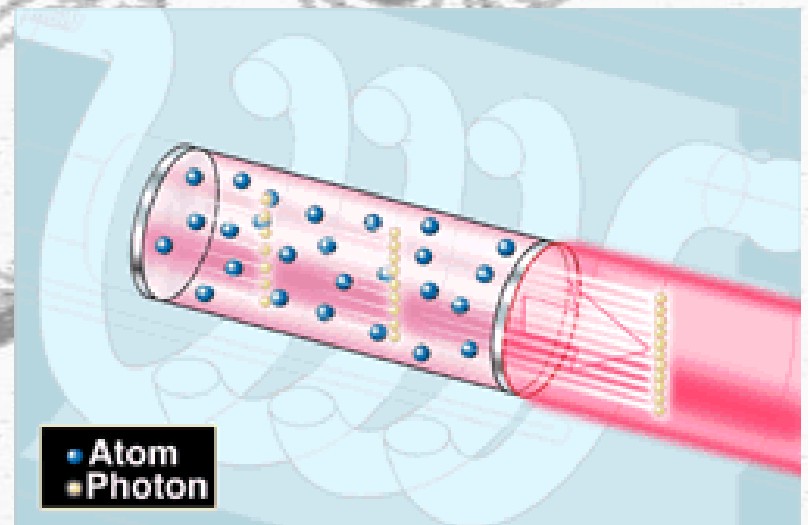
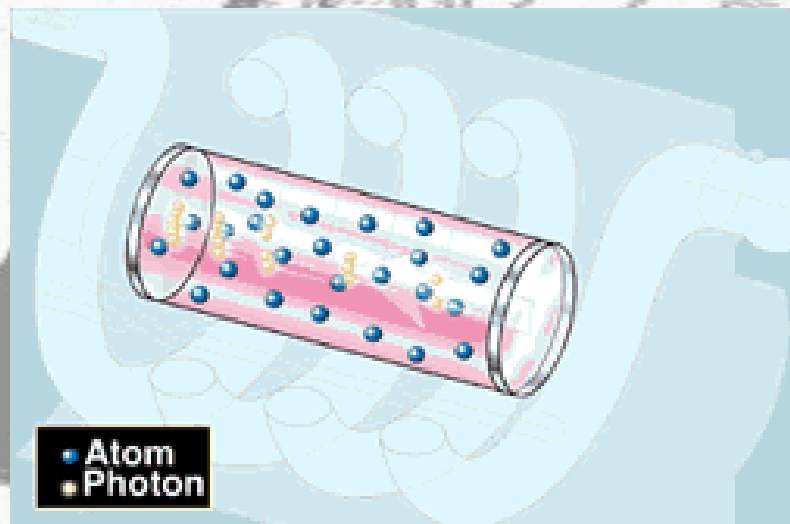
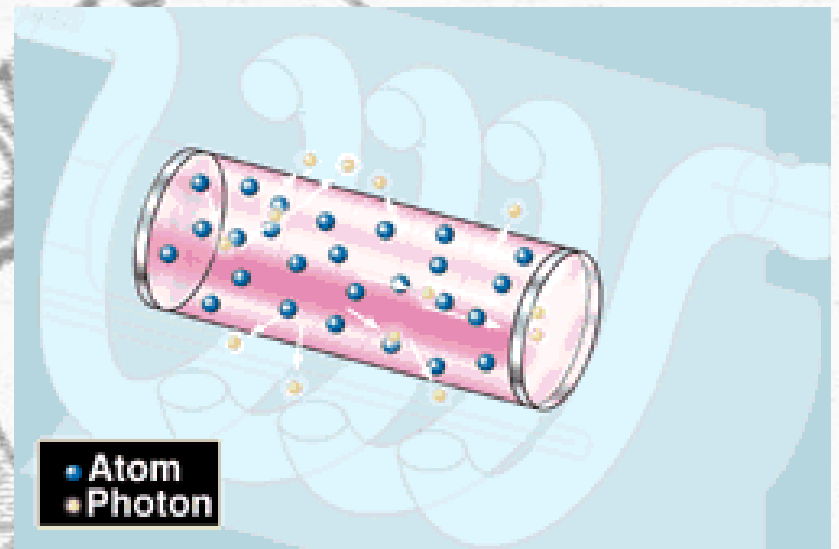
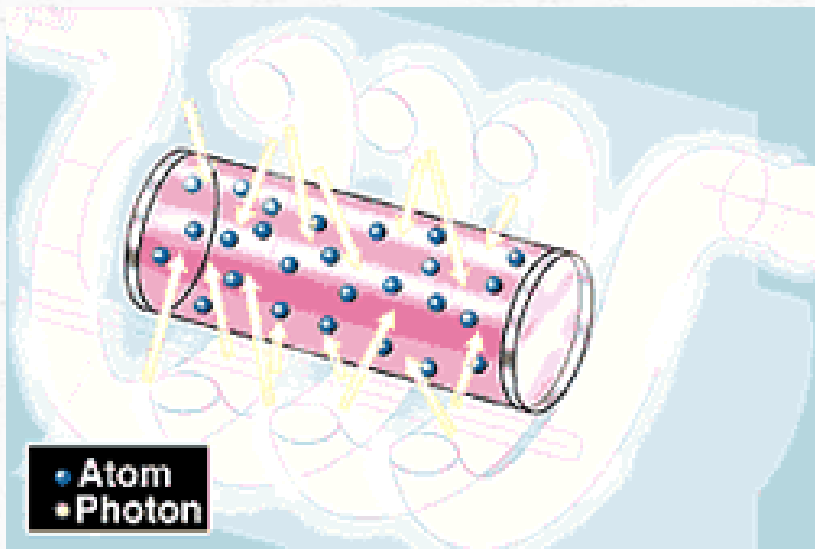
- *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – zesílení světla stimulovanou emisí záření. První rubínový laser zkonstruován T.H. Maimannem v r. 1960.
- Hlavní části laseru:
 - Aktivní prostředí
 - Optický rezonátor
 - Zdroj excitační energie
- Princip laseru: střídající se excitace a deexcitace.
 - Elektrony v atomech aktivního prostředí jsou **excitovány** (přivedeny do vyššího energetického stavu) zdrojem excitační energie („optické čerpání“).
 - Po **deexcitaci** budícím fotonem vznikají nové fotony o téže energii a proces se opakuje – nastává zesílení.
 - U takzvaných tříhladinových laserů je třetí energetická hladina široká, takže pro optické čerpání není nutno používat monochromatické (tj. monoenergetické) světlo. Protože rozdíl mezi druhou a třetí energetickou hladinou je malý, přeskok elektronů na druhou energetickou hladinu je spontánní („tepelný“) – elektrony čekají na této hladině na budící foton.



Tříhladinový laser

Součásti prvního rubínového laseru





Lasery

- **Pevné I.** (kompaktní, polovodičové): rubínový laser (694,3 nm), neodymový (1,06 μm),
- **Polovodičové I.** – založeny na principu elektroluminiscence.
- **Kapalinové I.** Jako aktivní prostředí se používá roztok organického barviva. Výhoda: lze je naladit na různé vlnové délky (od blízké oblasti IR přes VIS po UV).
- **Plynové I..** Důležité pro lékařství. Helium-neonový laser (1,06 μm) a iontové lasery (argonový a kryptonový). CO_2 - N_2 -He-laser atd.
- **Plazmové I.** Aktivním prostředím je plazma, např. plně ionizovaný uhlík – vyzařují měkké rentgenové záření.
- Lasery mohou pracovat ve dvou režimech: **spojitě** a **pulzně**
- Výkony laserů sahají od 10^{-3} po 10^4 W. Nízkovýkonové lasery (soft-lasery) se používají hlavně ve fyzikální terapii. Lasery s vysokým výkonem se používají jako chirurgické nástroje (laserový skalpel).

Účinky laserového záření

- Laserové světlo je **monochromatické** a **koherentní**. To umožňuje soustředit laserový paprsek na malou plochu a dosáhnout výkonové hustoty, která umožňuje použít tento chirurgický nástroj i v **mikrochirurgii**. Laserový paprsek může být zaměřován pomocí zrcadel, čoček nebo optických vláken. Fotony se absorbují v povrchové vrstvě tkání.
- **Tepelné účinky** závisejí na výkonové hustotě světla a jeho vlnové délce. Využívají se hlavně v chirurgii a mikrochirurgii. **Netepelné účinky** jsou typické pro soft-lasery, málo závisejí na vlnové délce – jsou založené na molekulárních účincích (uvádí se působení na enzymy dýchacího řetězce, zvyšování replikace mitochondriální DNA, zvyšování enzymové aktivity). Dochází též k ovlivňování membránových potenciálů, patrně prostřednictvím změn propustnosti membrán pro ionty Na^+ , K^+ a Ca^{++} .
- Laserové světlo má též **fotodynamické účinky** – chemické změny neaktivních látek ozářených laserovým světlem určité vlnové délky mohou vést k tvorbě biologicky aktivních (cytotoxických) sloučenin.

Laserová terapie – bezpečnost



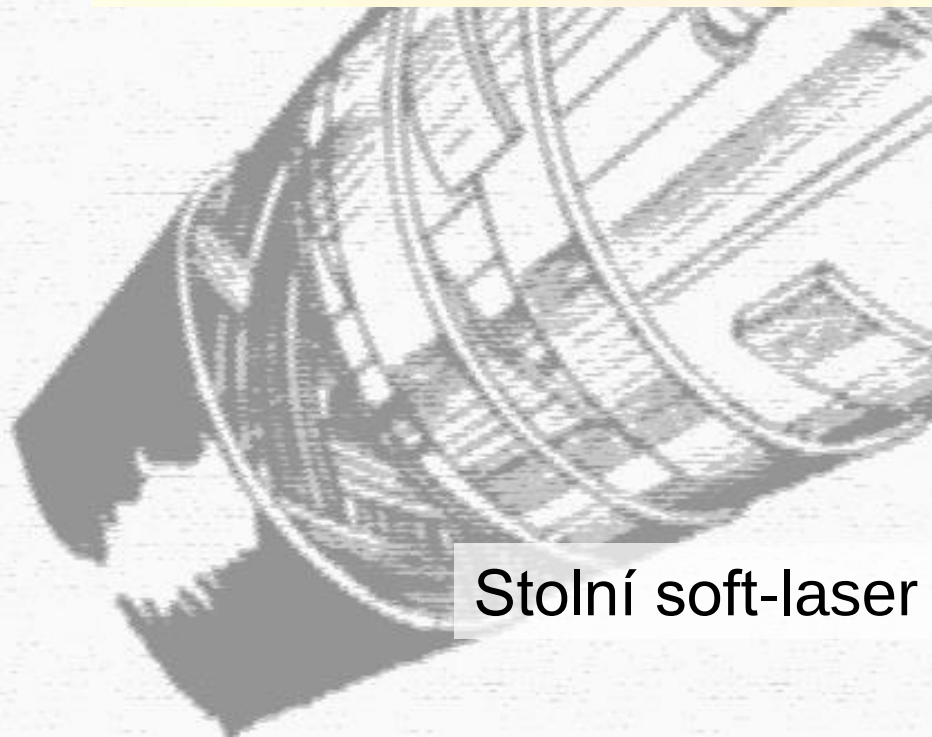
- **V neinvazivní fototerapii** se používají výkony pod 500 mW. Lasery se dělí do tříd:
 - II (výkon do 1 mW),
 - IIIa (výkon do 5 mW)
 - IIIb (výkon do 500 mW).
- **Chirurgie: Výkonové lasery třídy IV**
- **Bezpečnost:**
 - Nálepky na laserech musí označovat třídu,
 - Od třídy IIIb též varování před poškozením očí fokusovaným paprskem
 - Zdravotnický personál stejně jako pacienti musí mít brýle, které absorbují laserové světlo dané vlnové délky.

Terapie pomocí soft-laserů

- Povrchové aplikace – krátké vlnové délky, hlubší aplikace – dlouhé vlnové délky (blízká IR oblast).
- *laserová pera* jsou jednoduchá zařízení založená na laserových diodách, napájená bateriemi, s konstantním nastavením výkonu.
- **Malé lasery** (kapesní) s výměnnými hlavicemi, mohou pracovat s různými frekvencemi impulsů.
- **Stolní lasery** – uživatelský komfort, četné funkce a aplikace.



Laserové pero



Stolní soft-laser



Terapie pomocí soft-laserů

- udávané účinky:

- **Analgetický:** zvyšování parciálního tlaku O_2 , zvýšení klidového potenciálu → snížení excitability.
- **Protizánětlivý:** měl by být způsoben aktivací monocytů a makrofágů, zvýšenou fagocytózou, zvýšenou proliferací lymfocytů.
- **Biostimulační:** uvádí se zvýšená syntéza kolagenu, lepší krevní zásobení, rychlejší regenerace některých tkání.
- Oblasti použití: laryngologie, zubní lékařství, ortopedie a gynekologie. *Jen zřídka se laser užívá pro monoterapii.*
- Názor biofyziků: většinou jde o **placebový** účinek, specifické působení soft-laserů je z vědeckého hlediska málo průkazné.



?

Chirurgická laserová
jednotka

Aplikace laserů s vysokým výkonem

Všeobecná chirurgie:

Laser může být použit jako skalpel s bezkontaktním řezem. Krevní cévy jsou koagulovány, takže řez málo krvácí. Rychlost řezu závisí na intenzitě (výkonové hustotě) a na vlastnostech tkáně. Nejčastěji používané lasery jsou infračervené, zejména CO₂ laser (10,6 μm) nebo Nd:YAG laser (1,064 μm).

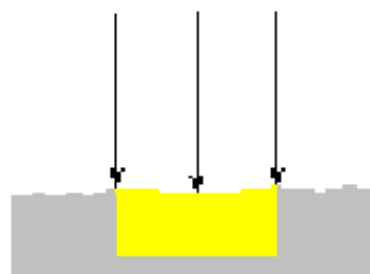
Oftalmologie:

Vedle svého využití v mnoha optických vyšetřovacích přístrojích, jsou lasery používány zejména pro **fotokoagulaci sítnice** a tzv. **fotoablaci rohovky** za účelem odstranění refrakčních vad.

Lasery používané pro **fotokoagulaci** jsou především Nd:YAG se zeleným světlem 532 nm a nastavitelným výkonem do 1,5 W.

Pro odstraňování refrakčních vad rohovky – **fotoablaci** – se používají excimerové (*excited dimers*) ArF nebo KrF lasery. Emitují UV záření o vlnové délce 193 nm. Způsobují fotochemickou ablací makromolekul kolagenu v rohovce (každý impuls odstraňuje vrstvu tkáně o tloušťce 0,1 – 0,5 μm). Cílem je změnit zakřivení rohovky a tím i její lámavost, což vede ke zlepšení vidění pacienta.

laserový svazek



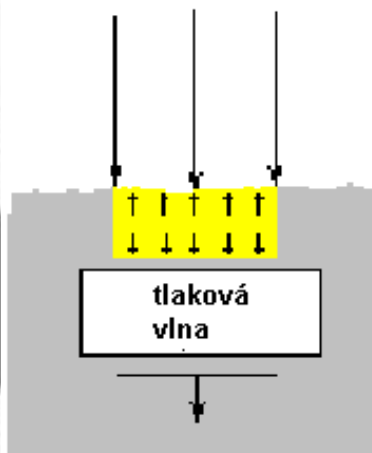
absorpce

$$E \ll E_v$$

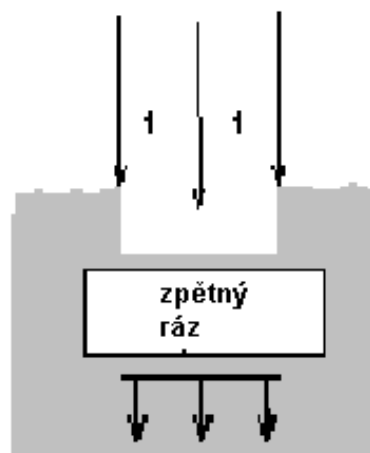
$$E > E_v$$

$$E \gg E_v$$

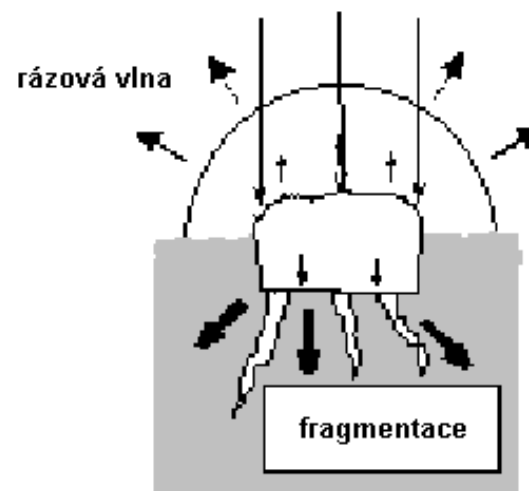
termoelastické působení



rychlé odpaření



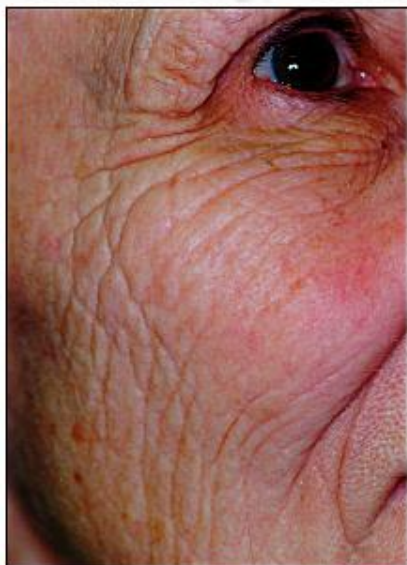
vytvoření plazmy



Aplikace laserů s vysokým výkonem

- V **zubním lékařství** se používají neodymové a erbiové YAG lasery. Nd:YAG laser ($1,064\ \mu\text{m}$) se používá v ústní chirurgii a endodoncii. Er:YAG laser ($2,940\ \mu\text{m}$) je využíván pro přesnou preparaci zubní skloviny a dentinu.
- V **dermatologii** se používá rubínový laser ($690\ \text{nm}$) nebo jiné typy laserů včetně Nd:YAG a alexandritového (nastavitelný od 720 do $830\ \text{nm}$, světlo je dobře pohlcováno melaninem v kůži). Hlavní aplikaci představuje fotokoagulace varikózních žil, odstraňování bradavic, tetování a vrásek i depilace.

Aplikace laseru

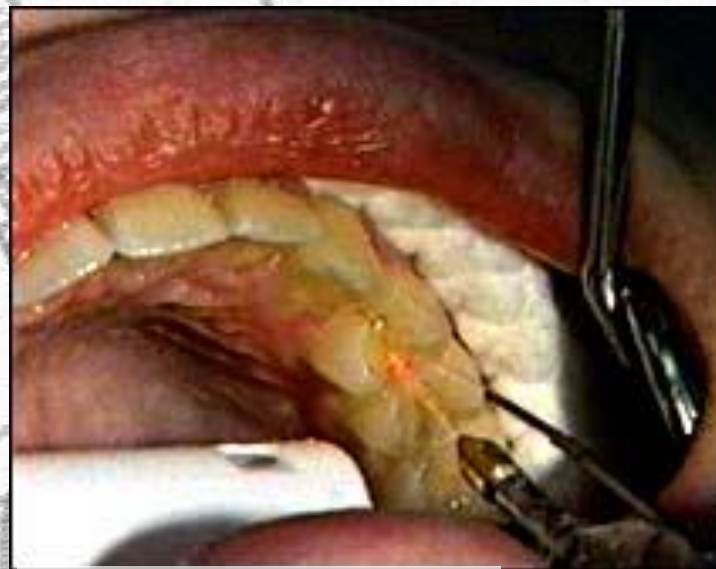


BEFORE



AFTER

Odstraňování
vrásek



Odstraňování
zubního kazu

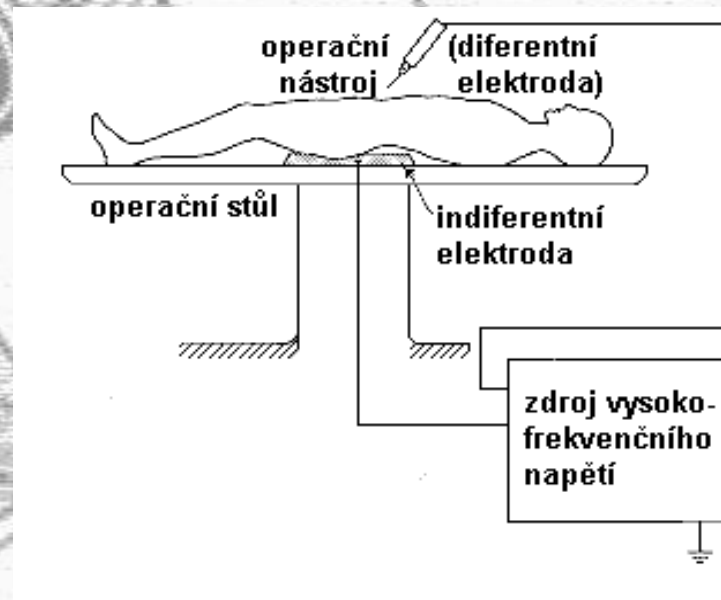


Odstraňování
bradavic

Elektrochirurgie

- U těchto metod se využívá **tepelných účinků** vysokofrekvenčních elektrických proudů. Elektrody s hrotem nebo ostrým břitem (elektrokautery) umožňují dosahovat vysokých hustot proudu.
- Tepelné účinky jsou tak velké, že dochází k vypařování vody v buňkách, což vyvolává jejich destrukci. Vysoké teploty vyvolávají koagulaci tkání a krve, takže nedochází ke krvácení. Pracovní frekvence elektrochirurgických zařízení je přibližně 3 MHz, výkon je nastavitelný až do 500 W a liší se podle účelu chirurgické intervence (50 W se používá v oční chirurgii a stomatochirurgii, vyšší výkony v hrudní či abdominální chirurgii a v traumatologii).
- Elektrochirurgická zařízení jsou vybavena elektrodami pro **elektrokoagulaci**, které slouží k zástavě krvácí v důsledku koagulace krevních bílkovin.

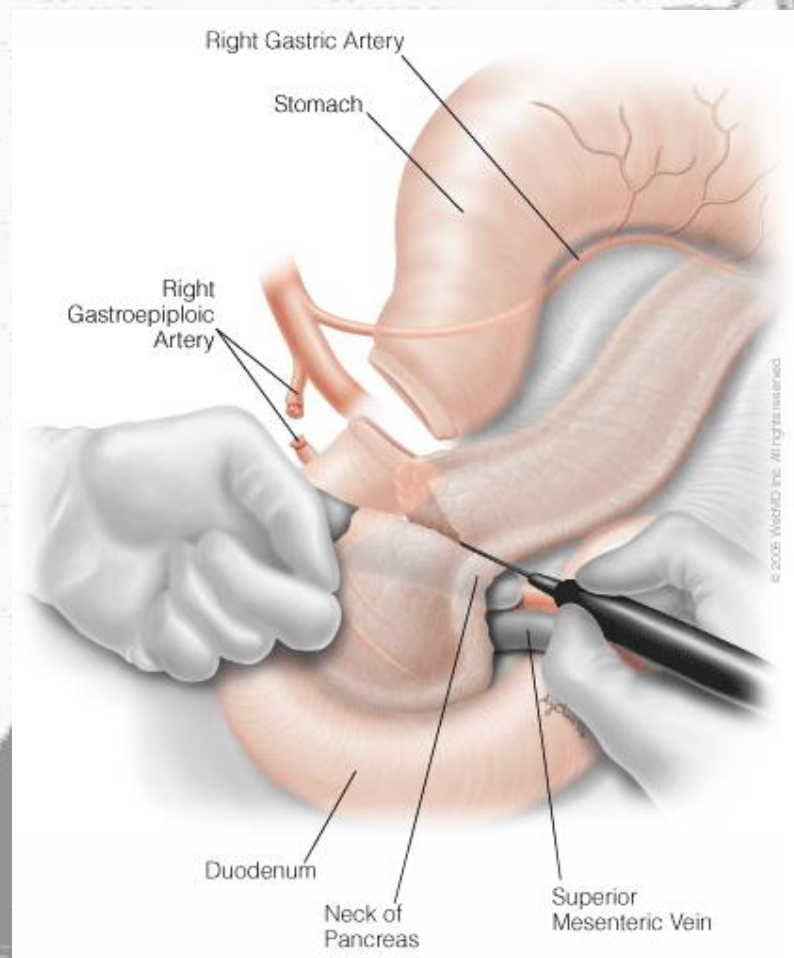
Elektrochirurgie



**Elektrochirurgická
jednotka**

Hrotová elektroda
pro odstraňování
kožních defektů

Elektrochirurgie

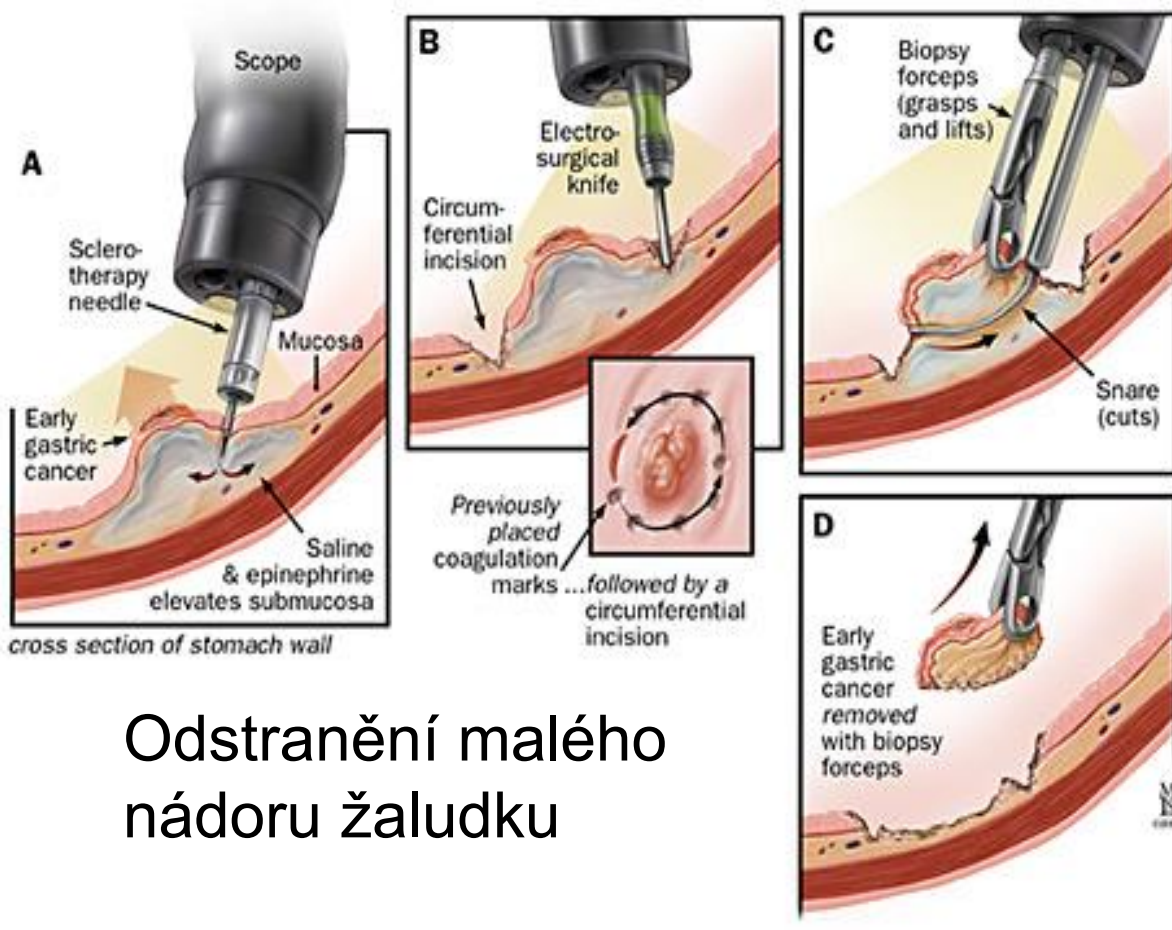


**Tzv. Whippleův postup.
Přetětí krku pankreatu
pomocí elektrokauteru.**

Endoskopická elektrochirurgie



Odstranění tzv.
polypu ze střevní
sliznice



Odstranění malého
nádoru žaludku

Ultrazvukové nástroje

- Ultrazvuk o vysoké intenzitě ($50-1000 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-2}$) může být v chirurgii použit pro selektivní rozrušování tkání.
- 1. **Fokusovaný ultrazvuk o vysoké frekvenci (1-3 MHz)** pro selektivní rozrušování struktur měkkých tkání. Tato zařízení jsou klinicky testována pro odstraňování nádorů prsu.
- 2. **Nízkofrekvenční ultrazvuk (20 - 50 kHz)** je relativně běžně využíván v chirurgii. Ultrazvuk vytvářený piezoelektrickými nebo magnetostrikčními generátory je emitován do tkáně pomocí speciálních vlnovodů schopných zesílit amplitudu ultrazvukových kmitů až desetinásobně. Ocelový nástroj s ostřím nebo měnitelný hrot je připevněn ke konci vlnovodu. Hrotový nástroj může být dutý, což umožňuje odsávat (aspirovat) rozrušenou tkáň.

Ultrazvukové nástroje

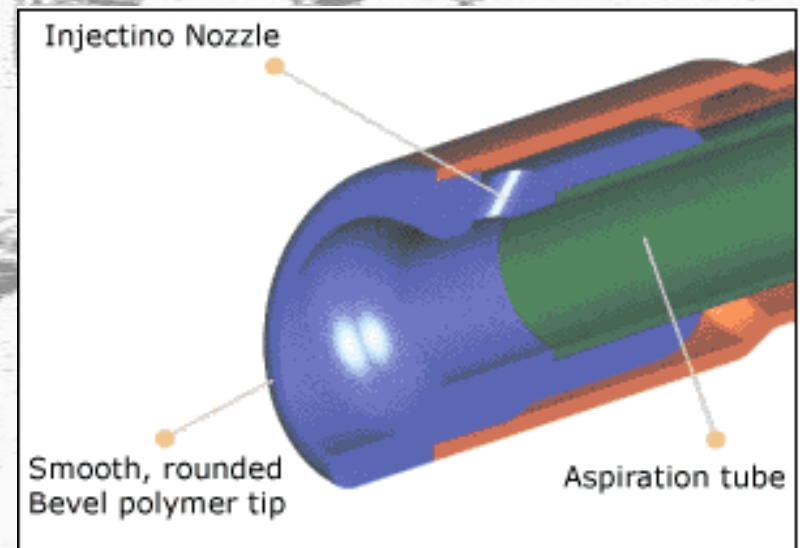
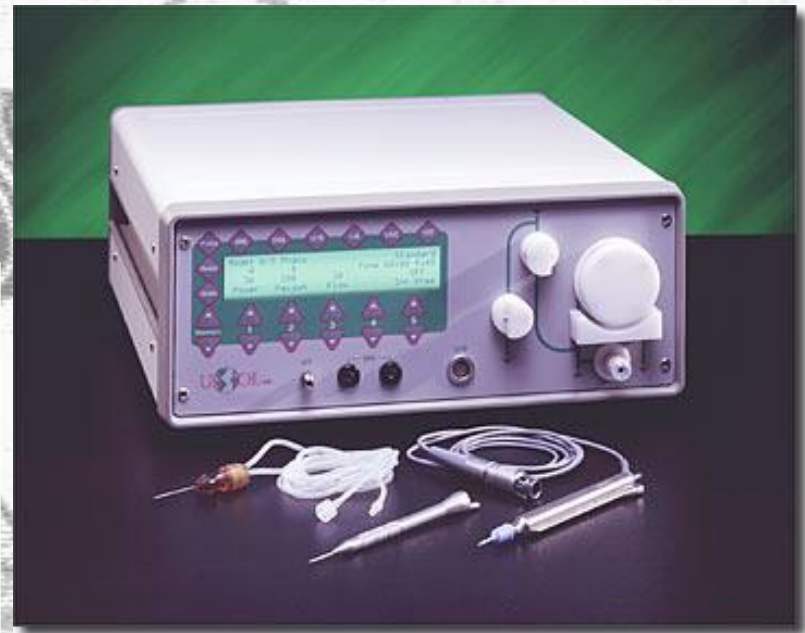
Aspirátor. Akustický vibrátor se vlivem akustických kmitů zkracuje a prodlužuje. Amplituda pohybu hrotu je přibližně 200 μm . Hrot se pohybuje s velkou rychlostí i zrychlením, což spolu s kavitací způsobuje rozrušování přiléhající tkáně.



CUSA (*Cavitation Ultrasonic Surgical Aspirator*). Modifikovaná sonda s protaženým kanálem vibrujícího hrotu pro laparoskopickou chirurgii.

Ultrazvukové nástroje

Zdroj nízkofrekvenčního intenzivního ultrazvuku - **fakoemulgátor** - je nenahraditelnou pomůckou v oční chirurgii při extrakci zakalené čočky (katarakty). Emulgovaná čočka je okamžitě odsávána (aspirována).

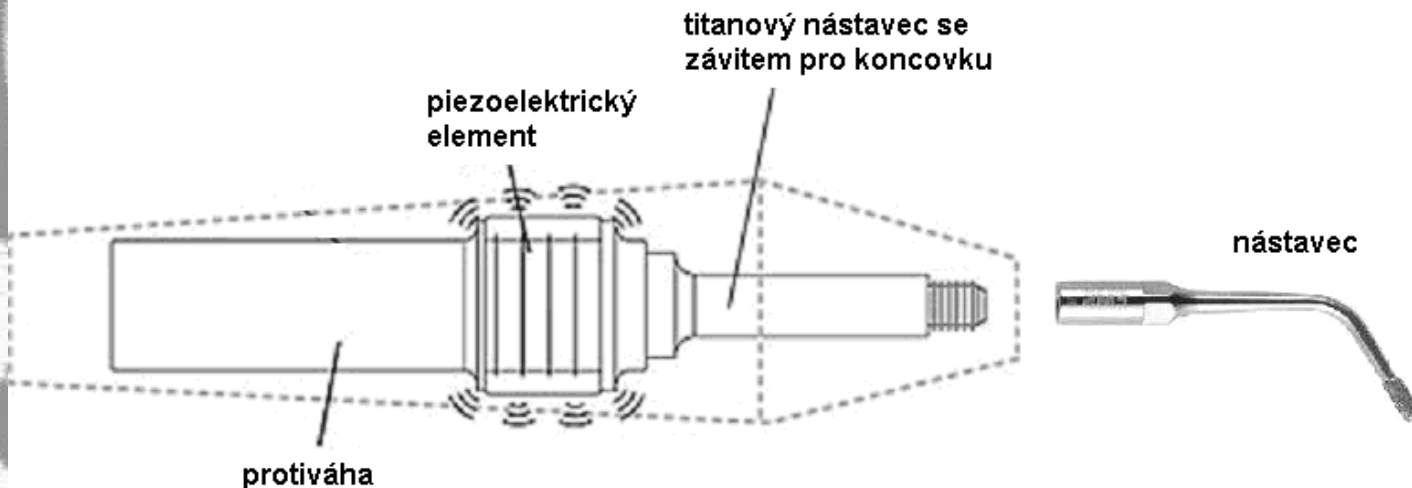
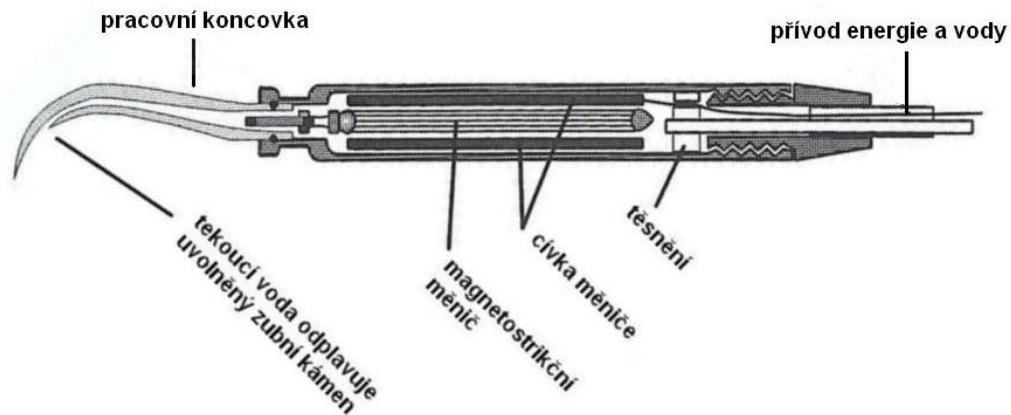


Ultrazvukové nástroje v zubním lékařství

- Hlavní aplikační oblast: odstraňování zubního kamene. **Ultrazvukové nástroje pro odstraňování zubního kamene** jsou rychlé a účinné. Tvoří je dvě hlavní části: zdroj elektrických kmitů potřebných pro buzení magnetostrikčního nebo piezoelektrického měniče – zdroje ultrazvuku - a vlastní nástroj s měničem pracujícím s frekvencí kolem 40 kHz. K měniči jsou připojeny různě tvarované pracovní koncovky. Některá zařízení jsou vybavena vodním sprejem (oplachování a chlazení).
- Mechanismus ultrazvukového odstraňování zubního kamene:
 - **Přímý účinek ultrazvukových kmitů koncovky na usazeniny**
 - **Ultrazvuková kavitace**
 - **Ultrazvukové mikroproudění**

Ultrazvukové nástroje v zubním lékařství

Schématické znázornění UZ odstraňovače zubního kamene
(nahore s magnetostrikčním, dole s piezoelektrickým měničem)



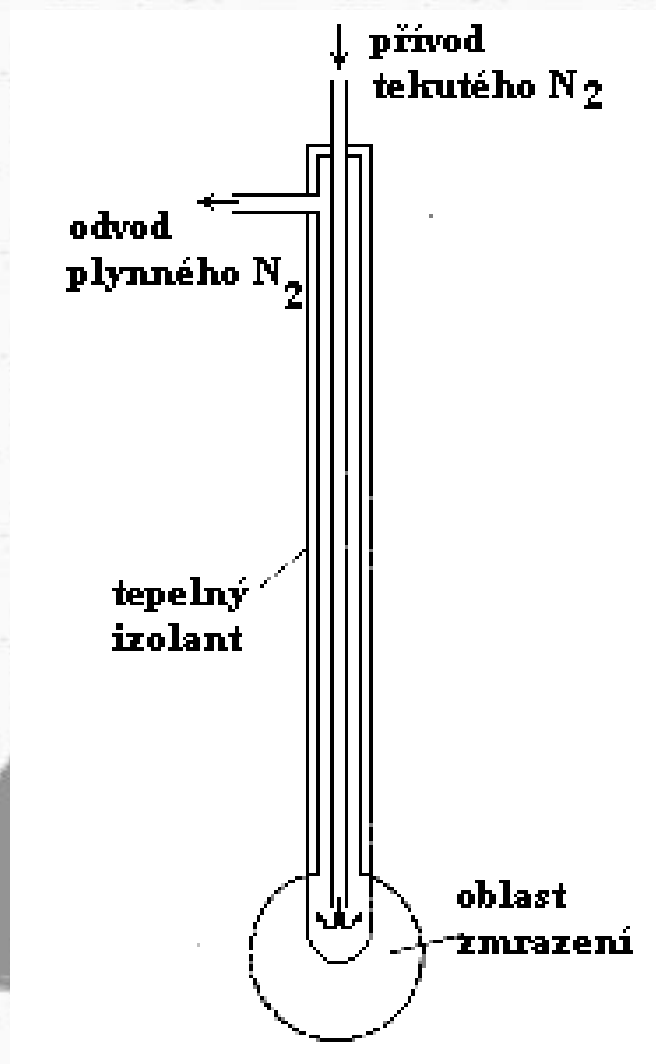
Ultrazvukové nástroje v zubním lékařství

- Poněkud jednodušší a levnější alternativou ultrazvukových nástrojů pro odstraňování zubního kamene je **odstraňovač zvukový**. Kmitů o frekvenci slyšitelného zvuku se získávají mechanicky pomocí nevyvážené vzduchové turbíny.
- Dalšími nástroji využívajícími ultrazvukových kmitů jsou **endodontické nástroje pro rozšiřování kořenových kanálků**. Na rozdíl od rotačních kořenových nástrojů kmitají podélně s frekvencí 30 - 50 kHz. Mají podobu buď tenké ocelové spirálky nebo jsou mírně kónické a pokryté drobnými diamanty. Hlavním účinným mechanismem je mechanická abraze stěn kořenového kanálku zesílená ultrazvukovou kavitací.

Kryochirurgie

- Teploty od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ vytvářejí ledové krystalky uvnitř buněk i v mezibuněčném prostoru. K lýze buněk dochází při tání ledu.
- Výhodou je omezení destrukce tkáně pouze na zmrzlou oblast a šetření blízké zdravé tkáně. Zmrazování má anestetický účinek, takže tyto zákroky jsou jen málo bolestivé. Rána prakticky nekrvácí. Zmražená tkáň se někdy přichytí k nástroji, což lze využít k její extrakci (kryoextrakce oční čočky při operaci zákalu). Aplikace nacházíme v oční chirurgii, urologii, onkologii, gynekologii a plastické chirurgii.
- Kryochirurgická zařízení používají pro dosažení nízkých teplot kapalný dusík ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$) nebo jiné plyny. Vlastní kryochirurgický nástroj – **kryokauter** – má mrazicí část na distálním konci. Tato část je měnitelná a má různý tvar podle druhu zákroku. Pro kontrolu teploty se používají digitální teploměry.

Kryochirurgie



Kryochirurgické vybavení pro práci s oxidem dusným (N₂O) a oxidem uhličitým (CO₂)

Kryochirurgie (tekutým dusíkem)



Vodní paprsek jako chirurgický nástroj

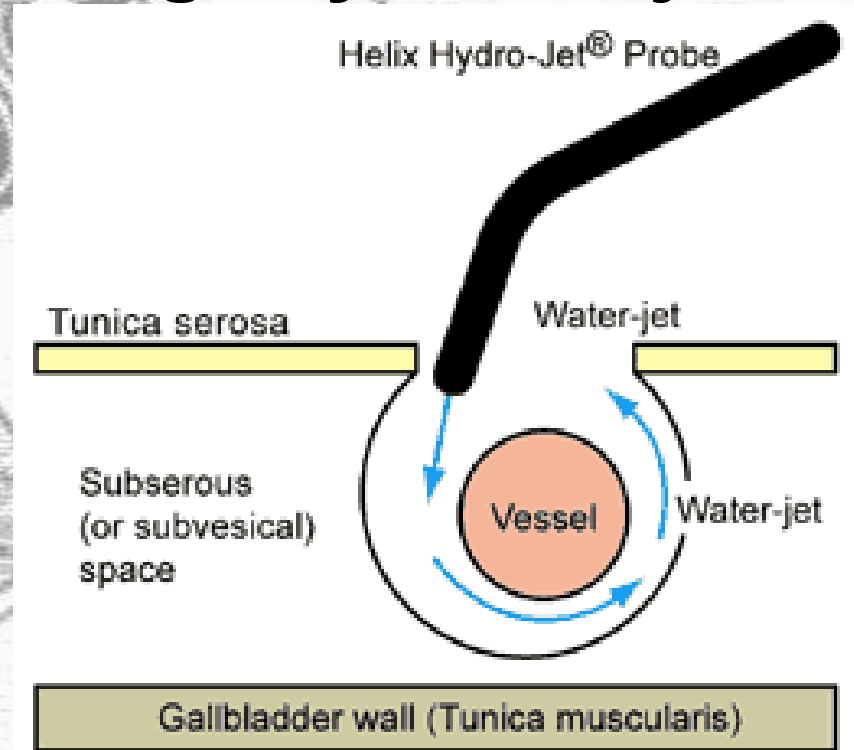
Zařízení se skládá z tlakového čerpadla, vysokotlaké trubice a pracovní části produkující na konci vodní paprsek o průměru 0,1 mm.

Obvykle se využívají tlaky v rozsahu od 1,5 do 5,0 MPa.

Řezné plochy jsou hladké.

Paprsek je tvořen sterilním izotonickým roztokem, někdy s přidanými léčivy pro omezení krvácení a proti infekci.

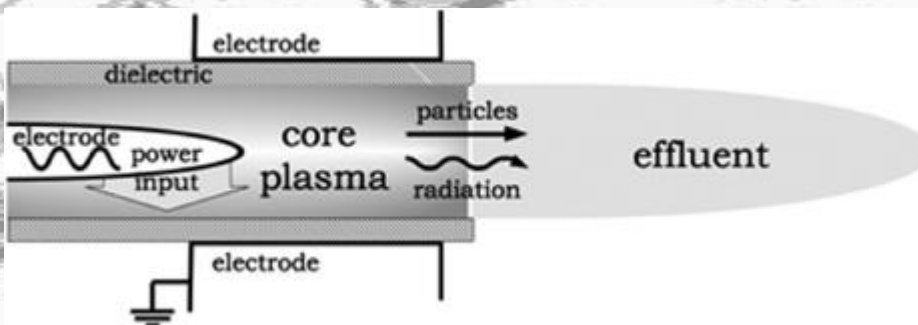
Uvádí se, že řez je výborně kontrolovatelný, což je významné zejména při chirurgii mozku a parenchymatózních orgánů, jako jsou játra nebo slezina.



Plazmový skalpel



Proud plynu
odnáší
rozžhavenou
plasmu od
hrotové
elektrody

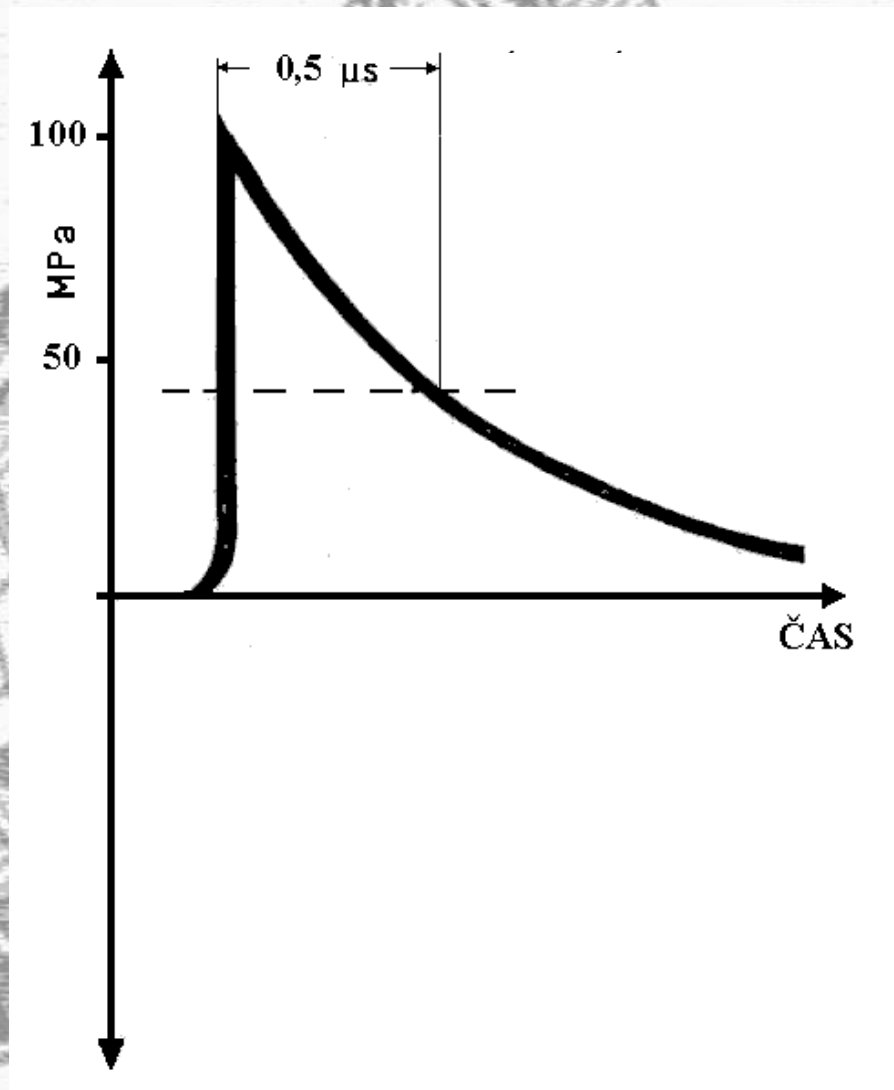


Litotripse

- Počátkem osmdesátých let byla zavedena do klinické praxe **mimotělová litotripse rázovými vlnami** (*extracorporeal shock-wave lithotripsy*, ESWL). K rozrušování kaménků (ledvinových, žlučníkových) dochází účinkem mnohočetných **rázových vln** – silných impulsů akustického tlaku. Drť odchází z těla přirozenými vývodnými cestami. Jde o jednu z tzv. minimálně invazivních metod.
- Na akustických rozhraních nastává v důsledku rozdílu akustických impedancí rychlý nástup tlakového gradientu. Jestliže tlaková síla překoná mechanický odpor kamene, dochází k jeho postupné fragmentaci. K tomu jsou nutné tlaky kolem 10^8 Pa. Je nutno aplikovat 50 až 4000, v průměru 1000, rázových vln (synchronně s tepovou frekvencí).
- Hlavní části litotriptoru: zdroj rázových vln, fokusující zařízení, vazebné prostředí, zařízení pro přesné zaměření kamene (ultrasonograf nebo rtg přístroj).

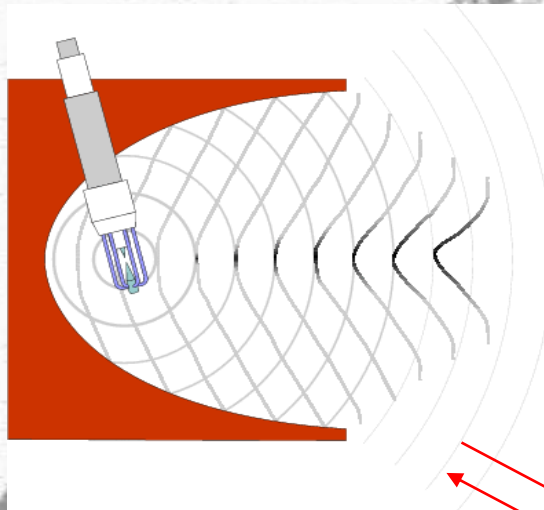
Litotripse

časový průběh rázové vlny

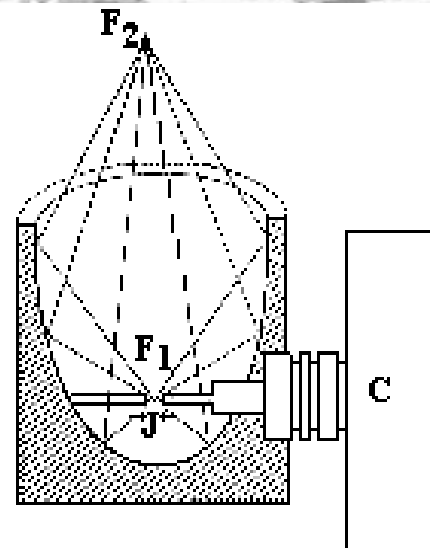
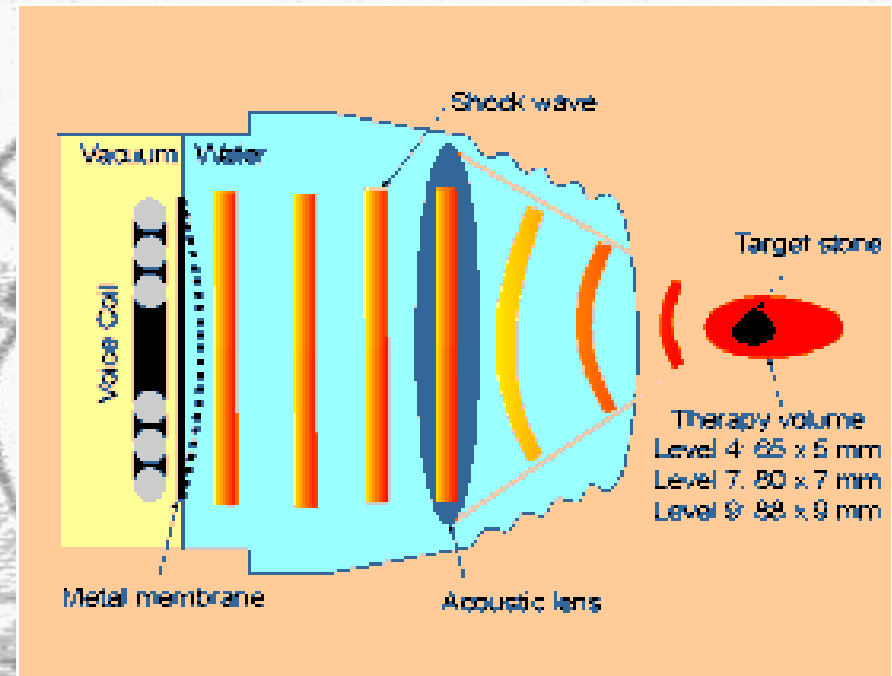


Litotripse

generování rázových vln a
jejich fokusace

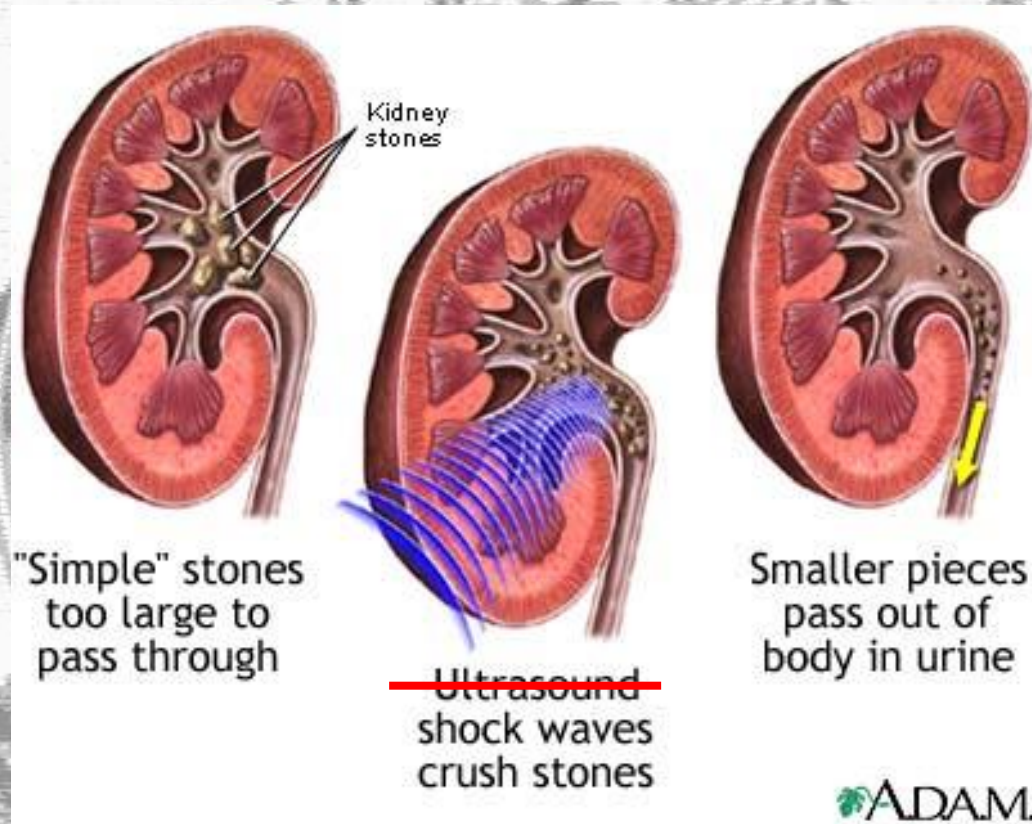


**Elipsoidní kovová
zrcadla. Rázové vlny
vznikají v jednom
ohnisku a odrážejí se do
druhého ohniska.**

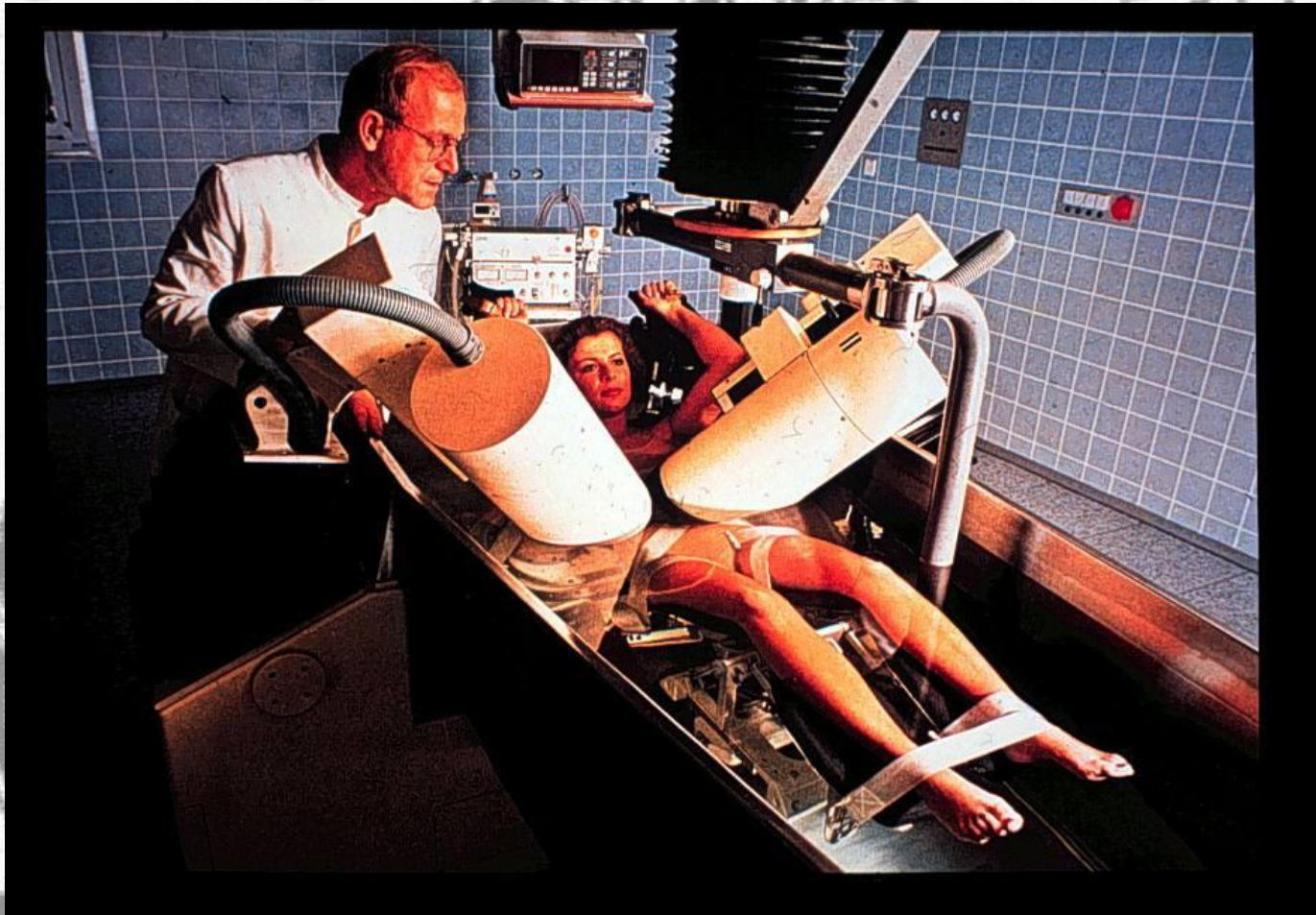


Litotripse

Destrukce ledvinového kamene



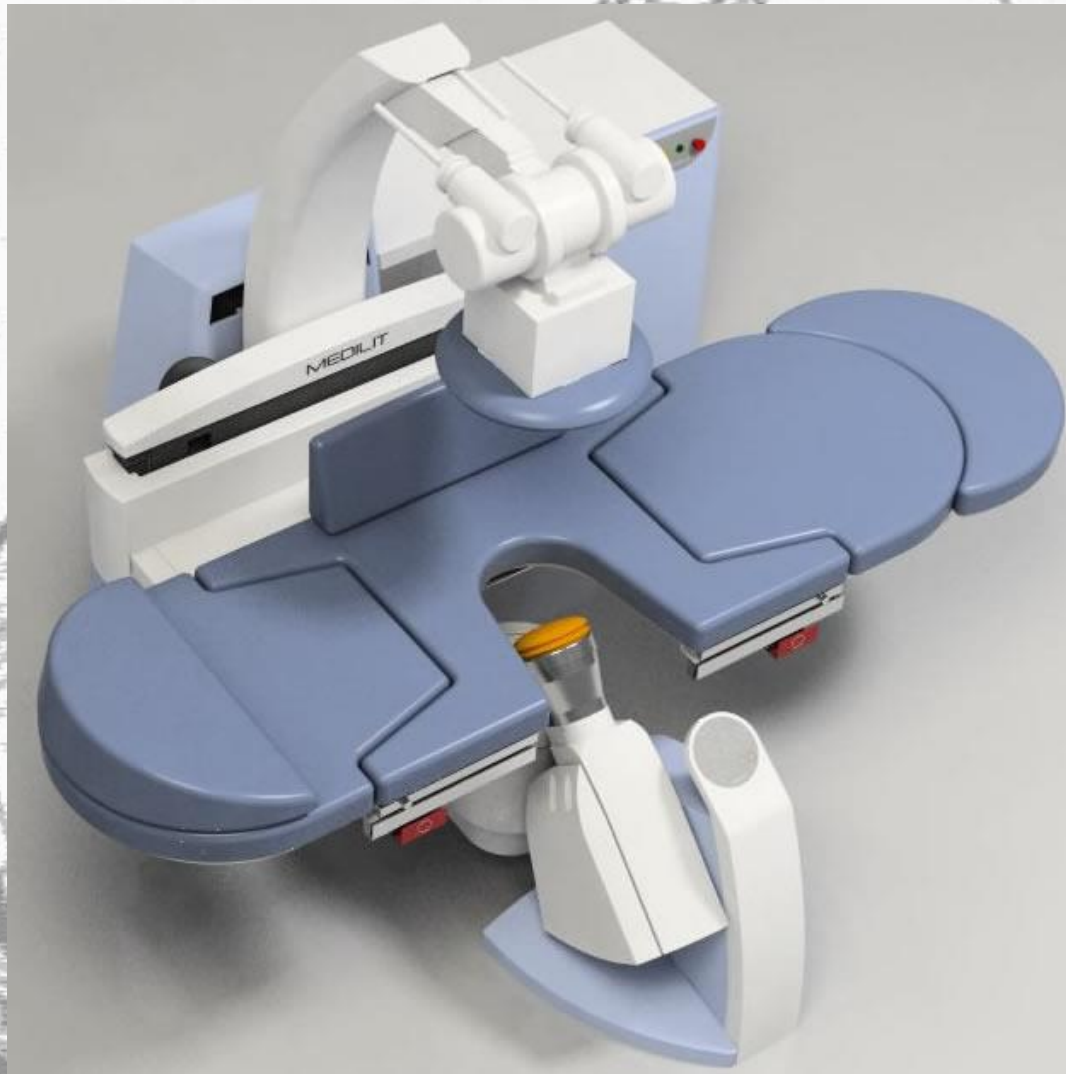
Litotripse (začátky – Mnichov - Německo)



Litotripse - litotriptor v klinické praxi



Litotripse – český litotriptor MEDILIT M8



Léčba rázovými vlnami (ESWT – extracorporeal shock-wave therapy)



Léčba kalcifikací v rameni,
rozbíjení ostruhy kosti patní
[www.physio-chelsea.co.uk/
shockwave.htm](http://www.physio-chelsea.co.uk/shockwave.htm).

Rázové vlny o energii 1,2 až 40 mJ mají v ohnisku hustotu energie 0,14 až 1,8 mJ/mm². Tato energie postačuje pro proniknutí rázových vln do hloubky max. 60 mm. Frekvenci lze měnit od 1 do 4 Hz. Tlak v ohnisku dosahuje 10x až 100x nižších hodnot než při ESWL.



Autor:
Vojtěch Mornstein

Obsahová spolupráce:
Carmel J. Caruana

Grafika:
Lucie Mornsteinová

Poslední revize:
listopad **2018**