

Rázová vlna

Rázová vlna je fyzikální jev, při němž se prostředím šíří vzruch (energie) v podobě skokové změny fyzikálních veličin popisujících stav prostředí. Nosičem rázové vlny mohou být obě složky hmoty, tedy látka (bez ohledu na skupenství), či pole (např. elektromagnetické).

Tlaková rázová vlna vzniká při explozivních dějích: při elektrickém výboji v kapalině, výbuchu, explozi supernovy apod. Zdrojem tlakové rázové vlny jsou dále objekty, pohybující se rychleji než je rychlost šíření vzruchu v daném prostředí, např. při nadzvukové rychlosti pohybu letadla nebo konce biče. V takovém případě se jedná o sonický třesk.

Průchod dostatečně silné rázové vlny může změnit vlastnosti samotného prostředí - v tom případě je rázová vlna označována jako "silná". Např. u tlakové rázové vlny se může v důsledku průchodu "silné rázové vlny" měnit skupenství, nebo struktura materiálu jímž vlna prochází. Rázová vlna může také vyvolat chemické reakce v daném médiu.

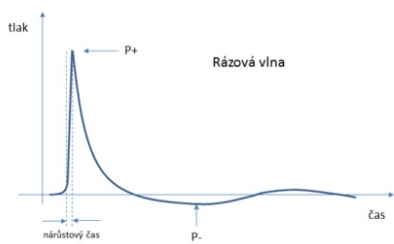
Tlaková rázová vlna

Většina rázových vln s nimiž čtenář může běžně setkat jsou vlny zhuštění a zředění prostředí, tedy rázové vlny tlaku.

Tyto rázové vlny vznikají např. ve vzduchu při výboji blesku (hrom), při výbuchu nebo výstřelu. Zvuk samotný však rázovou vlnou není, neboť má zpravidla dost dlouhý trvání a v daném prostředí de facto konstantní rychlost. Rázová vlna samotná je však charakteristická skokovou a diskretní změnou vlastností média (prostředí), ve kterém se šíří a při průchodu daným prostředím svoji energii ztrácí. Pro účely tohoto textu bude termínem "rázová vlna" označována právě rázová vlna tlaku.

Rozdíl mezi rázovou vlnou a ultrazvukem

Zhuštění a zředění prostředí je mechanismem, kterým se v prostředí šíří rázové i ultrazvukové vlny. V případě **ultrazvuku** jde však o periodický děj s nižšími amplitudami a spojitým průběhem tlaku. Pro názornost si můžete vybavit jak vypadají vlnky na rybníce po vhození kamene.



Pokusíme-li se přenést velké amplitudy tlaku (potřebné k drcení kamenů) do tkání pomocí ultrazvuku, způsobí podtlaková fáze ultrazvukové vlny vznik kavitací a růst mikrobublín. V přirozeném prostředí jsou v tělesných kapalinách a tkáních v nízkých koncentracích přítomné plyny. Tahová fáze ultrazvukové vlny způsobí v kapalině (tkání) podtlak. V nastalé podtlakové fázi se mikrobublíny roztáhnou a začne do nich difundovat rozpuštěný plyn z okolí. Následná tlaková fáze ultrazvukové vlny tyto mikrobublíny opět stlačí. Intenzivním ultrazvukem tedy de facto čerpáme energii do oblaku kmitajících bublin. Tyto kmitající bubliny tvoří překážku v šíření intenzivního ultrazvuku do větších hloubek, ale jsou s úspěchem využívány např. v ultrazvukových čističkách (https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_cleaning) a dezintegrátorech (např. pro homogenizaci suspenzí).

Rázová vlna je naproti tomu děj aperiodický a nelineární. Prostředím se šíří jako jeden silný tlakový pulz, s nelineárním, téměř "skokovým" nárůstem tlaku na čele vlny, následovaný zpravidla delším a nižším podtlakovým kmitem. Rázové vlny generované jiskrovým výbojem ve vodě mají amplitudu tlaku P+ řádově 100 MPa (100x víc než je atmosférický tlak), amplitudu podtlaku P- asi 5-10 MPa a čas nárůstu 30-120 ns. ^[1], ^[2]

Pokud bychom opět hledali analogii s vlnami na vodě, pak rázovou vlnu můžeme v jistém přiblížení přirovnat k vlně tsunami. Podtlaková fáze rázové vlny má daleko (~10x) menší amplitudu (a delší trvání), než její tlaková. Už proto je rázová vlna vhodnější k přenesení velkých amplitud tlaku ke kameni. Nicméně i podtlaková fáze rázové vlny může vyvolat vznik kavitací a mikrobublín. Doba mezi dvěma rázy je však nesrovnatelně delší, než doba mezi následující vlnou ultrazvuku. Mikrobublíny stihnou tedy před dalším rázem více zrelaxovat a zmenšit se díky difuzi plynů přes stěnu bubliny. Zbylé mikrobublíny již netvoří pro šíření následující rázové vlny podstatnou překážku.

Shrňme závěrem podstatné vlastnosti RV:

1. rázové vlny pro klinické drcení kamenů jsou fokusované;
2. RV mají podstatně větší (>10x) amplitudu tlaku P+ než podtlaku P-;
3. RV jsou aplikovány opakovaně, ale s prodlevou postačující k relaxaci prostředí.

Generátory rázových vln

Pro neinvazivní litotrypsi byly vyvinuty tři typy generátorů rázových vln - Generátory elektrohydraulické, elektrodynamické a piezoelektrické.

- **Elektrohydraulické** - Tlaková vlna je způsobena vznikem plazmatu působením elektrického proudu ve vodě.
- **Piezoelektrické** - Jsou založeny na nepřímém **piezoelektrickém jevu** = deformace určitých materiálů vlivem elektrického napětí.
- **Elektrodynamické** - Principem je přeměna elektrodynamického tlaku magnetického pole na tlak akustický při průchodu elektrického impulsu cívkou.
- Effect of Focused and Radial Extracorporeal Shock Wave Therapy on Equine Bone Microdamage (<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1532-950x.2004.040005.x/full>)
- Effectiveness of radial shockwave therapy compared to focused shockwave therapy (<https://www.biomedcentral.com/1471-2474/12/229>)

Léčebné použití RV

Litotrypse - rozbíjení tělních konkrementů

Litotrypse extrakorporální rázovou vlnou (LERV) je neinvazivní metoda sloužící k odstraňování (rozbíjení) ledvinových nebo žlučových kamenů. Cílem terapie je destrukce / fragmentace konkrementů v těle při minimálním poškození okolní měkké tkáně. Rázová vlna je generována vně těla pacienta generátorem rázových vln (viz Generátory rázových vln) a prochází s minimálními ztrátami vodním prostředím a měkkými tkáněmi až ke konkrementu. Energie rázové vlny se uvolní na povrchu kamene, za vzniku tahových sil na povrchu kamene zapříčiněných odraženou energií. Konkrementy na jeho odvrácenou stranu. Souběžně na povrch kamene působí **kavitace** vyvolané podtlakovými silami. Kámen se působím uvedených sil rozbíjí na malé fragmenty a je v případě ledvinových kamenů přirozenou cestou vyplaven z organismu, nebo v případě žlučových kamenů dále rozpuštěn léky.

Rázová vlna procházející dvourozměrnou mřížkou. Na animaci je dobře patrná fáze zhuštění (zvýšení tlaku na čele vlny) a zředění (podtlaková fáze vlny).

Rázové vlny jsou generovány ve vodě, která má akustickou **impedanci** srovnatelnou s akustickou impedancí měkkých tkání a na rozhraní obou prostředí (na povrchu těla pacienta) nedochází k významné disipaci energie. Nicméně, pokud je kámen odolný a rázových vln je třeba hodně, může na povrchu těla vzácně dojít ke vzniku **petechiálního krvácení** a podkožního hematomu.

K netraumatickému přenosu velké energie ke konkrementu uvnitř těla pacienta přispívá fokusace rázových vln. Rázové vlny jsou generovány vlně těla pacienta a reflexy nebo refrakci jsou soustředěny tak, aby maximum tlaku (ohnisko rázové vlny) bylo v místě, kde potřebujeme destruovat konkrement. Tkáněmi tak procházejí vlny s relativně nízkou intenzitou a destrukční účinek vlny je soustředěn až v místě ohniska.

Využití RV při léčbě muskuloskeletárních onemocnění

Zatímco se při neinvazivní litotrypsi se snažíme zajistit, aby RV procházela jen měkkými tkáněmi, při ošetření pohybového aparátu tomu tak není.

Léčba paklobů a pomalu se hojících zlomenin

První pokusy o využití rázových vln v ortopedii byly zaměřeny na léčbu **paklobů**. Pacienti s pomalu srůstajícími zlomeninami a s pakloby mohou být úspěšně léčeni rázovými vlnami s vysokou energií (jaké se používají v neinvazivní litotrypsi). Po expozici srůstových ploch rázovou vlnou je zlomenina imobilizována. Ve více než 80% případů má již první terapie za následek konsolidaci kosti a současně snížení příznaků. Vedejšími projevy jsou lokální reakce (otok, hematomy, petechiální krvácení). Léčba je neinvazivní a technicky snadno proveditelná. V roce 2001 autoři studie na 100 pacientech došli k závěru, že použití mimotělní terapie rázovou vlnou by mělo být metodou první volby při léčbě pacientů s pakloby a pomalým hojením kostních zlomenin. ^[3]

Další ortopedické indikace pro ošetření RV

Kalcifikující tendinitida - Syndrom bolestivého ramene (<http://www.revmatologicka-spolecnost.cz/syndrom-bolestiveho-ramene>)

Jedná se o onemocnění šlach ramenního kloubu s nejasnou etiologií, které je charakterizováno ukládáním vápenatých solí do **rotátorové manžety**. Působením rázových vln byla v randomizované studii zlepšena pohyblivost, snížena bolest a zmenšena velikost kalcifikací. Účinky vysokoenergetických rázových vln byly prokazatelně lepší, než působení RV nízkooenergetických, ale i ty byly efektivnější než placebo. Účinek lze mít za prokázaný, i když mechanismus působení zůstává neobjasněný. ^[4]

Epikondylitida laterální kosti pažní - Tenisový loket

Epikondylitida je onemocnění úponů šlach (entezopatie) lokte. Příčinou bývá přetěžování loketního kloubu při sportu nebo v zaměstnání. Bez léčby mohou obtíže přetrvávat velmi dlouho (měsíce i roky).

- <http://jor-online.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1749-799X-7-11?site=jor-online.biomedcentral.com>
- <https://jor-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/1749-799X-7-11>,
- http://asadl.org/jasa/resource/1/jasman/v120/i5/p3064_s3?bypassSSO=1

Kardio

- <http://www.amscl.com/main.files/paper/2010%20Double-Blind%20and%20Placebo->

- Controlled%20Study%20of%20the%20Effectiveness%20and%20Safety%20of%20Extracorporeal%20Cardiac%20Shock%20Wave%20Therapy%20for%20Severe%20Angina%20Pectoris.pdf
- http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167527309015198

Průběh terapie

Celá procedura trvá kolem 15 minut a skládá se ze 3 fází:

1. Lokalizování bolestivých míst pohmatem.
2. Nanesení gelu.
3. Aplikace rázové vlny.

Obvykle se terapie opakuje 3-5 krát, s odstupem 3-10 dnů.

Metody aplikace RV

1. Mapování - používá se v úvodní fázi terapie a slouží k:
 - aklimatizaci pacienta na pocit způsobený akustickými vlnami;
 - dosažení co největšího analgetického účinku v nejbolestivější oblasti;
 - podpoření prokrvení dané oblasti.
2. Otáčení - používá se v hlavní fázi terapie a slouží k:
 - zaměření se na nejbolestivější bod;
 - dosažení maximálního léčebného účinku v klíčovém bodě onemocnění pacienta.

Klinické použití

- Rehabilitace - bolesti v ramenou, epikondylitida, bolest v kříži, bolest Achillovy šlachy, patelární tendinitida, léčba spoušťových bodů
- Ortopedie - zamrzlé rameno, periarthritís humeroscapularis, calcar calcanei/ patní ostruha, artritické změny - sekundární symptomy, achillodynie, laterální a ulnární epikondylitida
- Sportovní lékařství - svalová distenze, prodloužená léčba kloubní distorze, bolest v třísllech, bolest v kyčlích, bolest v kříži, achillodynie
- Estetická medicína - odstranění celulitidy, regenerace kůže

Kontraindikace léčby RV

- Současná léčba protisrážlivými preparáty (antikoagulační léčba). Jde o preparáty **kumarinového** typu (př. Warfarin, Lawarin aj.) nebo současná léčba preparáty **heparinového** typu (LMWH – př. preparáty Clexane, Fraxiparine, Zibor aj.).
- Vrozené a získané poruchy krvácivosti a srážlivosti nebo krvácivé projevy. U těchto případů může léčba rázovou vlnou vyvolat určité místní krvácivé projevy.
- **Těhotenství**, bakteriální infekce kostí (infikované zlomeniny, osteomyelitidy) nebo pacienti s nezhojenými ranami, **Alzheimerova choroba**, **polyneuropatií**, u pacientů se zhoubnými nádory a u pacientů u nichž není přesně stanovena příčina jejich bolesti polybového aparátu nebo bolest není přesně lokalizována.
- Po injekční aplikaci kortisonoidů v předchozí léčbě (př. aplikace preparátů Diprophos, DepoMedrol aj.) je vhodná léčba rázovou vlnou až po 6 týdnech od poslední aplikace.

Hrazení pojišťovnamí

Cena jedné aplikace (jednoho použití) rázové vlny se pohybuje okolo 400-600,- Kč v závislosti na postižené krajině a NENÍ hrazeno z veřejného zdravotního pojištění

Reference

1. McClure S, VanSickle D, White R: Extracorporeal shock wave therapy: What is it? What does it do to equine bone. Am Assoc Equine Practnr 46: 197-199, 2000, online: <http://kiropraktik.dk/GraysonFinalReport.pdf>
2. MCCLURE, Scott a Christian DORFMULLER. Extracorporeal shock wave therapy: Theory and equipment. Clinical Techniques in Equine Practice. 2003, roč. 2, č. 4, s. 348-357. ISSN 15347516. DOI: 10.1053/j.ctep.2004.04.008. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1534751604000137>
3. Schaden, W., A. Fischer, and A. Sailler, Extracorporeal Shock Wave Therapy of Nonunion or Delayed Osseous Union. Clinical Orthopaedics and Related Research, 2001, 387: p. 90-94.
4. Gerdesmeyer L, Wagenpfeil S, Haake M, et al. Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Treatment of Chronic Calcifying Tendonitis of the Rotator Cuff: A Randomized Controlled Trial. JAMA. 2003;290(19):2573-2580. doi:10.1001/jama.290.19.2573.

Související články

- [Ultrazvuk/Diagnostické aplikace ultrazvuku](#)
- [Litotrypse extrakorporální rázovou vlnou](#)

Externí zdroje

- http://www.revmacentrum.cz/ceny_cs.html
- <http://www.urologieprostudenty.cz/litotrypse-extrakorporalni-razovou-vlnou>
- https://cs.wikipedia.org/wiki/R%C3%A1zov%C3%A1_vlna