

# 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<sup>[pozn 1]</sup>

## 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. Expanzi 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.

## Piezelektrický generátor

Piezelektrický generátor je typickým představitelem plošných generátorů. Fyzikální podstatou je piezelektrický jev, tedy deformace některých krystalických látek, pokud jsou vystaveny elektrickému poli. Řada poměrně malých piezelektrických 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<sup>[pozn 2]</sup>.

Fokusaci rázových vln z piezelektrického generátoru lze provádět nejlépe geometrií plochy, na které jsou umístěny piezelektrické 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.

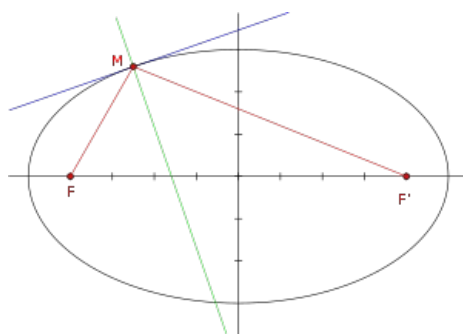
### Rentgenová lokalizace

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 konkrémentu je však méně přesné.

## Klinické použití

- ledvinové konkrémenty – 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.

## Konkrémenty v pánvičce

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

### Indikace

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

### Kontraindikace

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

### Komplikace

- ucpaní močovodu drtí z odcházejícího konkrémentu (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.
- Konkrément 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](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A1zov%C3%A1_vlna&oldid=9530605)>