

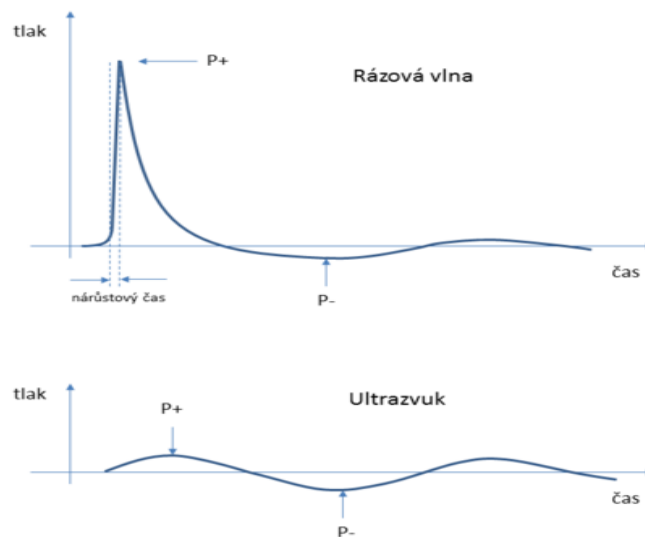
Drtiče konkrementů

Konkrementy

Konkrementy neboli kameny v těle jsou pevné útvary, které vznikají ve vývodných cestách orgánů. Nejběžněji se vyskytují v ledvinách (nephrolitiáza), močových cestách (urolitiáza), ve žlučníku (cholelitiáza/choledocholitiáza), nebo ve vývodu slinivky břišní a v prostatě. Mají různé složení podle svého umístění. V močových cestách je často tvoří kyselina močová, jinde zase vápenaté soli. Vznik podporují některé vlastnosti prostředí. Jedním z nich je zvýšení koncentrace kmenotvorné látky jako třeba při dehydrataci v ledvinách kyseliny močové. Druhým z nich je změnou pH.

Rázová vlna

Takovéto konkrementy se drtí pomocí tlakové vlny specifických vlastností, které se říká rázová vlna. Rázová vlna má vysokou amplitudu akustické vlny s velmi rychlým nástupem – desetiny mikrosekund a následně záporným tlakem tvořícím tahový efekt. Vzestupnou část označujeme jako šok a trvá několik nanosekund a hodnoty tlaku dosahují až do 100 MPa. Negativní tlak působí na tkáň přibližně 3 mikrosekundy a hodnoty tlaku jsou kolem -10 MPa. Generátory nejsou vždy schopny takovou vlnu vytvořit, ale vlna se formuje až průchodem prostředím po dosažení tzv. šokové vzdálenosti (do 10 cm od generátoru).

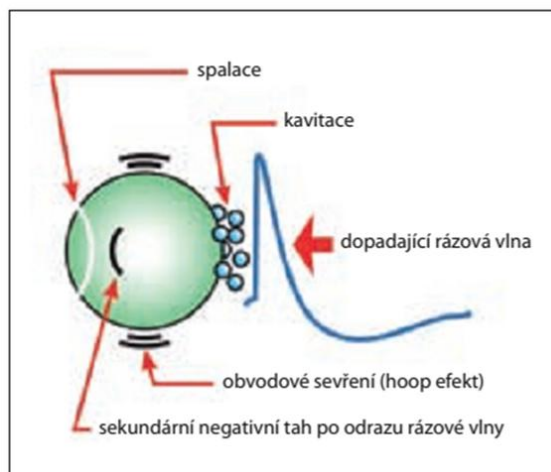


Obrázek 1. Rázová vlna v porovnání s vlnou ultrazvukovou[1]

Efekty

Rázová vlna působí na prostředí podobně jako UZV vlna, odráží se od rozhraní s rozdílnou akustickou impedancí a část prochází dál. Díky tvaru vlny je ale náraz na pevné těleso doprovázen mnohem většími hodnotami tlaku a způsobuje poškození konkrementu. Efekty, které má RV na kameny:

- a) kavitace – při průchodu RV vodným (kapalným) prostředím, dochází ke vzniku vakuových a následně plyných bublin, které se v době negativní fáze RV díky podtlaku zvětšují a následně kolabují za vzniku sekundárních rázových vln. Ty mají dosah jen několik mm, ale protože se tvoří především těsně před konkrementem, způsobují významnou erozi jeho proximální části.
- b) drcení (spalace) – na distální části konkrementu dochází díky velkému odrazu vlny od rozhraní ke zvětšenému zápornému tlaku, který ve formě tahové síly uvnitř konkrementu narušuje jeho strukturu.
- c) obvodové stlačení – k tomu dochází díky různé rychlosti šíření RV v konkrementu a mimo něj. Protože je tak v každou chvíli u hranice konkrementu z jedné strany vysoký tlak a v druhé nízký (záporný), dochází k vyboulení konkrementu a narušení jeho struktury.
- d) únavový efekt
- e) superfokusace
- f) oddělování vrstev



Obrázek 2. Efekty rázové vlny

Drcení konkrementů

Tyto metody využívají drtiče konkrementů a to buďto invazivní či neinvazivní .

Neinvazivní metody (PEK)

Možné přístupy

- Perkutánně (přes břišní stěnu)
- Ureteroskopicky (přes močovou trubici)

Principy

- mechanická destrukce
- destrukce rázovou vlnou

Perkutánní extrakce konkrementů, PEK

Perkutánní přístup přes břišní stěnu se aplikují se jen u konkrementů v ledvinách. Přístup k ledvinám je zajišťován zavedením dilatačního většinou plastového vodiče. Do něj je umístěn nefroskop. Nefroskop je flexibilní nebo rigidní endoskop z titanu nebo chirurgické oceli.

Obsahuje pracovní kanál pro zavedení nástrojů a optický kanál pro sledování operačního prostředí. Zpravidla bývá zaváděn a kontrolován pod rentgen (C-rameno). Při použití kontrastní látky (retrográdní pyelogram) se zvýrazní hrany kamenů. Výkon se provádí ve spinální nebo celkové anestezii. Perkutánní přístup se používá u velkých kamenů větších než 2 cm nebo kameny s nepravidelným tvarem. Cílem této metody je odstranit všechny kameny, aby se nedostaly do močového traktu.

Ureteroskopický přístup

Systémy na principu rázové vlny lze zavést močovou trubicí pomocí ultratenkých flexibilních fibroskopů. Pomocí vláknové optiky je dopraven zdroj energie až ke kamenům. Výhodou takového přístupu je menší invazivnost, možnost zákrok provést i v lokální anestezii. Tímto přístupem je možné rovnou odstraňovat kameny blokuující močové cest. Délka vlákna může být až 4 m, jeho průměr 200 µm. Rozměry vlákna umožňují se dostat i do obtížně přístupných míst v ledvinách.

Mechanická destrukce

Drcení kamenů je možné provádět například kleštěmi zavedenými perkutánním pracovním kanálem nefroskopu. Dále je možné mechanické rozrušení konkrementů provádět i tzv. „rotorem“. Systém využívá rychle se otáčející speciální břity uvnitř ochranného koše. Rotací je vytvářen vír nasávající kameny, které jsou po kontaktu s „rotorem“ rozměňovány na písek. Fragmenty jsou potom odstraněny výplachem a odsáty.

Destrukce rázovou vlnou

Princip spočívá v prudkém zahřátí kapaliny v blízkosti kamene, kdy dojde k její valorizaci (vypaření). Tím vzniká kavitační bublina, která rychle expanduje a vytváří šokovou vlnu. Když kavitační bublina praskne (zkolabuje), vytvoří se sekundární tlaková vlna, která se přenáší do blízkosti kamene. Kámen a kapalina mají rozdílnou akustickou impedanci, což způsobuje uvolnění energie a to vede k rozrušení kamene. Tento princip uplatňují tyto metody:

- elektro-hydraulická destrukce (EHL – electro-hydraulic lithotripsy)
- ultrazvuková destrukce
- laser (LISL – laser induced shock wave lithotripsy)

Pro funkci systému je nezbytná kapalina v okolí hrotu nástroje a kamene. Vodivost kapaliny ovlivní účinnost rázových vln. Pro dostatek tekutiny je do ledviny aplikován fyziologický roztok (9% roztok chloridu sodného). Kapalina v okolí kamenů navíc pohlcuje přebytečné teplo, čímž je zamezováno přehřívání a poškození okolní zdravé tkáně. Při nárazu šokové vlny jsou kameny odmršťovány. Proto jsou konce optických vláken navíc opatřeny kovovou sítkou, která udržuje kalkul během jeho rozměňování v správné vzdálenosti. Délky pracovních nástrojů korespondují s délkami rigidních i flexibilních endoskopů tj. 450-950 mm.

Elektro-hydraulická destrukce

Pomocí impulsů napětí (desítky až stovky V) se formou jiskření v kapalině vytváří plasma a vzniká kavitační bublina způsobující rázovou vlnu působící přímo na povrchu kamene. Mikroskopické „vrty“ do kamene pak způsobí jeho rozrušení. Hrotem pracovního nástroje je narušována jen omezená oblast nejbližšího okolí. Všechny funkce systému jsou řízeny mikroprocesorem, od uvedení do činnosti až po přiložení hrotu nástroje na konkrement; mikroprocesor řídí též volbu energie a frekvenci výbojů (až 100 za sekundu) i opotřebení hrotu.

Destrukce laserovým svazkem

Laser je zdrojem koherentního a monochromatického elektromagnetického záření. To je v laseru zesilováno a dokáže dosáhnout dostatečného výkonu k vytvoření kavitační bubliny a tím i rázové vlny. Lasery navíc uplatňují i fototermální mechanismus, při kterém dochází k vaporizaci i organických materiálů v kameni, což vede k jeho efektivnější destrukci. Příkladem používaných laserů jsou dye-lasery (barvivové) pracující na vlnové délce $\lambda = 504$ nm s výkonem až 100 W, Nd:YAG-lasery o vlnové délce $\lambda = 1,064$ nm s výkonem až 200 W, alexandritový laser s vlnovou délkou $\lambda = 755$ nm a impulsním výkonem až 2 kW při šířce impulsu 150-180 ns a nepoužívanější Ho:YAG-lasery o vlnové délce $\lambda = 2,1$ μ m s výkonem do 6 kW v impulsu. Ho:YAG laser lze použít na fragmentaci všech druhů kamenů. Navíc lze využít i vaporizaci samotné tkáně pacienta k ablaci (odstranění) patologických zúžení močových cest.

Neinvazivní metody (ESWL)

Neinvazivní metody drcení konkrementů v ledvinách nebo žlučníku popř. v jejich vývodných cestách využívají působení rázové vlny na pevný povrch kamenů. Rázová vlna je aplikována přes pokožku pacienta bez přímého kontaktu přístroje s konkrementem. Pokožka je přizpůsobena působení přístrojů pomocí gelu. Pomocí fokusačních soustav je vlna nasměrována přímo na konkrement. Velká část intenzity dopadá na přední stranu konkrementu, kde působí destrukčně na jeho povrch, a část projde až na zadní stranu, kde zmenšenou mírou působí také. Cílem tedy je rozdrtit či rozštěpit kameny na takovou velikost, aby je pacient mohl fyziologicky vyloučit.

V první řadě je tedy potřeba správně lokalizovat konkrement. K tomu se používají zobrazovací techniky především rentgen a ultrazvuk, které umožňují zobrazení i během zákroku.

Rázovou vlnu je možné vytvořit pomocí různých metod. Nejběžnější je elektro-hydraulický systém a dalšími jsou působení laseru, piezoelektrických měničů nebo elektromagneticky. Takto vytvořené vlny jsou nasměrovány na konkrement fokusační soustavou, která může mít elipsoidní, kulový či válcový tvar. Většinou se jedná o akustická zrcadla těchto tvarů. K přístupu se používá tzv. akustické okno solidní tkáně mezi žeberním obloukem, páteří a pánví (jako u UZV).

Elektro-hydraulické systémy

Do odplyněné vody jsou umístěny dvě elektrody s vysokým napětím. Mezi jejich hroty dochází k průrazu a ionizaci vody. Plasma má vysokou teplotu a tím vytváří vysoký tlak. Ten je přenášen vodným prostředím a odrážen od akustického reflektoru ve tvaru rotačního elipsoidu do místa druhého ohniska, kam je nastaven konkrement. Toto místo je pak atakováno dvěma RV - jedna přímo, jedna z odrazů. Které mají rozestup asi 30 us, což podporuje kavitaci.

Elektromagneticky

Systém se skládá z cívky, metalické membrány, která kmitá s frekvencí proudu v cívce. Tlakové vlny se přenášejí přes akustické zrcadlo. Ve zdroji vzniká lineární akustická vlna, která se rázovou teprve stane. Výsledné vlny jsou mnohem homogennější.

Piezoelektricky

Více měničů na kulovém vrchlíku, nebo radiálně vyzařující měnič vprostřed rotačně symetrického parabolického reflektoru. Vyzařují akustický impulz, který se průchodem prostředí převede na RV.

Žádný litotripter ale není ještě dokonalý. Největší problémy jsou s poškozením okolní tkáně. Jedním z efektů je kavitace v krvi, která poškozuje cévní stěny. Druhým jsou supramaximální tlaky v okolí konkrementu, které způsobují poškození tkání. Tato oblast je popsána jako fokální zóna a je závislá na litotripteru.

Zdroje

- [1] http://www.wikiskripta.eu/index.php/R%C3%A1zov%C3%A1_vlna
- [2] http://www.kidney.org/atoz/content/kidneystones_PNN.cfm
- [3] http://intranet.tdmu.edu.ua/data/kafedra/internal/endoscop_fpo/-classes_stud/e4%20year/Lesson%203.htm
- [4] <http://www.northgate-tech.com/products/lithotripsy>
- [5] <http://urologystone.com/ch07treatmentoptions/ehl.html>
- [6] <http://www.urologymatch.com/node/1975>
- [7] http://www.dornier.com/Global/assets/Image/spotVisuals/stone_fragmentatio
- [8] <http://www.medyhealthcare.com/wp-content/uploads/2013/12/Lithotripsy.pn>
- [9] http://patients.uroweb.org/fileadmin/eau_images/images_full/PNL.jpg
- [10] <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/endoskopicke-operacni-meturolitiaz-y-v-dnesni-lecbe-130062>
- [11] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8863543>
- [12] <http://urologystone.com/ch07treatmentoptions/holmiumLaserLithotripsy.htm>
- [13] https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQC_P7C8iJLgAMaR5STUu95DCIOoCjLwRZws4FznYT42
- [14] <http://img.medscape.com/fullsize/migrated/521/369/un521369.fig3.gif>
- [15] LINGEMAN, *Současnost Extrakorporální litotrypse*. Urologické listy, 2/2004
- [16] FÓGEL, Fyzikální základy extrakorporální litotrypse. Ces Urol, 14/2010