

TEHNIČKI ASPEKTI LITOTRIPTORA I PRIMJENA TERAPIJE UDARNIH VALOVA /ESWL/ U LIJEČENJU KAMENACA MOKRAĆNOG SUSTAVA

TECHNICAL ASPECTS OF LITHOTRIPTERS AND APPLICATION OF SHOCK WAVE THERAPY /ESWL/ IN THE TREATMENT OF URINARY TRACT STONES

Branka Glavaš, Zoran Peršec

Stručni članak

Sažetak: Danas tretman litotripsije udarnim valovima (ESWL) predstavlja prvi izbor za liječenje kamenaca u bubregu, u mokraćovodima i bubrežnim nakapnicama. U usporedbi s otvorenim i endoskopskim metodama, ESWL je neinvazivna metoda, metoda za koju nije potrebna anestezija, a postiže visoke postotke uspješnosti tretmana u bolesnika s urolitijazom. Učinkovitost ESWL leži u njegovoj osobitosti fragmentiranja konkremenata „in vivo“ koji se nakon tretmana spontano eliminiraju kroz mokraćni sustav. Današnji uređaji za litotripsiju sastoje se od četiri osnovne komponente: (1) generatora udarnih valova, (2) sustava fokusiranja, (3) mehanizma povezivanja, i (4) jedinice za sliku/lokalizaciju konkrementa.

Generatori udarnih valova mogu biti: elektrohidraulični, piezoelektrični ili elektromagnetski. Mehanizam djelovanja omogućava da konkrement bude fragmentiran, onog trenutka kada snaga udarnih valova nadilazi vlačnu čvrstoću kamena. Iako nedovoljno razjašnjena, fragmentacija konkrementa nastaje kombinacijom mehanizama, pri čemu se snaga udarnih valova, uz učinak kavitacije smatra najvažnijim.

U Kliničkoj bolnici Dubrava danas koristimo LITHOSKOP® multifunkcijski litotriptor tvrtke Siemens koji posjeduje prilagodljivu udarnu glavu za izvođenje litotripsije u pozicijama iznad i ispod stola te nema potrebe za repozicioniranjem pacijenta tijekom procedure. Frekvencija udarnih valova glave je 60-120 pulseva/min sa dubinom penetracije maksimalno 16 cm, a energija je podesiva u 38 razina. Rentgenski C-luk, služi za lokalizaciju i sinkrono slijedi automatsko pomicanje terapijske glave. Osim lokalizacije rentgenskim zrakama sustav je opremljen i naprednim računalnim programom za automatsko pomicanje pacijenata u terapijski fokus nakon označavanja kamena te s Color Doppler ultrazvučnim aparatom koji omogućuje "inline" ultrazvučnu lokalizaciju.

Glavne riječi: izvantjelesna terapija udarnim valovima (ESWL), tehnički aspekti litotriptora, mehanizam djelovanja litotriptora, načini i razlozi medicinske primjene

Professional paper

Abstract: Nowadays, the treatment using shock wave lithotripsy (ESWL) is becoming the first choice for the treatment of stones in kidneys, ureter, and renal pelvis. Compared with open and endoscopic methods, ESWL is a minimally invasive method which does not require anaesthesia, and achieves high success rates in patients with urolithiasis. The effectiveness of ESWL lies in its specifics of fragmenting calculi "in vivo" which are upon treatment spontaneously eliminated through the urinary tract. All lithotripsy devices consist of four basic components: (1) shock wave generator, (2) focusing system, (3) linking mechanism, and (4) units for image/localization of stones.

Shock wave generators can be electrohydraulic, electromagnetic or piezoelectric. The mechanism of activity that allows stones be fragmented the moment when the power of shock waves exceeds the tensile strength of the stone. Although incompletely explained, fragmentation of stones is performed by the combination of mechanisms, while the strength of shock waves and cavitation are considered to be the most important. In Clinical Hospital Dubrava nowadays LITHOSKOP®, a multifunctional lithotripter made by Siemens, is used. It has a flexible impact head to perform lithotripsy in positions above and below the table, and there is no need for repositioning the patient during the procedure. Frequency of the head shock waves is 60-120 pulses/min with a penetration depth up to 16 cm and the energy is adjustable to 38 levels. The X-ray C-arm is used for localization and it synchronously follows the automatic movement of the therapeutic head. In addition to the localization of X-ray system it is also equipped with advanced software to automatically move patients in therapeutic focus after selecting the stone and with Color Doppler ultrasound device that enables "inline" ultrasound localization.

Key words: therapy with shock waves, technical aspects of lithotripters, mechanism of lithotripter activity, ways and reasons for medical applications

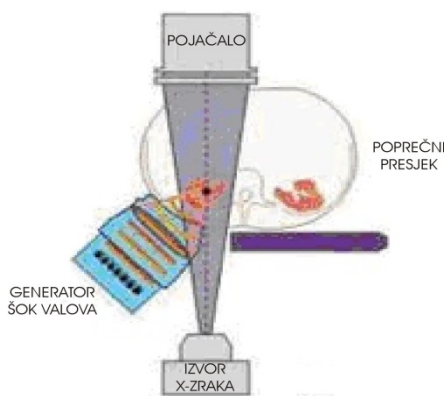
1. UVOD

Do uvođenja u primjenu izvantjelesnog razbijanja konkremenata udarnim valovima (ESWL) 1980. godine liječenje kamenaca u mokraćnom sustavu kao i izbor neinvazivnih postupaka je bio značajno sužen, a za konkremate koji ne mogu spontano pasirati kroz mokraćni sustav izbor je bila otvorena operacija (1). Od tada, primjenom litotripsije udarnih valova (ESWL) navedena metoda postaje prvi izbor za liječenje bubrežnih kamenaca, kamenca bubrežnih nakapnica i mokraćovoda. Učinkovitost ESWL leži u njegovoj osobitosti fragmentiranja konkremenata „in vivo“ koji se nakon tretmana spontano eliminiraju kroz mokraćni sustav. Udarni valovi se generiraju, a zatim usmjeravaju na željenu točku u tijelu (fokus), prodirući kroz tijelo s neznatnim rasipanjem energije (a time i štete) zbog minimalne razlike u gustoći mekih tkiva. Na površini konkrement – tekućina, zbog relativno velike razlike u gustoći, zajedno s koncentracijom udarnih valova u malom prostoru, stvara se veliki rasap energije. Preko različitih mehanizama, ta energija je u stanju prevladati vlačnu čvrstoću kamenca, što dovodi do fragmentacije. Ponavljanje tog procesa na kraju dovodi do pulverizacije kamenca u male fragmente (idealno < 1 mm), koji kroz mokraćni sustav mogu proći i spontano i bezbolno (izmokranjem) [1].

2. TEHNIČKI ASPEKTI LITOTRIPTORA

Svi uređaji za litotripsiju sastoje se od četiri osnovne komponente:

1. generatora udarnih valova
2. sustava fokusiranja,
3. mehanizma povezivanja i
4. jedinice za sliku/lokalizaciju konkrementa [1] [2] [3].



Slika 1. Shematski prikaz komponenti litotriptora (preuzeto iz Smith's Textbook of Endourology, 1996.)

Udarni valovi mogu biti generirani na tri moguća načina, i to:

- elektrohidraulični: izvorni način generiranja udarnih valova uređaja (koristi se u sustavima Dornier hM3) je elektrohidraulični, što znači da se udarni val se proizvodi preko iskra-gap tehnologije. U elektrohidrauličnim generatora, visokonaponska električna struja prolazi kroz iskra-gap elektrode koje

se nalaze unutar spremnika napunjenog vodom. Pražnjenje energije proizvodi isparavanja, koja se šire i odmah padnu, čime se stvara pritisak, odnosno val visoke energije [1, 2,3].

- piezoelektrični: piezoelektrični efekt proizvodi električnu energiju putem primjene mehaničkog stresa. Piezoelektrična keramika ili kristali, postavljeni su u spremnik ispunjen vodom, a pobuđuju se djelovanjem visokofrekventnih električnih impulsa. Takve izmjenične promjene stres/naprezanja u materijalu stvaraju ultrazvučne vibracije, što rezultira nastanak udarnih valova [1] [2] [3].
- elektromagnetski: u elektromagnetskom generatoru (kao što se vidi u nastavku), visoki napon utječe na elektromagnetske zavojnice, bilo izravno ili preko sekundarne zavojnice inducira vibracije visoke frekvencije u susjednoj metalnoj membrani. To zatim prenosi vibracije na medij širenja vala (voda) [1] [2] [3].

2.1. Elektromagnetski sustav generatora

2.1.1. Sustav za fokusiranje

Sustav fokusiranja omogućuje usmjeravanje valova proizvedenog u generatoru u žarišnu točku (fokus) u sinkroniziranom modu. Sustavi fokusiranja se razlikuju, ovisno o vrsti generatora udarnih valova koje se koristi. Elektrohidraulični sustavi koriste načelo elipse, u piezoelektričnim sustavima keramički kristali raspoređeni unutar polukuglastih tijela usmjeravaju proizvedenu energiju prema žarištu (fokus). U elektromagnetskim sustavima, udarni valovi su usmjereni ili pomoću akustične leće (uređaji tvrtke Siemens) ili valjkastog reflektora (uređaje tvrtke Storz) [1] [2] [3].

2.1.2. Kontaktni mehanizmi

U širenju i prijenosu vala, energija se gubi na površine s različitim gustoćama. Zbog toga kontaktni mehanizmi su potrebni kako bi smanjili rasap energije jer udarni val prolazi kroz površinu kože. Uobičajeni medij koji se koristi je voda, jer ima gustoću sličnu mekim tkivima i vrlo je dostupna. Kod prvih generacija lithotriptora (Dornier hM3), pacijent je bio smješten u vodenoj kupelji. Međutim, kod novijih generacija uređaja (druga i treća generacija lithotriptora), mali spremnici ispunjeni vodom ili jastuci sa silikonskim membrama koriste se umjesto velikih vodenih kada i osiguravaju direktan kontakt s kožom pacijenta. Ova inovacija olakšava liječenje kamenaca u bubregu ili mokraćovoda, gotovo bez analgetika u odnosu na prve generacije uređaja [1] [4] [6].

2.1.3. Sustav za lokalizaciju (fokusiranje)

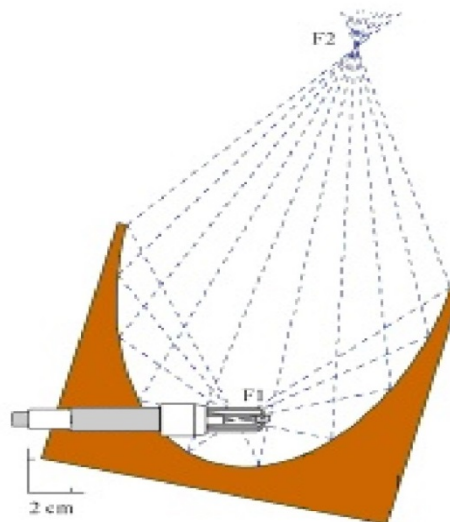
Lokalizacijski sustavi (imaging sustavi) se koriste za lokalizaciju (fokusiranje) konkremenata i usmjeravanje udarnih valova na, a kao metode obično se koriste fluoroskopija i ultrazvuk. Fluoroskopija, koji je poznata većini urologa, uključuje primjenu ionizirajućeg zračenja

za vizualizaciju konkremenata u mokraćnom sustavu. Kao takva, fluoroskopija je izvrsna metoda za otkrivanje i praćenje radiološki vidljivih konkremenata u bubrežima i mokraćovodu. S druge strane, nije priklada za lokalizaciju radiolucenčnih konkremenata (npr., kamenaca sastavljenih od mokraćne kiseline: tzv. uratni kamenci). Da bi kompenziralo ovaj nedostatak, intravenski kontrast može se uvesti retrogradno putem sonde u mokraćovod i retrogradno prikazati defekt punjenja (tj. retrogradna pijelografija), odnosno lokalizirati indirektno konkrement. Ultrazvučna lokalizacija omogućuje vizualizaciju obje skupine kamenaca u mokraćnom sustavu; i radiopacifirajućih i radiolucenčnih bubrežnih kamenaca i tzv. „real-time“ praćenje učinka litotripsije. Većina novijih generacija lithotriptora mogu koristiti ovu mogućnost prikaza, što je puno jeftinije i odnosno bez ikakvih posljedica od radioloških invazivnih metoda. Iako ultrazvuk ima prednost u sprječavanju izloženost ionizirajućem zračenju, tehnički postoje ograničenja vizualizacije posebice manjih kamenaca u mokraćovodu obično zbog zrakom ispunjenih vijuga crijeva. Dornier hM3 litotriptor, izvorno dizajniran za testiranje dijelova nadzvučnog zrakoplova, bio je prvi litotriptor uveden u Sjedinjenim Američkim Državama. Unatoč tome, to je još uvijek jedan od najučinkovitijih litotriptora i postao je standardni uređaj za usporedbu prema ostalim. Dizajn hM3 temelji se na elektrohidrauličnom generatoru udarnih valova koji su usmjereni putem metalne elipsoide u vodom napunjenoj kadi u kojoj se nalazi i generator udarnih valova. Biplanarni fluoroskop upotrebljava se za lokalizaciju konkrementa i omogućuje postavljanje kamenaca u fokus zoni.

Druga generacija lithotriptora obično koriste piezoelektrične ili elektromagnetske generatore kao izvor energije. U kombinaciji s odgovarajućim uređajem, ti generatori udarnih valova obično imaju manju žarišnu zonu. To svakako smanjuje štetu prema okolnom tkivu, međutim tijekom pomaka prilikom disanja, dovodi do izlaska konkrementa izvan žarišne zone što smanjuje učinak fragmentacije konkrementa. Kao kontaktni mehanizam kod uređaja druge generacije litotriptora koristi se silikonski vodom ispunjen jastuk koji prileže pacijentu, a dizajnom uvelike olakšava pozicioniranje pacijenata. Najnovije generacije litotriptora su dizajnirani uz sve veću jednostavnost i prilagodljivost primjene. Ti sustavi često pružaju mogućnost i fluoroskopije i ultrazvučne detekcije kamenaca. Većina takvih modernih litotriptora koristi elektromagnetski generator. Elektromagnetski generatori i njihovi sustavi fokusiranja su sposobni osigurati intenzitet udarnih valova kao hM3, ali u manjoj fokalnoj zoni. Kao što je spomenuto ranije, teoretski to bi imalo prednost minimaliziranja oštećenja okolnog mekog tkiva. Međutim, zbog manje žarišne zone, disanje bolesnika (respiratorni pomak) može dovesti do izlaska konkrementa iz ciljanog fokusa tretmana. Poboljšanje tehnike lokalizacije, te korištenje analgezije omogućava ponavljanje metode do konačnog uspješnog fragmentiranja konkrementa. Dakle, uređaji druge i treće generacije omogućuju veću učinkovitost, manju postotak neuspjeha kod tretmana i potrebu za ponavljanjem postupka [1] [6].

2.2. Mehanizam djelovanja

Do fragmentiranja konkrementa dolazi onog trenutka kada snaga udarnih valova nadilazi vlačnu čvrstoću kamena. Iako nedovoljno razjašnjeni, fragmentacija konkrementa nastaje kombinacijom mehanizama, uključujući i sabijanje i snagu udaraca, erozijom površine konkrementa, ljuštenjem i kavitacijom. Od tih navedenih mehanizama djelovanja, udarni valovi i snaga, te mehanizam kavitacije se smatra najvažnijim. Kada se udarni val širi kroz medij (voda), gubi vrlo malo energije dok ne prelazi u medij različite gustoće. Ako je medij je gušći, tlačne sile prenose se na novi medij. Slično tome, ako je novi medij je manje gustoće, vlačno naprezanje je veće na prethodnom mediju. Nakon udarca na prednju površinu kamena, kompresija udarca dovodi do promjena u gustoći konkrementa, uzrokujući fragmentaciju. Kada val nastavlja prolazak kroz kamen do stražnje površine konkrementa, promjena od visoke do niske gustoće dovodi do prijenosa energije udarnih valova i nastanka i djelovanja vlačne sile, što opet remeti strukturu konkrementa i dovodi do fragmentacije. Kod kavitacije, energija udarnih valova na žarište dovodi do pretvaranja tekućine u mjehuriće vodene pare. Ovi plinoviti mjehurići kolabiraju eksplozivno, stvarajući mikrololve i nagrizanje strukture konkrementa. Ovaj proces može se pratiti u realnom vremenu tijekom tretmana pomoću ultrazvuka kada se pojavljuje kovitlanje fragmenata i tekućine u žarišnoj zone tretmana [1] [4] [6] [9].



Slika 2. Mehanizam nastanka i fokusiranja udarnih valova (preuzeto iz Smith's Textbook of Endourology, 1996.)

3. MEDICINSKI ASPEKT PRIMJENE (INDIKACIJE I KONTRAINDIKACIJE ZA PRIMJENU METODE)

Trenutne opcije na raspolaganju za liječenje bubrežnih kamenaca, kao i kamenaca i bubrežnim nakapnicama i mokraćovoda su konzervativno liječenje (spontana eliminacija), izvantjelesna litotripsija udarnim valovima (ESWL), endoskopske tehnike (semirigidna ili fleksibilna ureteroskopska litotripsija) i perkutani tretmani [7] [8] [9]. Smjernice Američke urološke asocijacije (AUA), kao i Europskog urološkog društva

(EUA) za liječenje urolitijaze klasificiraju ESWL kao potencijalno prvu metoda izbora u liječenju bubrežnih kamenaca i kamenaca nakapnice i mokraćovoda veličine do 2 cm [1] [8].

Indikacije za ESWL posebno uključuju sljedeće:

- Osobe koji rade u zanimanjima u kojima neočekivani simptomi /bubrežne kolike/ mogu potaknuti opasne situacije (npr. pilota, vojnog osoblja, liječnika)
- Osobe sa solitarnim (jednim) bubregom u kojima konzervativni tretman i spontana eliminacija konkrementa može dovesti do opstrukcije i posljedice anurije (prekida mokrenja)
- Bolesnici s povišenim krvnim tlakom, dijabetesom ili drugim komorbiditetima koji stvaraju predispoziciju za razvoj bubrežne insuficijencije [1] [4] [8].

Apsolutne kontraindikacije za izvantjelesnu litotripsiju udarnim valovima (ESWL) uključuju sljedeće:

- Akutna infekcija urinarnog trakta ili urosepsa
- poremećaji krvarenja (koagulopatije)
- Trudnoća
- Distalne opstrukcije mokraćnog sustava ispod nivoa konkrementa

Relativne kontraindikacije uključuju sljedeće:

- habitus bolesnika: pretilost i ortopedski ili deformitet kralježnice može zakomplicirati ili onemogućiti ispravan položaj za litotripsiju
- ektopija bubrega ili malformacije (npr. potkovičasti bubreg i bubreg lokalizirani u zdjelici)
- stenoze pijeloureteralnog spoja
- slabo kontrolirana hipertenzija (zbog povećanog rizika krvarenja)
- insuficijencije bubrega :u bolesnika s bubrežnim zatajenjem (57 %) (serumski kreatinin razini od 2 do 2,9 mg / dl) bile su značajno niže nego u bolesnika s boljom funkcijom bubrega (66 %) (razina kreatinina u serumu < 2 mg/dl).

Već postojeći plućni i srčani problemi nisu zapreka, pod uvjetom da su na odgovarajući način kontrolirani i prije i u tijeku tretmana [1] [6] [7] [8] [9]. Kod bolesnika s ugrađenim srčanim stimulatorima srca primjena ESWL tretmana također nije kontraindicirana, ali uz kontrolu i suglasnost kardiologa. Primjena lijekova protiv zgrušavanja krvi, tzv. oralnih antikoagulanasa npr., klopidogrel (Plavix) i varfarina (Coumadin) trebaju se prekinuti prije tretmana zbog postizanja normalizacije zgrušavanja krvi [1] [9].

U KB Dubrava sada koristimo LITHOSKOP® multifunkcijski litotripter tvrtke Siemens koji razvijen je u skladu sa svjetskim zahtjevima za efikašnošću i optimizacijom radnog toka s najvećim mogućim stupnjem brige za pacijenta. Obzirom na sofisticirani dizajn namjena sustava osim litotripsije je i širok spektar ostalih uroloških aplikacija te omogućuje nesmetan pristup pacijentu sa svih strana stvarajući optimalne radne uvjete. Sustav posjeduje prilagodljivu udarnu glavu za izvođenje litotripsije u pozicijama iznad i ispod stola te nema potrebe za repositioniranjem pacijenta tijekom procedure. Frekvencija udarnih valova glave je 60-120

pulseva/min sa dubinom penetracije maksimalno 16 cm, a energija je podesiva u 38 razina. Dokazana i efikasna PULSO™ tehnologija udarne glave smanjuje broj potrebnih tretmana na minimum. Rentgenski C-luk, snage generatora 65 kW, služi za lokalizaciju i sinkrono slijedi pomicanje terapijske glave, a svi ti automatski pomaci aktiviraju se pritiskom na jedan gumb. C-luk je izocentričan i motoriziran. Osim lokalizacije rentgenskim zrakama sustav je opremljen i naprednim softverom za automatsko pomicanje pacijenata u terapijski fokus nakon označavanja kamena te s Color Doppler ultrazvučnim aparatom koji omogućuje "inline" ultrazvučnu lokalizaciju [1] [9].

4. ZAKLJUČAK

Primjena litotripsije udarnih valova (ESWL) danas je prvi izbor za liječenje bubrežnih kamenaca, kamenca u uretera i nakapnica do veličine 2cm. U usporedbi s otvorenim i endoskopskim metodama, ESWL je minimalno invazivna metoda, bez potrebe za anestezijom, a postiže visoke postotke uspješnosti rješavanja litijaze u bolesnika s urolitijazom.

U KB Dubrava sada koristimo LITHOSKOP® multifunkcijski litotripter tvrtke Siemens sa prilagodljivom udarnom glavom za izvođenje litotripsije u pozicijama iznad i ispod stola i bez potrebe za repositioniranjem pacijenta tijekom procedure. Frekvencija udarnih valova glave je 60-120 pulseva/min sa dubinom penetracije maksimalno 16 cm, a energija je podesiva u 38 razina. Dokazana i efikasna PULSO™ tehnologija udarne glave smanjuje broj potrebnih tretmana na minimum.

Do sada je u Kliničkoj bolnici Dubrava u Zagrebu je tretirano u ovom postupkom 150 bolesnika s uspješnošću razbijanja konkrementa preko 80 % uz postizanje tzv. „stone free“ statusa nakon tretmana što je u skladu s ostalim vodećim centrima koje koriste ovu metodu.

5. LITERATURA

- [1] Lingeman JE, Zafar FS. Lithotripsy systems. In: Smith AD, Badlani GH, Bagley DH, et al. Smith's Textbook of Endourology. St Louis, Mo: Quality Medical Publishing; 1996:553-89.
- [2] Zehnder, P.; Roth, B.; Birkhäuser, F.; Schneider, S.; Schmutz, R.; Thalmann, GN.; et al.: A Prospective Randomised Trial Comparing the Modified HM3 with the MODULITH(®) SLX-F2 Lithotripter, Eur Urol, Apr 2011, 59(4):637-44. [Medline].
- [3] Auge, BK.; Preminger, GM.: Update on shock wave lithotripsy technology, Curr Opin Urol, Jul 2002, 12(4):287-90. [Medline].
- [4] Lee, C.; Ugarte, R.; Best, S.; Monga, M.: Impact of renal function on efficacy of extracorporeal shockwave lithotripsy, J Endourol, May 2007, 21(5):490-3. [Medline].
- [5] Madaan, S.; Joyce, AD.: Limitations of extracorporeal shock wave lithotripsy, Curr Opin Urol, Mar 2007, 17(2):109-13. [Medline].

- [6] Martin, TV.; Sosa, RE.: Shock-wave lithotripsy. In: Walsh PC, Retik AB, Vaughan ED, Wein AJ, Campbell's Urology, Vol 3. 7th ed. Philadelphia, Pa: WB Saunders; 1998:2735-52.
- [7] Moody, JA.; Evans, AP.; Lingeman, JE.: Extracorporeal shockwave lithotripsy. In: Weiss RM, George NJR, O'Reilly PH, eds. Comprehensive Urology. Mosby International Limited; 2001:623-36.
- [8] Segura, JW.; Preminger, GM.; Assimos, DG.; Dretler, SP.; Kahn, RI.; Lingeman, JE.; et al.: Nephrolithiasis Clinical Guidelines Panel summary report on the management of staghorn calculi. The American Urological Association Nephrolithiasis Clinical Guidelines Panel. J Urol. Jun 1994, 151(6):1648-51.
- [9] Weiland, D.; Lee, C.; Ugarte, R.; Monga, M.: Impact of shockwave coupling on efficacy of extracorporeal shockwave lithotripsy. J Endourol. Feb 2007, 21(2):137-40.

Kontakt autora:

Branka Glavaš, bacc. med. tech

Klinička bolnica Dubrava
Avenija Gojka Šuška 6.
10000 Zagreb

Dr. sc. Zoran Persec, dr. med., spec. urolog

Klinička bolnica Dubrava
Avenija Gojka Šuška 6.
10000 Zagreb
Tel. 01/2903518
me-mail: persec@kbd.hr