

Litotrypse extrakorporální rázovou vlnou

Litotrypse extrakorporální rázovou vlnou (LERV) (angl. **Extracorporeal shock wave lithotripsy** – ESWL) je neinvazivní metoda používaná především v terapii ledvinových konkrementů a žlučových kamenů. Princip metody spočívá v přivedení tlakové energie dostatečné k narušení konkrementu tělem pacienta tak, aby nedošlo k poškození tkání. K tomu slouží jednak speciální průběh "tlakové vlny" nesoucí energii, jednak její prostorová fokusace.

Alternativně se používají i pojmy *litotripse* a *litotriptor*. Jejich použití není gramatickou chybou, pokud je v celém dokumentu dodržována jednotka stylu.

Metodu jako první uvedla na trh počátkem 80. let firma Dornier Medizintechnik GmbH. Okrajově se aplikace rázových vln používá i v jiných indikacích.

Rázová vlna

Rázová vlna (angl. shock wave) je neperiodický typ poruchy (vzruchu) šířící se prostředím. Obecně je rázová vlna plochou nespojitosti termodynamických veličin popisujících stav prostředí. V případě rázové vlny používané při litotrypsi je šířící se poruchou prudká změna tlaku. Tato rázová vlna je principiálně podobná například rázové vlně šířící se od místa exploze.

Protože jde o šířící se změnu tlaku, má rázová vlna charakter akustického fenoménu. Dokonce její chování, alespoň co se týká lomu a odrazu, odpovídá chování zvukového vlnění. Z toho důvodu má smysl pojem akustická impedance a lze studovat chování rázové vlny na rozhraní dvou prostředí o různé akustické impedanci, užitečnou pomůckou je díky tomu i paprsková optika^[pozn 1]

Fokusovaná rázová vlna

Aby bylo možné dopravit ke konkrementu energii potřebnou k jeho fragmentaci aniž by došlo k poškození měkkých tkání využívá se možnost odrazem nebo lomem rázovou vlnu formovat tak, aby dosahovala maximálních hodnot tlaku až v místě aplikace uvnitř těla pacienta. Takovým rázovým vlnám se říká "fokusované rázové vlny".

Interakce rázové vlny s kamenem

Protože se akustická impedance konkrementu podstatně liší od akustické impedance měkkých tkání, dochází při dopadu rázové vlny na toto rozhraní z výrazným rozdílem tlaků na rozhraní a uvnitř konkrementu, a tím dochází k prnutí v konkrementu. Vzhledem k tomu, že špičkový tlak rázové vlny dosahuje desítek megapascalů, dosahují síly působící na konkrement takových hodnot, že bývá překročena mez pevnosti konkrementu (řádově 10^8 Pa) a dochází k jeho fragmentaci.

Spolupůsobícím mechanismem fragmentace kamene jsou kavitace, které vznikají vlivem tahových sil v kapalině v blízkosti povrchu kamene.

K fragmentaci kamene obvykle nestačí jedna rázová vlna. Jejich počet, který je nutný k úplnému rozrušení kamene, je 50–4000, průměrně 1000, podle amplitudy tlaku rázové vlny, velikosti a složení kamene a typu generátoru rázových vln.

Litotryptor

Litotryptor, tedy vlastní přístroj, kterým se provádí litotrypse, se typicky skládá z následujících částí:

- zdroj rázových vln
- fokusovací zařízení
- vazebné prostředí
- zařízení pro zaměření kamene

Generátor rázových vln

Zdroje rázových vln lze rozdělit podle dvou hledisek. Prvním hlediskem je geometrické uspořádání aktivního místa, ve kterém vznikají rázové vlny. V bodových generátorech vznikají rázové vlny v poměrně malém místě, na které lze pohlížet jako na bod, ze kterého se pak rázové vlny šíří víceméně radiálně. V plošných generátorech je zdrojem rázových vln celá plocha, šíření rázových vln je pak podmíněno tvarem této plochy.

Druhým hlediskem je fyzikální princip vzniku rázové vlny. Běžné typy generátorů jsou:

- elektrohydraulické
- elektromagnetické
- piezoelektrické
- laserové

- Laserové zdroje rázových vln nejsou "neinvazivní" ve smyslu přenosu vlny z prostoru vně pacienta, jako ostatní výše jmenované generátory. Laserový paprsek je třeba endoskopicky dopravit až ke kameni, kde působí kontaktně.

Elektrohydraulický generátor

Elektrohydraulický generátor je nejběžnějším generátorem. Podstatou vzniku rázové vlny je vysokonapěťový elektrický výboj. Ve výbojovém kanálu vznikne plazma, které tlačí na okolní kapalinu a expanduje. Expanzí se plazma ochladí a z velké části se přemění zpět na kapalnou vodu. Do okolí se však již šíří radiální rázová vlna.

K fokusaci se využívá jednoduchého poznatku elementární geometrie, totiž že spojnice libovolného bodu elipsy s jedním a druhým ohniskem svírají s tečnou elipsy stejný úhel. V řeči paprskové optiky to znamená, že když z jednoho ohniska vyjde paprsek libovolným směrem, odrazí se od elipsy a projde i druhým ohniskem. Situaci lze snadno přenést do trojrozměrného prostoru, když se vezme rotační elipsoid, tedy útvar, který vznikne z elipsy rotací podél hlavní osy.

Jestliže se v jednom ohnisku rotačního elipsoidu umístí generátor rázových vln, budou se rázové vlny soustředit do druhého ohniska. Pokud se použije jen část elipsy, bude účinnost dostatečná k tomu, aby došlo k fragmentaci konkrementu umístěného v druhém ohnisku.

Piezoelektrický generátor

Piezoelektrický generátor je typickým představitelem plošných generátorů. Fyzikální podstatou je piezoelektrický jev, tedy deformace některých krystalických látek, pokud jsou vystaveny elektrickému poli. Řada poměrně malých piezoelektrických krystalů s připevněnými elektrodami je rozmístěna v ploše, řídicí elektronikou je pak řízeno napětí na elektrodách. Díky tomu, že deformaci krystalu, a tedy i dynamiku vzniklé poruchy tlaku, lze ovlivnit např. rychlostí náběhu napětí na krystalu, je možné do jisté míry volit tvar generované rázové vlny^[pozn 2].

Fokusaci rázových vln z piezoelektrického generátoru lze provádět nejlépe geometrií plochy, na které jsou umístěny piezoelektrické elementy. Jednou z možností je tvarovat plochu jako kulový vrchlík a kámen umístit do středu odpovídající koule.

Elektromagnetický generátor

Fyzikální postatou elektromagnetického generátoru je deformace magnetické membrány při prudké změně magnetického pole. Změny magnetického pole se obvykle dosahuje tím, že se kondenzátor o vysokém napětí vybije přes dostatečně velkou cívku elektromagnetu.

Fokusace je dosahováno buď pomocí akustické čočky, nebo kombinací tvaru membrány a odražením vln do ohniska.

Laser

Laser se v praxi nepoužívá při extrakorporální litotrypsi, nicméně laserem indukované rázové vlny hrají podstatnou roli při kontaktní(!) endoskopické fragmentaci konkrementů.

Vazebné prostředí

Vazebné prostředí je prostředí, kterým se šíří rázová vlna od generátoru do těla pacienta. V zásadě je o odplyněnou vodu, jejíž akustické charakteristiky jsou poměrně blízké měkkým tkáním.

Lokalizace

Pro úspěšný zákrok je nezbytné umístit ohnisko právě do konkrementu, jinak by nebyl zákrok účinný. K lokalizaci kamene se používá dvou systémů, rentgenového a ultrazvukového.

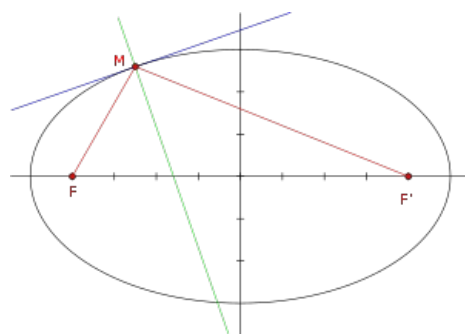
Rentgenová lokalizace

U takových přístrojů je jejich součástí rentgenové C-rameno, které umožňuje získat snímek ve dvou na sebe kolmých projekcích. Výhodou je větší přesnost, nevýhodou pak radiační zátěž pacienta a použitelnost jen na dostatečně kalcifikované (tzv. rentgen kontrastní) konkrementy.

Ultrazvuková lokalizace



Historicky první komerčně dostupný litotryptor Dornier HM1



K principu fokusace rotačním elipsoidem

Ultrazvuková lokalizace se obejde bez radiační zátěže, ultrazvukové zaměření konkrementu je však méně přesné.

Klinické použití

- ledvinové konkrementy – vhodné pro 70 % případů
- žlučnické kameny – vhodné pro 20 % případů
- ortopedie:
 - kalcifikace v pohybovém ústrojí
 - entezopatie a tendinitidy
- fyziatrie:
 - podstatně nižší akustické tlaky – "rázová vlna"
 - doléčení poranění svalů, zlomenin a zánětů
 - bolesti kloubů a šlach

pozn.: Pro část klinických aplikací při léčbě pohybového aparátu chybí vědecké vysvětlení údajného účinku a věrohodné experimenty dokazující klinickou účinnost. Použití rázových vln v těchto aplikacích se tak blíží oblasti alternativní medicíny.

Konkrementy v pánvičce

Terapie konkrementů litotrypsí extrakorporální rázovou vlnou je vhodná zhruba v 70 % případů, terapeutická úspěšnost se pohybuje mezi 70 až 98 %.

Indikace

- volný konkrement velikosti nejvýše 2 cm
- průchodné horní močové cesty
- rentgen kontrastní konkrement (při lokalizaci rentgenem)

Kontraindikace

- gravidita
- krvácivé choroby
- předpoklad spontánního odchodu
- nekontrastní konkrement

Komplikace

- ucpaní močovodu drtí z odcházejícího konkrementu (tzv. steinstrasse)
- hematurie a poškození ledvin

Poznámky k vlastnímu výkonu

- cestu rázové vlny tělem pacienta je třeba volit tak, aby procházela výhradně měkkými tkáněmi a minula pevné tkáně (žebra, páteř,...) i rozhraní měkkých tkání a vzduchu (v dýchacím i zažívacím traktu). Na uvedených akustických rozhraních by se jinak energie rázové vlny uvolňovala a způsobovala jejich traumatizaci.
- Výkon se obvykle neprovádí v anestezii, někdy je však třeba přistoupit k analgosedaci, protože není zcela bezbolestný a trvá desítky minut.
- Rázové vlny se synchronizují s EKG, protože rázová vlna se šíří po celém těle a při zásahu srdce během vulnerabilní fáze srdeční evoluce by bylo jisté riziko vzniku arytmie.
- Konkrement se pouze fragmentuje, odejít musí přirozenou cestou. Proto jsou po výkonu nezbytná režimová opatření.

Žlučové kameny

K řešení pomocí ESWL je vhodných pouze asi 20 % případů. Samotná fragmentace slouží totiž jen ke zvětšení povrchu pro následné rozpouštění kamenů pomocí preparátů na bázi kyselin chenodeoxycholové (CDC) a ursodeoxycholové (UDC).

Odkazy

Poznámky pod čarou

1. Akustické vlnění i rázové vlny lze za jistých omezení dobře popsat pomocí paprsků.
2. Možnost ovlivnění tvaru rázové vlny vypadá zajímavě, není však známo, zda by něco takového bylo klinicky relevantní

Související články

- Rázová vlna
- Cholelitiáza
- Konkrementy
- Urolithiasa

Externí odkazy

- J.Šrámek: Litotripse extrakorporální rázovou vlnou prezentace (<http://www.med.muni.cz/biofyz/doc/NMgr/ESWL.pdf>)

Použitá literatura

- HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vydání. Brno : Neptun, 2001. 396 s. ISBN 80-902896-1-4.
- ROZMAN, Jiří, et al. *Elektronické přístroje v lékařství*. 1. vydání. Praha : Academia, 2006. 410 s. ISBN 80-200-1308-3.
- Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Rázová vlna [online]. c2013 [citováno 7. 01. 2013]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A1zov%C3%A1_vlna&oldid=9530605>