

Tomaž Smrkolj<sup>1</sup>, Bojan Tršinar<sup>2</sup>

# Zunajtelesno drobljenje kamnov v sečilih

## *Extracorporeal Shockwave Lithotripsy in Urolithiasis*

---

### IZVLEČEK

**KLJUČNE BESEDE:** sečila kamni, litotripsija

Od prve klinične uporabe zunajtelesnega drobljenja kamnov v sečilih je minilo že več kot 20 let. Fizikalni principi drobljenja kamnov z udarnimi valovi so opisani s tlačnim modelom, modelom kavitacije, kohezivnim modelom in binarnim modelom. Uporabljamo lahko tri osnovne izvore udarnih valov: elektromagnetni, piezoelektrični in elektrohidravlični. Razvoj aparatov gre v smeri izboljševanja zbiranja udarnih valov, slikovnega prikaza kamnov z rentgensko in ultrazvočno tehniko, zmanjševanja dimenzij aparata, varnosti in udobja bolnika. Klinični rezultati zunajtelesnega drobljenja so odvisni od mnogih dejavnikov, najpogosteje opisovana sta velikost in lega kamna v sečilih. Posebno pozornost zaradi slabših uspehov drobljenja posvečajo kamnom v spodnjem ledvičnem polu ter pomenu zaostalih drobcev kamnov v sečilih, ki so zaradi gravitacijsko neugodne lege največkrat prisotni ravno v spodnji ledvični čaši. Drobljivost kamna je odvisna tudi od njegove kemične sestave, najbolj drobljivi so magnezij-amonij fosfatni kamni. Zunajtelesno drobljenje kamnov prištevajo k maloinvazivnim metodam, vendar so opisani tudi možni kratko- in dolgoročni zapleti, najpogosteje ledvične kolike, veriga drobcev, simptomatska okužba sečil in makrohaturija.

351

---

### ABSTRACT

**KEY WORDS:** urinary calculi, lithotripsy

It has been more than 20 years since extracorporeal shockwave lithotripsy came into clinical use. The physical principles of shockwave formation and the effects of shockwaves in lithotripsy are described with coexistent models. There are three basic sources of shockwaves that can be used: electromagnetic, piezoelectric and electrohydraulic sources. Development of extracorporeal shockwave lithotripsy machines is concerned with better shockwave focusing, radiologic and ultrasound imaging enhancement, decreasing shockwave machine dimensions, and the patient's safety and comfort. The clinical results of extracorporeal shockwave lithotripsy depend on many variables, of which the most commonly reported ones are the size and location of the stone. Special attention is paid to the lithotripsy of lower pole kidney stones due to its lower success rates and residual stone fragments, which frequently remain in the lower renal calyx due to an unfavourable gravitational position. A stone's fragility also depends on its chemical composition. The most fragile are magnesium-ammonium phosphate stones. Even though extracorporeal shockwave lithotripsy is a less invasive procedure, there are both short- and long-term complications. Most frequently these include renal colic, »steinstrasse«, symptomatic urinary tract infection and macrohematuria.

---

<sup>1</sup> Tomaž Smrkolj, dr. med., Klinični oddelek za urologijo, Klinični center, Zaloška 7, 1525 Ljubljana.

<sup>2</sup> Prof. dr. Bojan Tršinar, dr. med., Klinični oddelek za urologijo, Klinični center, Zaloška 7, 1525 Ljubljana.

## ZGODOVINSKI RAZVOJ ZUNAJTELESNEGA DROBLJENJA KAMNOV V SEČILIH

Razvoj zunajtelesnega drobljenja kamnov v sečilih se je začel v nemški aeronavtični tovarni Dornier, kjer so pri raziskovanju udarnih valov, ki se pojavijo pri nadzvočnih letalih, odkrili elektrohidravlični generator le-teh. Tako sprožen udarni val so uspeli usmeriti in ga leta 1980 prvič uporabiti za drobljenje ledvičnih kamnov pri človeku. Prvi aparat za zunajtelesno drobljenje kamnov se je imenoval HM-1, bolnik je med drobljenjem ležal v kadi z vodo, udarni valovi pa so se prenašali skozi vodo na telo. Usmerjanje valov je potekalo z dvema rentgenskima ojačevalnikoma. Komerzialna uporaba zunajtelesnega drobljenja je zaživela leta 1984, leto kasneje pa se je že pojavila druga generacija aparatov, pri katerih so uporabljali ultrazvočno usmerjanje, piezoelektrične (1986) in elektromagnetne (1987) generatorje udarnih valov, bolnik pa ni bil več v kadi z vodo, temveč le v stiku z drobilno glavo aparata. Splošno anestezijo je nadomestila intravenska analgezija. V zadnjih letih so se pojavili aparati tretje generacije, ki so predvsem kompaktnější in cenejši (1) (slika 1).

### ZGRADBA APARATA ZA ZUNAJTELESNO DROBLJENJE

Funkcionalno vsak aparat za zunajtelesno drobljenje vsebuje 4 sestavine:

- izvor udarnih valov,
- zbiranje (fokusiranje) udarnih valov,
- prenos valov skozi medij,
- slikovni prikaz kamna.

V komercialni uporabi so tri vrste izvora udarnih valov. Najstarejši elektrohidravlični proizvaja točkovne valove, ki jih je treba sekundarno usmeriti na kamen. Temelji na podvodni visokonapetostni razelektritvi, ki lokalno izpari vodo, ta nenadna širitev plina pa povzroči udarni val, ki se odbije od paraboličnega »ogledala«. Piezoelektrični izvor sestavljajo v poloblo razporejeni piezokristali, ki se pri visokonapetostnem električnem sunku razširijo in tako povzročijo nastanek



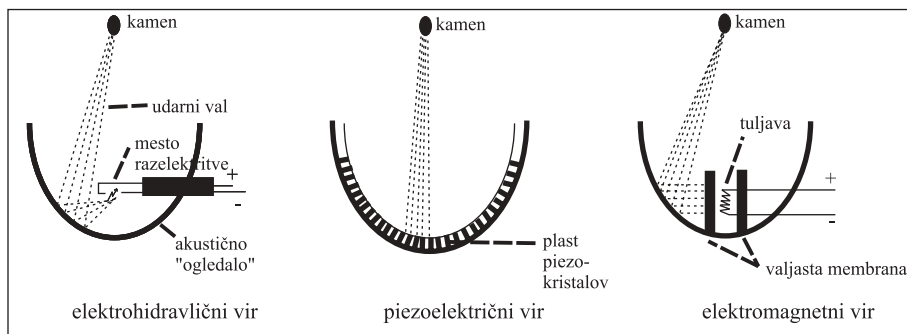
Slika 1. Aparat za zunajtelesno drobljenje kamnov v sečilih Siemens Lithostar Multiline na KO za urologijo v KC Ljubljana. 1 – Clok rentgenskega ojačevalnika, 2 – ultrazvočni aparat za UZ pozicioniranje, 3 – udarna glava, 4 – miza za bolnika, 5 – možni zaslon rentgenskega ojačevalnika.

udarnega vala, ki se od vsakega kristala širi v smer gorišča, kjer se nahaja kamen. Elektromagnetni izvor predstavlja z vodo napolnjena cev, v kateri je kovinska membrana, za njo pa se nahaja tuljava. Ob visokonapetostnem sunku nastane v tuljavi elektromagnetno polje, ki odbija nasprotno nabito kovinsko membrano, pri tem nastane udarni val, ki ga »zvočne« leče ali parabolično »zrcalo« usmerijo v gorišče (slika 2).

Zbiranje udarnih valov je torej odvisno od izvora valov, v zvezi z zbiranjem pa sta pomembna dva parametra, in sicer apertura in goriščno področje. Poenostavljeno ustreza apertura površini kože, skozi katero potujejo udarni valovi. Večja apertura (piezoelektrični izvor) pomeni manjši tlak na kožo in manjšo bolečino za bolnika. Goriščno področje predstavlja prostornino, v kateri je intenziteta udarnega vala največja. Veliko goriščno področje pomeni večjo količino z udarnim valom prenesene energije in s tem uspešnejše drobljenje, vendar tudi večjo nevarnost za poškodbo okolnih tkiv.

Prenos valov mora potekati skozi medij s čim manjšo izgubo energije, zato je izvir valov znotraj cevi z vodo, ki je na koncu zaprta s posebno plastično membrano, ki ne razprši udarnega vala. Med bolnika in to membrano pa nanese še gel, ki ga navadno uporabljamo pri ultrazvočnih preiskavah.

Slikovni prikaz kamna je odločilnega pomena za uspeh drobljenja, kajti učinek udarnega vala je izven gorišča neznaten, poleg tega



Slika 2. Shematski prikaz treh vrst virov udarnih valov.

se z dobrim prikazom kamna izognemo poškodbam tkiv in organov, ki bi se lahko znašli v gorišču udarnega vala. V modernih aparatih sta na voljo rentgenska ali ultrazvočna slikovna tehnika ali obe hkrati. Ultrazvočna tehnika je po mnenju mnogih premalo natančna, še zlasti pri kamnih v sečevodu. Rentgenska tehnika pa je sporna predvsem zaradi ionizirajočega sevanja, ki je pri drobljenju sicer pod dovoljeno mejo, ne omogoča pa prikaza radiolucentnih kamnov ter sprotnega spremljanja drobljenja kamna (angl. *real time tracking*), kar omogoča ultrazvočna tehnika (1). Med drobljenjem se kamen lahko odmika iz gorišča, predvsem zaradi respiratornega premikanja, pa tudi zaradi premikanja znotraj sečil. Chang in sodelavci opisujejo, da zgolj 30–50% udarnih valov pade natančno na kamen. Razvili so računalniški sistem, ki z ultrazvočno tehniko samodejno prepoznava lego in premikanje kamna ter ustrezno popravi lego gorišča udarnih valov. V *in vitro* študiji s tem sistemom so potrebovali za zdrobitve enakega kamna kar za 1,9-krat manjše število udarnih valov kot brez sistema (2). V primeru radiolucentnih kamnov v sečevodu, ki jih ultrazvočno ni moč prikazati, priporočajo uporabo intravenskega kontrastnega sredstva ter rentgenske tehnike. Optimalno gorišče je v tem primeru 5 mm pod koncem kontrastnega stolpca (3).

## ANALGEZIJA

Analgezija je bila sprva splošna in področna, danes pa je predvsem v obliki intravenske sedacije (midazolam) in/ali opiatov (fentanil, petidin, piritramid), lokalno lahko nanese mo tudi anestetično kremo (1).

## FIZIKALNI PRINCIPI DROBLJENJA KAMNOV Z UDARNIMI VALOVI

Obstaja več različnih fizikalnih modelov, ki pojasnjujejo mehanizem zdrobitve kamna z udarnimi valovi, širšega konsenza o pravem mehanizmu pa danes še ni. Delovanje pozitivnega dela udarnega vala je odvisno od razmerja med premerom gorišča in kamna. Kadar je gorišče majhno v primerjavi z velikostjo kamna, nastajajo na površini kamna razpoke in kraterji pod vplivom gradienta tlaka v kamnu, strižnih in vzdolžnih napetosti. Če pa je gorišče večje, udarni val potuje skozi kamen, se na zadnji površini kamna odbije ter povzroči vzdolžno mehanično napetost v kamnu. Zaradi cikličnega ponavljanja udarnih valov pride do »utrujanja« materiala kamna. Negativni del vala pa neposredno povzroči mehanično napetost, ki je homogena razporejena v vsej prostornini kamna, poleg tega pride v tekočini v neposredni bližini kamna ter v razpokah do kavitacije oziroma nastanka in izginjanja mehurčkov zaradi tlaka uplinjene tekočine. Pri kolapsu takih mehurčkov prihaja do pojavljanja lokalnih curkov tekočine, ki se gibljejo s hitrostjo do 100 m/s in zadevajo v površino kamna ter tako ustvarjajo na mestu stika lokalno povišanje tlaka (kavitacijski model). Raziskave *in vitro* kažejo, da večinoma po določenem številu udarnih valov kamen razpade na dva dela, kar imenujemo binarni model fragmentacije. Smer lomne poke je pri manjših kamnih vzporedna s smerjo širjenja vala. Pri večjih kamnih je smer poke pravokotna, začetek razpoke pa je v področjih, kjer je zgradba kamna

nehomogena in že prej vsebuje drobne razpoke, ki zaradi sil med drobljenjem rastejo in se med seboj združujejo (kohezivni model). Razmerje med številom udarnih valov, ki so potrebni za prvo razdelitev kamna, ter številom potrebnih valov za zdrobitev kamna na fragmente, manjše od npr. 2 mm, je linearno odvisno le od premera kamna ter izbrane končne velikosti fragmentov (4, 5).

Različni tipi izvorov valov povzročajo različne vzorce drobljenja. Elektrohidravlični drobilci naredijo široke in plitve kraterje na površini kamna, piezoelektrični ozke in globoke, medtem ko elektromagnetni povzročijo krater v obliki stožca s pravim kotom na vrhu. Pri elektrohidravličnih in piezoelektričnih aparatih je optimalno postavljeno gorišče na sprednji površini kamna, pri elektromagnetnih pa na zadnji (1). Matin in sodelavci so primerjali uspeh drobljenja z dvema različnima aparatoma, ki sta imela različna vira valov (elektromagnetni in elektrohidravlični), pri čemer se je izkazalo, da sta oba vira enako učinkovita (6).

## VLOGA SESTAVE KAMNOV IN URINA PRI ZUNAJTELESNEM DROBLJENJU

*In vitro* so preiskovali različne lastnosti kamnov, ki so jih kirurško odstranili. Drobljivost je bila največja pri magnezij-amonij fosfatnih kamnih (42 % drobljivost), manjša pri uratnih kamnih (29 %) in najmanjša pri kamnih iz kalcijevega oksalata (19 %). Raziskovali so tudi vpliv pH urina na drobljivost kamnov in opazili, da so uratni kamni bolj drobljivi, če so nekaj časa v urinu s pH 8, magnezij-amonij fosfatni kamni v urinu s pH 4, pri kamnih iz kalcijevega oksalata pa povezave med pH urina in drobljivostjo niso našli. Izsledki te raziskave bi v praksi lahko vpeljali predpravo bolnika na drobljenje kamnov z zdravili, ki bi vzpostavila željen pH urina (7).

## KLINIČNE IZKUŠNJE Z ZUNAJTELESNIM DROBLJENJEM

V nacionalni raziskavi, ki so jo izvedli na Švedskem, so ugotovili, da je uspeh zunajtelesnega drobljenja kamnov v zgornjih sečilih odvisen predvsem od premera kamna in je bil okrog

50 % pri kamnih s premerom nad 20 mm ter 75 % pri vseh z zunajtelesnim drobljenjem zdravljenih kamnih v zgornjih sečilih. Sama lokalizacija kamna ni vplivala na uspeh drobljenja. Edini še pomemben dejavnik pri uspehu drobljenja je bilo število kamnov. Bolniki z več kamni so imeli manjši uspeh drobljenja. Vstavitve ureternega stenta pred drobljenjem ni izboljšala uspeha zdravljenja. Med 11 centri jih je nekaj imelo enake aparate za zunajtelesno drobljenje, razlike v uspešnosti med temi centri je raziskava pripisala različnim parametrom, ki jih uporabljajo v posameznih centrih (število in energija udarnih valov, trajanje posega) (8). Aeberli in sodelavci so v sicer manjši raziskavi opazili, da je bilo popolnoma brez radioloških znakov kamna dan po drobljenju 29 % žensk in le 14 % moških (9).

Pojem uspešnega drobljenja se v zadnjih letih spreminja, saj je veljalo, da je uspešno tisto drobljenje, kjer po določenem času ni radioloških znakov za ostanke kamna. Vse bolj se uveljavlja pojem klinično nepomembnih drobcev kamna, ki ga opisuje 6 kriterijev: velikost drobcev pod 4 mm, sestava iz kalcijevega oksalata ali fosfata, normalna anatomija zgornjih sečil, odsotnost okužbe sečil, odsotnost simptomov od drobljenja dalje ter drobljenje kot monoterapija brez dodatnih posegov. Proces izločanja drobirja naj bi trajal vsaj 24 mesecev, izločanje drobcev je večinoma asimptomatsko (10). Klinično nepomembni drobci niso sinonim za popolno odstranitev kamna, saj 37 % takih drobcev ponovno zraste v kamen, 22 % pa jih je treba zaradi tega ponovno drobiti. Večjo verjetnost ponovitve kamna napovedujejo začetna velikost kamna, več kamnov ter prisotnost okužbe sečil. Smiselno je radiološko spremljanje in ponovno zdravljenje v primeru simptomov (11, 12).

## KAMNI NA SPODNJEM LEDVIČNEM POLU

Precejšnje število raziskav nasprotno od Švedske opisuje pomembne razlike v uspešnosti drobljenja glede na lokalizacijo kamnov. Najmanjši uspeh pripisujejo kamnom v spodnji ledvični čaši (izginotje kamna v 50–70 %, v nasprotju z zgornjo in srednjo čašo, kjer je izginotje kamna v 70–90 %), vendar ne zaradi samega drobljenja, pač pa zaradi težjega

izločanja drobirja iz gravitacijsko nižje spodnje čaše v višje ležeč pieloureteralni prehod ter dejstva, da je večina kamnov s premerom nad 20 mm lokalizirana ravno v spodnji čaši. V zadnjih letih zato velja prepričanje, da je za kamne velikosti nad 30 mm v spodnji čaši zdravljenje izbora perkutana nefrolitotomija, pod 20 mm pa zunajtelesno drobljenje. Albala in sodelavci zagovarjajo uporabo perkutane nefrolitotomije pri vseh kamnih velikosti nad 10 mm (13). Nekateri avtorji predlagajo pri kamnih v spodnji čaši ob zunajtelesnem drobljenju še vstavev ureteralnega stenta, postavljanje bolnika v položaj z glavo navzdol ter katetrsko ali perkutano spiranje spodnje čaše s fiziološko raztopino. Pace in sodelavci priporočajo uporabo položaja z glavo navzdol, skupaj z mehanično masažo ledvenega predela z aparatom, ki ga uporabljajo pri dihalni fizioterapiji, ter odmerkom furosemda v času masaže pri vseh bolnikih, pri katerih po treh mesecih po drobljenju ugotovijo zaostale drobce. Na ta način so dosegli za 13-krat več popolnih odstranitvev drobcev iz spodnje ledvične čaše kot pri bolnikih z zaostalimi drobci, ki so jih samo opazovali (29 % proti 2 %) (14). Tudi anatomske razmere votlega sistema v spodnji ledvični čaši vplivajo na uspeh zunajtelesnega drobljenja. Infundibulopelvični kot, ki je večji kot 90°, ter kratak (manj kot 3 cm) in širok (več kot 5 mm) infundibulum napovedujejo dober uspeh zunajtelesnega drobljenja, ki dosega 70 % in več, v primerjavi z neugodnimi parametri, kjer je popolna odstranitev kamnov le 20 % (15–17). Po alternativni metodologiji določevanja infundibulopelvičnega kota pa Madbouly in sodelavci niso našli povezave med uspehom drobljenja in zgoraj navedenimi anatomskimi parametri spodnje ledvične čaše (18).

## KAMNI V SEČEVODU

Uspeh zunajtelesnega drobljenja kamnov v sečevodu je prav tako odvisen od lokalizacije kamna. Najuspešneje je v zgornji tretjini sečevoda (70 % kamnov popolnoma izgine), slabše v srednji tretjini (68 %) in najslabše v spodnji oziroma distalni tretjini (54 %). Enkratno drobljenje v proksimalnem sečevodu zadostuje le v 40 % primerov, ostali bolniki potrebujejo dodatno drobljenje. Na uspeh drobljenja

vplivajo moč in število udarcev ter velikost kamna. Vstavljen ureterni stent poslabša uspeh drobljenja, saj ovira širjenje udarnega vala, povzroča draženje in spazem sečevoda ter tako otežuje prehod drobcev, lahko pa celo povzroči okužbo (19–21). Otroški sečevod ima manjši premer svetline kot odrasli, zato bi pričakovali, da je prehod drobcev kamnov po drobljenju otežen in počasnejši. Izkazalo pa se je, da je otroški sečevod celo učinkovitejši od odraslega pri enaki velikosti kamna, ker je krajši, bolj elastičen in raztegljiv, drobci pa manjši zaradi manjše izgube energije udarnega vala (22).

Vprašanje zdravljenja izbora za kamne v distalnem sečevodu še ni dorečeno. Velja priporočilo, da je znotrajtelesno drobljenje (ureteroskopsko) indicirano pri kamnih nad 10 mm v premeru, multiplih in zagodenih kamnih, monohidratnih in cistinskih kamnih ter pri ženskah v rodnem obdobju (23). Uspeh znotrajtelesnega drobljenja je skoraj 100 %, zunajtelesnega pa 90 %, pri čemer je pomembna velikost kamna. Pearle in sodelavci so primerjali uspeh obeh metod pri kamnih s premerom manj kot 15 mm in te razlike niso našli. Pač pa so ugotovili, da je postopek zunajtelesnega drobljenja za polovico krajši (32 proti 65 minut), odstotek zapletov manjši (9 proti 25 %) in odstotek bolnikov, ki so zapustili bolnišnico še isti dan po drobljenju, višji (94 % proti 75 %) (24). Po prvem neuspelem zunajtelesnem drobljenju je prispevek k uspehu vsakega nadaljnega drobljenja manjši, po več kot treh drobljenjih pa minimalen, zato je isti kamen smiselno drobiti največ trikrat. Nekateri se odločajo za znotrajtelesno drobljenje že po prvem neuspelem zunajtelesnem drobljenju (19). Največjo oviro za zunajtelesno drobljenje kamnov v distalnem sečevodu predstavljajo kosti medenice ter zrak v črevesu, ker razpršujejo udarne valove. S pomočjo spiralnega CT so ugotovili, da je zbiranje udarnih valov učinkovitejše, če je mehur poln (nad 500 ml), udarna glava pa nagnjena za 15° v sagitalni in kontralateralno nagnjena v koronarni ravnini (23).

## KAMNI V MEHURJU

Zunajtelesno drobljenje je našlo mesto tudi pri kamnih v mehurju, pri čemer lahko pride do popolne zdrobitve in izločitve kamna

ali pa razpada na manjše fragmente, ki jih nato cistoskopsko odstranimo. Pri primerjavi uspešnosti med metodami odstranitve kamnov v mehurju je imela odprta cistolitotomija 100 % uspešnost, a najdaljše bolnišnično zdravljenje (5,2 dni), endoskopska litotripsija 2,4 dni s 25 % stopnjo zapletov (zožitev sečnice, perforacija mehurja, ponovitev kamnov), zunajtelesno drobljenje pa zgolj 20 ur bolnišničnega zdravljenja, pri 10 % bolnikov pa je bilo treba postopek zunajtelesnega drobljenja ponoviti še enkrat, da so kamne popolnoma zdrobili (25). V postopku zunajtelesnega drobljenja kamnov v mehur vstavimo urinski kateter in mehur napolnimo s 50–100 ml fiziološke raztopine. Bolnik leži na trebuhu, pri čemer kamen pade na sprednjo steno mehurja. Po drobljenju mehur izperemo skozi kateter. Poročajo o popolni odstranitvi kamnov iz mehurja v 76 do 82 % (26).

## **ZAPLETI IN SPREMEMBE NA ORGANIH ZARADI ZUNAJTELESNEGA DROBLJENJA Z UDARNIMI VALOVI**

Najpogosteje se pojavljajo ledvične kolike (78 % bolnikov), rentgensko vidna veriga drobcev v sečevodu – »steinstrasse« (10 %), simptomatska okužba sečil (6 %) in makrohematurija (3 %). Na mestu stika udarne glave s kožo nastane sufuzija v 9 % (21). Pri drobljenju kamnov v distalnem sečevodu so prizadeti semenski mešički in ejakulatorni vod, saj kar v 90 % pride do mikrohematospermije, najti pa je tudi slabšo mobilnost spermijev, večji delež mrtvih spermijev in manjšo koncentracijo spermijev v ejakulatu. Spremembe so prehodne in trajajo do 12 tednov (27). Med redkimi zapleti so v literaturi opisani zlomi vretenc (28), perforacija ozkega in debelega črevesa (29–33), dehiscenca gastrojejunalne anastomoze (34), poškodba pankreasa z abscesom (35), akutni pankreatitis (36), ruptura aorte (37, 38), aritmije (prekatne in nadprekatne ekstrasistole, bradikardije) (39, 40), renokutana fistula (41), ruptura ledvice (42), anti-GBM glomerulonefritis (43, 44), absces m. psoas (45) in retroperitonealni hematoma (46). Uporaba antibiotične profilakse pri bolnikih s sterilnim urinom ni potrebna, če

pa ima bolnik pred drobljenjem bakteruriijo, je profilaksa s ciprofloksacinom priporočljiva (47, 48) (slika 3).

Na prašičjih ledvicah so ugotovili, da takoj po drobljenju pride na mestu gorišča do hemoragičnih sprememb v ledvičnem parenhimu, ki so obsežnejše, če je goriščno področje veliko. Najbolj izražene spremembe se pojavijo na kortikomedularni meji, kjer ob prehodu udarnega vala pride do nastanka odbitih valov in kavitacije. Poškodbe žilnega endotela se kažejo v interlobarnih in arkuatnih venah, malih arterijah in peritubulnih kapilarah. Po 24 urah se pojavi vakuolizacija tubulnih celic, ki kaže na tubulno nekrozo. V 2 do 3 mesecih nastane glomerulna atrofija, intersticijska fibroza in hialinizacija žilja.

Spremembe v ledvični funkciji so kratkotrajne in prehodne. 3 dni po drobljenju so izmerili 4–5 % padec ledvične funkcije z radioaktivnim <sup>99m</sup>Tc DTPA, vendar je bila funkcija po 3 tednih normalna. Z iodohipuranom so ugotovili 4–15 % zmanjšanje učinkovitega ledvičnega pretoka plazme, ki pa prav tako traja nekaj tednov. Posebno previdnost svetujejo pri bolnikih z napredovalo ledvično odpovedjo, ki lahko po drobljenju napreduje, česar pri blagi ledvični odpovedi niso opazili (49). Danielczak in sodelavci so po drobljenju opazili povečano izločanje β<sub>2</sub>-mikroglobulina v urinu in skleпали na prehodno (7 dni) okrnjeno funkcijo proksimalnih tubulov, medtem ko sta serumska koncentracija kreatinina in očistek kreatinina ostala nespremenjena in tako glomerulna filtracija ni bila prizadeta (50).



Slika 3. Pregledna slika spodnjih sečil po zunajtelesnem drobljenju kamna v desni ledvici. Puščica kaže verigo drobcev »steinstrasse« v desnem distalnem sečevodu.

V poskusih na živalih so ugotavljali vlogo drobljenja z udarnimi valovi pri nastanku arterijske hipertenzije. Pri predpisanem številu udarcev z dovoljeno močjo je bilo zvišanje arterijskega tlaka le prehodno pri 1 od 12 živali. Pri močno preseženem dovoljenem številu udarcev in prekoračitvi moči pa je bila arterijska hipertenzija trajna in so jo odpravili z odstranitvijo prizadete ledvice. Številne raziskave pri človeku še niso dale dokončnega odgovora. Hipertenzija po drobljenju bi lahko bila posledica lokalne ishemije zaradi znotrajledvičnih krvavitev ali pa perirenalnega hematoma. V obeh primerih naj bi se izločala povečana količina renina, ki pa se po izginotju hematoma (6 mesecev) povrne na normalno vrednost. V nekaterih raziskavah nastanka arterijske hipertenzije niso opazili (51), poročajo pa o povišanju diastolnega

tlaka, ki je večje kot pri bolnikih, ki so bili zdravljeni s perkutano nefrolitotomijo ali ureteroskopijo. Nastanek ledvičnega hematoma in posledično prehodne hipertenzije je pogostejši pri bolnikih z nezdravljeno hipertenzijo (2,5 %, pri normotenzivnih pa 0,66 %), bolnikih na antikoagulantnem ali antiagregacijskem zdravljenju ter z motnjami v strjevanju krvi. Dejavnika tveganja za pomembnejšo ledvično funkcionalno poškodbo sta tudi starost nad 60 let in majhna ledvica (otroci) (49). Lottmann in sodelavci so spremljali razvoj parenhimskih poškodb v otroških ledvicah z <sup>99m</sup>Tc DMSA in niso ugotovili trajnega zmanjšanja ledvične funkcije (52). Kljub temu je priporočen interval med dvema drobljenjema zaradi dalj časa trajajočega izločanja encimov (AST, LDH, AF) ter  $\beta$ 2-mikroglobulina pri otrocih 14 dni, pri odraslih pa 5 do 7 dni (53).

## LITERATURA

1. Chow GK, Strem SB. Extracorporeal lithotripsy. *Urol Clin North Am* 2000; 27: 315-22.
2. Chang CC, Liang SM, Pu YR, Chen CH, Manouskas I, Chen TS, et al. In vitro study of ultrasound based real-time tracking of renal stones for shockwave lithotripsy: part 1. *J Urol* 2001; 166: 28-32.
3. Buchholz NP, VanRossum M. The radiolucent ureteric calculus at the end of a contrast-medium column: where to focus the shock waves. *BJU Int* 2001; 88: 325-8.
4. Eisenmenger W. The mechanisms of stone fragmentation in ESWL. *Ultrasound Med Biol* 2001; 27: 683-93.
5. Lokhandwalla M, Sturtevant B. Fracture mechanics model of stone comminution in ESWL and implications for tissue damage. *Phys Med Biol* 2000; 45: 1923-40.
6. Matin SF, Yost A, Strem SB. Extracorporeal shock-wave lithotripsy: A comparative study of electrohydraulic and electromagnetic units. *J Urol* 2001; 166: 2053-6.
7. Nambiraj NA. Thesis synopsis: a study of the constituents and properties of urinary stones and its application to stone fragility in extracorporeal shockwave lithotripsy. *BJU Int* 2001; 88: 443-6.
8. Grenabo L, Lindqvist K, Adami HO, Bergstrom R, Pettersson S. Extracorporeal shock wave lithotripsy for the treatment of renal stones. *Arch Surg* 1997; 132: 20-7.
9. Aeberli D, Muller S, Schmutz R, Schmid HP. Predictive value of radiological criteria for disintegration rates of extracorporeal shockwave lithotripsy. *Urol Int* 2001; 66: 127-30.
10. Renner C, Rassweiler J. Treatment of renal stones by extracorporeal shockwave lithotripsy. *Nephron* 1999; 81: 71-81.
11. Candau C, Saussine C, Lang H, Roy C, Faure F, Jacqmin D. Natural history of residual renal stone fragments after ESWL. *Eur Urol* 2000; 37: 18-22.
12. Zanetti G, Seveso M, Montanari E, Guarneri A, Del Nero A, Nespoli R, et al. Renal stone fragments following shockwave lithotripsy. *J Urol* 1997; 158: 352-5.
13. Albala DM, Assimos DG, Clayman RV, Denstedt JD, Grasso M, Gutierrez-Aceves J, et al. Lower pole 1: A prospective randomized trial of extracorporeal shockwave lithotripsy and percutaneous nephrostolithotomy for lower pole nephrolithiasis - initial results. *J Urol* 2001; 166: 2072-80.
14. Pace KT, Tariq N, Dyer S, Weir MJ, Honey RJ. Mechanical percussion, inversion and diuresis for residual lower pole fragments after shock wave lithotripsy: a prospective, single blind, randomized, controlled trial. *J Urol* 2001; 166: 2065-71.
15. Gupta NP, Singh DV, Hemal AK, Mandal S. Infundibulopelvic anatomy and clearance of inferior caliceal calculi with shockwave lithotripsy. *J Urol* 2000; 163: 24-7.
16. Sabins RB, Naik K, Patel SH, Desai MR, Bapat SD. Extracorporeal shockwave lithotripsy for lower calyceal stones: can clearance be predicted? *Br J Urol* 1997; 80: 853-7.
17. Keeley FX, Moussa SA, Smith G, Tolley DA. Clearance of lower-pole stones following shockwave lithotripsy: effect of the infundibulopelvic angle. *Eur Urol* 1999; 36: 371-5.
18. Madbouly K, Sheir KZ, Elsobky E. Impact of lower pole renal anatomy on stone clearance after shockwave lithotripsy: fact or fiction? *J Urol* 2001; 165: 1415-8.

19. Pace KT, Weir MJ, Tariq N, Honey RJ. Low success rate of repeat shockwave lithotripsy for ureteral stones after failed initial treatment. *J Urol* 2000; 164: 1905-7.
20. Chen WC, Lee YH, Huang JK. Does ureteral manipulation improve the effect of extracorporeal electromagnetic shockwave treatment on impacted ureteral calculi?- An experimental study. *Eur Urol* 1997; 31: 493-6.
21. Singh I, Gupta NP, Hemal AK, Dogra PN, Ansari MS, Seth A, et al. Impact of power index, hydroureteronephrosis, stone size, and composition on the efficacy of in situ boosted ESWL for primary proximal ureteral calculi. *Urology* 2001; 58: 16-22.
22. Gofrit ON, Pode D, Shimon M, Katz G, Shapiro A, Golijanin D, et al. Is the pediatric ureter as efficient as the adult ureter in transporting fragments following extracorporeal shockwave lithotripsy for renal calculi larger than 10 mm? *J Urol* 2001; 166: 1862-4.
23. Robert M, Segui B, Taourel P, Guiter J. Piezoelectric extracorporeal shockwave lithotripsy of distal ureteric calculi: assesment of shockwave focusing with unenhanced spiral computed tomography. *BJU Int* 2001; 87: 316-32.
24. Pearle MS, Nadler R, Bercowsky E, Chen C, Dunn M, Figenshau S, et al. Prospective randomized trial comparing shock wave lithotripsy and ureteroscopy for management of distal ureteral calculi. *J Urol* 2001; 166: 1255-60.
25. Schwartz BF, Stoller ML. The vesical calculus. *Urol Clin North Am* 2000; 27: 333-46.
26. Kojima Y, Yoshimura M, Hayashi Y, Asaka H, Ando Y, Kohri K. Extracorporeal shockwave lithotripsy for vesical lithiasis. *Urol Int* 1998; 61: 35-8.
27. Martinez Portillo FJ, Heidenreich A, Schwarzer U, Michel MS, Alken P, Engelmann U. Microscopic and biochemical fertility characteristics of semen after shockwave lithotripsy of distal ureteral calculi. *J Endourol* 2001; 15: 781-4.
28. Kazimoglu H, Mungan MU, Kirkali Z. Vertebral fracture associated with shockwave lithotripsy in a patient with granulomatous spondylitis. *J Endourol* 2001; 15: 687-9.
29. Klug R, Kurz F, Dunzinger M, Aufschneider M. Small bowel perforation after extracorporeal shockwave lithotripsy of an ureter stone. *Dig Surg* 2001; 18: 241-2.
30. Olsson LE, Anderson KR, Foster HE Jr. Small bowel perforation after extracorporeal shock wave lithotripsy. *J Urol* 2000; 164: 775.
31. Lipay M, Araujo S, Perosa M, Genzini T, Hering F, Rodrigues P. Perforation of sigmoid colon after extracorporeal lithotripsy. *J Urol* 2000; 164: 442.
32. Ilnyckij A, Hosking DH, Pettigrew NM, Bernstein CN. Extracorporeal shock wave lithotripsy causing colonic injury. *Dig Dis Sci* 1999; 44: 2485-7.
33. Castillon I, Frieyro O, Gonzalez-Enguita C, Vela-Navarrete R. Colonic perforation after extracorporeal shock wave lithotripsy. *BJU Int* 1999; 83: 720-1.
34. Fernandez-Lobato R, Cerquella C, Serantes A, Martinez-Santos C, Diaz-Gimenez LM, Moreno-Azcoita M. Dehiscence of gastrojejunal stapled anastomosis after lithotripsy for nephrolithiasis. *Dig Surg* 2001; 18: 73-4.
35. Hung SY, Chen HM, Jan YY, Chen MF. Common bile duct and pancreatic injury after extracorporeal shock wave lithotripsy for renal stone. *Hepatogastroenterology* 2000; 47: 1162-3.
36. Abe H, Nisimura T, Osawa S, Miura T, Oka F. Acute pancreatitis caused by extracorporeal shock wave lithotripsy for bilateral renal pelvic calculi. *Int J Urol* 2000; 7: 65-8.
37. Neri E, Capamini G, Diciolla F, Carone E, Tripodi A, Tucci E, et al. Localized dissection and delayed rupture of the abdominal aorta after extracorporeal shock wave lithotripsy. *J Vasc Surg* 2000; 31: 1052-5.
38. Gugulakis AG, Matsagas MI, Liapis CD, Vasdekis SN, Sechas MN. Rupture of the abdominal aorta following extracorporeal shock-wave lithotripsy. *Eur J Surg* 1998; 164: 233-5.
39. Zanetti G, Ostini F, Montanari E, Russo R, Elena A, Trinchieri A, et al. Cardiac dysrhythmias induced by extracorporeal shockwave lithotripsy. *J Endourol* 1999; 13: 409-12.
40. Ganem JP, Carson CC. Cardiac arrhythmias with external fixed-rate signal generators in shock wave lithotripsy with the Medstone lithotripter. *Urology* 1998; 51: 548-52.
41. Collado A, Orsola A, Monreal F, Gausa-Gascon L, Rousaud A, Vicente J. Renocutaneous fistulae: a rare complication of extracorporeal shock wave lithotripsy. *Int Urol Nephrol* 1999; 31: 31-4.
42. Ozucelik DN, Karcioğlu O. Kidney rupture following extracorporeal shock wave lithotripsy. *Acad Emerg Med* 1999; 6: 664-5.
43. Xenocostas A, Jothy S, Collins B, Loetscher R, Levy M. Anti-glomerular basement membrane glomerulonephritis after extracorporeal shock wave lithotripsy. *Am J Kidney Dis* 1999; 33: 128-32.
44. Iwamoto I, Yonekawa S, Takeda T, Sakaguchi M, Ohno T, Tanaka H, et al. Anti-glomerular basement membrane nephritis after extracorporeal shock wave lithotripsy. *Am J Nephrol* 1998; 18: 534-7.
45. Qureshi F, Thompson PM. Psoas abscess following extracorporeal shock wave lithotripsy. *Scand J Urol Nephrol* 1998; 32: 237-8.
46. Katz R, Admon D, Pode D. Life-threatening retroperitoneal hematoma caused by anticoagulant therapy for myocardial infarction after SWL. *J Endourol* 1997; 11: 23-5.



47. Bierkens AF, Hendrikx AJ, Ezz el Din KE, de la Rosette JJ, Horrevorts A, Doesburg W, et al. The value of antibiotic prophylaxis during extracorporeal shock wave lithotripsy in the prevention of urinary tract infections in patients with urine proven sterile prior to treatment. *Eur Urol* 1997; 31: 30-5.
48. Deliveliotis C, Giftopoulos A, Koutsokalis G, Raptidis G, Kostakopoulos A. The necessity of prophylactic antibiotics during extracorporeal shock wave lithotripsy. *Int Urol Nephrol* 1997; 29: 517-21.
49. Bataille P, Cardon G, Bouzernidji M, El Esper N, Pruna A, Ghazali A, et al. Renal and hypertensive complications of extracorporeal shockwave lithotripsy: Who is at risk? *Urol Int* 1999; 62: 195-200.
50. Rutz-Danielczak A, Pupek-Musialik D, Raszeja-Wanic B. Effects of extracorporeal shockwave lithotripsy on renal function in patients with kidney stone disease. *Nephron* 1998; 79: 162-6.
51. Elves AW, Tilling K, Menezes P, Wills M, Rao PN, Feneley RC. Early observations of the effect of extracorporeal shockwave lithotripsy on blood pressure: A prospective randomized control clinical trial. *BJU Int* 2000; 85: 611-5.
52. Lottmann HB, Archambaud F, Hellal B, Pageyral BM, Cendron M. Technetium-dimercapto-succinic acid renal scan in the evaluation of potential long-term renal parenchymal damage associated with extracorporeal shockwave lithotripsy in children. *J Urol* 1998; 159: 521-4.
53. Villanyi KK, Szekely JG, Farkas LM, Javor E, Pusztai C. Short-term changes in renal function after extracorporeal shockwave lithotripsy in children. *J Urol* 2001; 166: 222-4.

Prispelo 30. 6. 2003