経皮的超音波腎碎石術に使用する灌流液の血清電解質・ 浸透圧に及ぼす影響

馬 場 志 郎
丸 茂 健*
長 谷 川 親 太 郎
田 野 口 仁
塚 本 拓 司
大 橋 正 和
中 島 洋 介
中 村 薫
中 園 昌 明
出 口 修 宏
村 井 勝 道
実 川 正 道
田 崎 寛

慶応義塾大学泌尿器科学教室
(主任: 田崎 寛)

FLUID ABSORPTION DURING PERCUTANEOUS ULTRASONIC NEPHROLITHOTRIPSY

Shiro Baba, Ken Marumo*, Shintaro Hasegawa, Hitoshi Tanoguchi,
Takuji Tsukamoto, Masakazu Ohashi, Yosuke Nakajima, Kaoru Nakamura,
Masaaki Nakazono, Nobuhiro Deguchi, Masaru Murai,
Seido Jitsukawa and Hiroshi Tazaki

Department of Urology, School of Medicine, Keio University

*Department of Urology, Tokyo Electric Power Hospital

The present study was performed to examine whether irrigant solution is absorbed to the systemic circulation by percutaneous ultrasonic nephrolithotripsy (PUN) enough to cause any significant changes of serum electrolytes or hematocrit level. Using 2.7% D-sorbitol-0.54% D-mannitol or 3% D-sorbitol solution as irrigant, serum electrolytes, osmolarity and hematocrit were measured before and immediately after PUN in 10 patients with renal stones. The osmolarity gap, which is the difference between the measured osmolarity after PUN and that calculated from the formula $\{2\text{Na} + \frac{1}{3}\text{BUN} + \frac{1}{18}\text{glucose}\}$, was thought to be a useful indicator to estimate the amount of irrigant fluid absorption. The irrigant bag was placed 100 cm above the level of the kidney, while the fluid in the renal pelvis was constantly aspirated by the equipped peristaltic pump. The intrapelvic pressure, thus, was maintained between 40 and 60 cmH₂O.

After PUN, there was a slight, insignificant decrease in serum sodium concentration. The hematocrit level, however, decreased significantly ($p < 0.05$) and this decrease correlated well with the amount of irrigant fluid used in PUN. The measured osmolarity gap after PUN averaged $10.4 \pm 7.4 \text{ mOsm/L}$ (mean $\pm$ S.D.). The amount of irrigant absorption, which was estimated from the osmolarity gap, ranged from 300 to 800 ml under the particular irrigation method mentioned above. There was, however, no single patient who complained of any clinical symptoms caused by water intoxication, and the postoperative convalescence was uneventful in all the patients.

*現 東京電力病院泌尿器科

From these observations, it is concluded that PUN is a safe procedure and the amount of fluid absorption during this procedure is within acceptable range, if the intrapelvic pressure is kept below 60 cmH₂O.

要旨：経皮的超音波腎砕石術に使用する灌流液と灌流条件の血清浸透圧，電解質，Ht に及ぼす影響を検討する目的で10症例の腎結石患者で手術前後の測定値を検討した。灌流液はD-マニトール・ソルビトール混合液もしくは3%D-ソルビトール液を用い，100cmH₂O 圧下で低圧持続吸引灌流を行った。この時の腎盂内圧は40～60cmH₂O に相当した。術後血清ナトリウム値はやや減少するも有意差はなく，Ht 値は術前に比較し有意に減少した ($p<0.05$)。

手術前後の血清浸透圧実測値には著明な変動はなかった。術後の浸透圧理論値を血糖値，Na，BUN 濃度より計算し，術後の浸透圧実測値との差 (osmolarity gap) を灌流液体内吸収の指標とした。その平均値は 10.4 ± 7.4 mOsm/L (mean $\pm$ S.D.) であり，術中に300～800ml の灌流液が腎盂より吸収されるものと推定された。術後の臨床症状から disequilibrium syndrome をきたした症例はなかった。以上の事実から本法に使用する灌流液は末梢循環血液中に吸収されるものの，腎盂内圧を60cmH₂O 以下に保持すればその吸収量は少いことが判明した。

緒 言

腎結石に対して経皮的手術操作を試みた歴史は古く，すでに10世紀後半に経皮的腎切石術 (percutaneous nephrolithotomy) が行われた記録がある。1955年に Goodwin ら¹⁾により経皮的腎盂穿刺，腎瘻造設術の安全性が報告され，さらには碎石用超音波プローブが開発されて以来，経皮的超音波腎砕石術 (percutaneous ultrasonic nephrolithotripsy: PUN) が急速に普及し1980年代のはじまりとともに多数例に施行されるようになってきた²⁾。しかし腎結石に対する経皮的手術法の安全性に関しては未だ議論の余地のあるところで，とくにネフロスコープ (nephroscope) 操作時の腎盂灌流条件と灌流液の体内吸収量に関しては報告がきわめて少い³⁾。そこで著者らは慶応義塾大学病院および東京電力病院で，一定の灌流条件下で経皮的超音波腎砕石術 (以後 PUN) を施行した症例の術前術後の血清電解質，浸透圧，腎機能を検討し，安全な灌流圧を設定し得たので以下に報告する。

対象および方法

対象は10例の腎盂または腎杯結石患者で，年齢は20歳から64歳まで (平均39.2歳) 性別は男性9例，女性1例であった (表1)。結石の大きさは腹部単純X線撮影上，最大2.6×1.6cm で珊瑚状結石は含まれていない。患側は左側6例，右側4例で主要な結石の位置は腎盂内が5例，腎盂尿管移行部 (以下 PUJ) 4例，下腎杯が1例であった。腎盂内結石症例のうち3例には下腎杯にも小結石が合併し，超音波砕石術により除去した。今回の研究対象となった10症例のうち，過去に

表1 経皮的超音波腎砕石術症例

	年齢	性別	結石部位	大きさ (cm)	穿刺と腎瘻拡張	手術時間 (min)	使用灌流液 (L)
1.K.W.	51	男	左 腎 盂	1.5×1.0	2期	70	0.5*
2.T.U.	32	男	右下腎杯	2.6×1.2	2期	97	10.0**
3.K.T.	30	男	左PUJ	1.4×1.5	2期	90	8.0**
4.H.S.	25	女	左PUJ	1.2×0.6	1期	70	0.6*
5.K.K.	20	男	右PUJ	2.0×1.2	1期	50	6.0**
6.S.H.	39	男	左 腎 盂	1.2×1.3	1期	35	2.0**
7.K.Y.	37	男	右PUJ	1.4×1.5	1期	60	5.7**
8.T.M.	53	男	左 腎 盂 左下腎杯	2.1×1.3 1.2×0.6	1期	50	3.5**
9.K.O.	64	男	左 腎 盂 左下腎杯	2.4×1.8 1.0×0.7	1期	62	4.5**
10.S.K.	35	男	右 腎 盂 右下腎杯	2.6×1.6 0.3×0.3	1期	105	3.4**

* 2.7%D-ソルビトール・0.54%D-マニトール混合液 ** 3%D-ソルビトール

表2 経皮的超音波腎砕石術前後の臨床検査値の変化 (mean $\pm$ S.D.)

	術 前	術 後
血 清 浸 透 圧 (mOsm/L)	303.2 $\pm$ 10.8	299.2 $\pm$ 4.9
ヘマトクリット (%)	44.2 $\pm$ 4.7	38.5 $\pm$ 5.8*
血清ナトリウム (mEq/L)	143.5 $\pm$ 2.3	140.1 $\pm$ 4.0
血清クレアチニン (mg/dl)	1.02 $\pm$ 0.18	1.12 $\pm$ 0.32
クレアチニンクリアランス (ml/min)	113.4 $\pm$ 60.2	121.9 $\pm$ 25.7

*術前測定値より有意に減少 ($P<0.05$)

腎盂切石術を受けた症例は2例 (表2：症例 No. 1, 9) であった。

このうち1症例 (症例 No. 9) は以前に他施設で施行

図1 経皮的超音波腎碎石術における腎盂灌流システムと内圧測定法

された腎盂切石術と同側に結石が再発し PUN の対象となった。術前検査として全例に血清 Ca, P, %TRP (tubular reabsorption of phosphate), 尿中 Ca 排出量を測定した。

術前の処置として手術当日、腹部単純X線撮影ののち逆行性に 6F occlusion balloon catheter (Cook Urological, U.S.A.) を患側尿管に留置し逆行性腎盂造影を施行したのち、0.5~1ml の生理食塩水でバルーンを満し、カテーテル先端が腎盂尿管移行部となるよう固定した。この操作は後述する経皮的腎盂穿刺を容易にし、また超音波碎石術中に結石小片が尿管内に流入することを未然に防止しうるため非常に重要である。尿管カテーテルを留置したのち、膀胱内に 18F Foley バルーンカテーテルを留置固定する。経皮的腎盂穿刺は上記操作に引き続き、腰麻下もしくは全麻下で患者を腹臥位とし超音波監視下で 18G Chiba needle を用いて行った。

穿刺直前に尿管カテーテルより腎盂内にインジゴカルミンを含む生理食塩水を約 10ml 緩徐に注入しておき、腎盂穿刺時に容易に確認し得るようにした。穿刺は全例腎下極後面で下腎杯に刺入するように努めた。腎盂穿刺直後に経皮的腎盂造影を行い、X線透視下にガイドワイヤーを腎盂内に挿入し Chiba needle を抜去した。はじめの 3 症例は腎盂穿刺後 9F の self-retaining catheter を留置し 2 日ないし 3 日後に腎瘻を拡張した。しかしその後の 7 症例には腎盂穿刺後 1 期的に腎瘻を telescope-bougie (Karl-Stolz) にて拡張し 26F 手術用外套管を挿入した。使用した灌流液は 2.7%D-ソルビトール・0.54%D-マニトール混合液 (ウ

リガール)、または 3%D-ソルビトール液のどちらかを選んだ。灌流時は液面と腎との距離を 100cm とした。術中の腎盂内圧は尿管 balloon catheter の途中の回路を用いて測定した(図1)。また灌流液の流入側でも同時に水柱圧を記録した。手術用内視鏡を外套管に装着したのち、まず腎盂内を観察し結石の確認のほか腎盂粘膜の異常の有無につき検討したのち超音波プローブを挿入し碎石を開始した。腎盂内観察中および碎石術中は常に灌流液を持続低圧吸引して腎盂内圧を一定に保つようにした。碎石終了後、透視下で残石の有無を検討した。13E ネラトンカテーテルを手術用外套管内腔より腎盂内に挿入し、外套管を抜去、ネラトンカテーテルを皮膚に縫合固定したのち造影剤を注入して腎瘻造影を行い造影剤溢流の有無を観察した。

手術前と手術直後に末梢血、血清浸透圧 (氷点降下法: Osmette 2007 型)、血清電解質、BUN、血糖値を測定した。また腎機能の指標として血清クレアチニン値を測定したほか、手術前後の内因性クレアチニンクリアランス (以下 GFR) を比較した。術後 3 日~4 日目にネラトンカテーテルを抜去しその先端を一般細菌培養検査に供した。腎盂灌流液の吸収量を推定する目的で手術直後の血清 Na, BUN、血糖値から血清浸透圧理論値 $[2 \times \text{Na}(\text{mEq/L}) + \frac{1}{3} \text{BUN}(\text{mg/dl}) + \frac{1}{18} \text{glucose}(\text{mg/dl})]$ を計算し、各症例ごとに血清浸透圧実測値から理論計算値を差し引き osmolarity gap を計測した。

結 果

結石破碎吸引に要した手術時間は 35 分から 105 分

(mean±S.D.: 68.9±22.4分)で、使用灌流量は0.5~10l (mean±S.D.: 4.4±3.1l)であった(表1)。灌流液面を腎盂より100cmとし、超音波プローベ内腔より持続吸引した場合の腎盂内圧は40~60cmH₂Oであった。この値は、灌流液の内視鏡流入口内圧とはほぼ一致した。

術前の血清Ca, P, 尿中Ca排泄量ならびに%TRP値は10症例とも正常範囲内であった。PUN終了時の腎造影では3症例に腎穿刺部から腎周囲への造影剤の溢流がみられたが、腎静脈への溢流所見を呈した症例はなかった。PUN前後の臨床検査測定値を表2に示した。術前の血清浸透圧は303.2±10.8mOsm/L (mean±S.D.)で術直後の299.2±4.9mOsm/Lと比較し有意差はみられなかった。ヘマトクリット(Ht)値は術前の44.2±4.7% (mean±S.D.)から術後38.5±5.8% (mean±S.D.)へと有意に低下した(p<0.05)。血清Na値も術前の143.5±2.3mEq/L (mean±S.D.)から術後140.1±4.0mEq/L (mean±S.D.)へと減少傾向がみられたが統計学的有意差はみられなかった。PUN術中ならびに術後7日間の血圧の変動も著明なものはなかった。血清クレアチニン値は術前の1.02±0.18mg/dl (mean±S.D.)、術後1.12±0.32mg/dl (mean±S.D.)でややPUN直後に一過性に上昇したが統計学的有意差はなく、退院時に測定したG.F.R.は121.9±25.7ml/minと術前の113.4±60.2ml/min (mean±S.D.)に比較し軽度の増加がみられた。PUN術後の患者の疼痛は軽微で術後2日ないし3日で離床が可能であった。また10症例のうちで1例も術後disequilibration syndromeを示唆するような臨床症状はみられなかった。PUN前後でみられたHt値および血清Na濃度の変動率を術前の測定値に対する百分率で示すと、10症例のHt値の変動率(ΔHt)は12.3±11.4% (mean±S.D.)であった。次に個々の症例の手術時間とΔHtもしくはΔNaとの相関関係を検討したが相関係数はきわめて低かった(r=0.33, 0.07)。しかし使用灌流量(x)とHt(y)との間の相関はy=2.24x+2.37 (r=0.61)で表わされ、比較的高い相関を示した。

手術直後の血清浸透圧実測値と血清Na, BUNおよび血糖値から算出された浸透圧理論値との差は10症例で0.4から26.3mOsm/Lまで平均10.4±7.4mOsm/L (mean±S.D.)であった(表3)。血糖値はglucose oxidase酵素電極法で測定され、sorbitolによる干渉を無視し得るものと考えれば、このosmolarity gapは

表3 術後血清浸透圧の実測値と理論値との差(Osmolarity Gap)

血清浸透圧理論値 = $2 \times \text{Na mEq/L} + \frac{\text{BUN}}{3} + \frac{\text{Glucose}}{18}$			
	(A) 実測値 (mOsm/L)	(B) 理論値 (mOsm/L)	Osmolarity Gap (A)-(B)
1. K. W.	294.0	293.6	0.4
2. T. U.	301.0	282.1	18.9
3. K. T.	298.0	289.0	7.0
4. H. S.	298.0	288.9	9.1
5. K. K.	302.0	291.3	10.7
6. S. H.	302.5	290.5	12.0
7. K. Y.	325.0	298.7	26.3
8. T. M.	303.8	294.3	9.5
9. K. O.	300.0	294.9	5.1
10. S. K.	289.2	284.0	5.2
	(mean) 10.4 (±S. D.) ± 7.4		

腎盂内灌流液が循環血液内に吸収された量に比例して増加する。

今回の臨床研究では腎盂内圧は40~60cmH₂Oに保持されており、osmolarity gapは使用された灌流量との間に正の相関を示した(y=1.19x+5.16:y:osmolarity gap, x:灌流量, r=0.49)。しかし観察されたosmolarity gapはいずれも30mOsm/L以下で、穿刺と腎痙攣、碎石術を一時期に行った7症例でもdisequilibration syndromeをおこしうような高いosmolarity gap (40mOsm/L以上)⁴⁾を認めた症例はなかった。

PUNによる10症例の治療成績は残石症例が1例で治癒率は90%であった。この症例(表1:症例No. 2)は腹側下腎杯に嵌頓した結石を有し、その解剖学的位置関係から超音波碎石用プローベの到達がきわめて困難であり、PUN術後残石が尿管に嵌頓したため尿管切石術を施行して軽快せしめた。

考 察

経皮的超音波腎碎石術(PUN)に腎盂灌流を必要とする理由は、術中に腎盂内の明瞭な視野を確保することと超音波プローベが発生する熱を冷却し腎盂粘膜を保護することにある⁵⁾。

この目的で使用されている灌流液には生理食塩水、グリシンあるいはソルビトール、ソルビトール・マニトール混合液などがあるが、術中電気凝固・切開の併用を考慮し、欧米の多くの施設は後者の等張糖液を用いていることが多い。著者らもPUNを腎結石治療へ導入するにあたり、同様の理由で灌流液に等張糖液を用いることとした。従来腎盂灌流液の体内吸収に関する所見は、主に尿管カテーテルによる腎盂洗浄を腎結

石溶解の目的で施行した臨床症例や動物実験から得られているにすぎない。Mulvaney, W.P.⁶⁾は犬を用いた動物実験から正常腎では腎盂内圧を18cmHg. (230 cmH₂O)以上にすると腎盂灌流液の吸収が増加すると報告している。一方 Köhler, R.⁷⁾は逆行性腎盂造影所見から造影剤の腎盂・腎杯外への溢流は腎盂内圧がわずかに80~100mmHg (10~13cmH₂O)以上で高頻度に認められるようになると報告している。

腎盂灌流液の吸収経路は, pyelotubular backflow, pyelovenous backflow, pyelosinus backflow などが考えられているが, 腎実質を穿刺する PUN に際しては灌流液の体内吸収の可能性はさらに高いと考えられる。しかし PUN に用いる腎盂灌流液は患側尿管を通じて膀胱へも入り対側腎からの尿と混ざるため正確な回収量の測定は困難である。さらに血中に吸収されたソルビトールはすみやかに代謝されるため吸収量の測定も困難である。そこで, PUN 前後の Ht 値, Na 濃度の変化を検討し, さらに osmolarity gap を灌流液吸収量の指標とした。

著者らは PUN 術中の腎盂内圧を一定のレベルに保持するため, 灌流液水面を腎盂より100cm 上部に設定した。さらに灌流速度は吸引用の peristaltic pump を調整することにより良好な視界を得る最低速度とした。症例により穿刺部より出血がみられる場合には灌流速度を増やし, 従って使用灌流液量もこのような症例は多くなる傾向にあった。以上の条件下で腎盂内圧を occlusion balloon catheter を使用して測定すると, 灌流中腎盂内圧は40~60cmH₂O の範囲にあり, 同時に測定した灌流液流入口内圧とはほぼ一致した。PUN による灌流液の吸収量は, 腎盂内圧のほかに灌流手術時間, 灌流液使用量, 腎実質穿刺部位ならびに穿刺と腎瘻拡張の時期によって影響を受けると考えられた。

そこでまず PUN 術前および術直後の臨床検査値から最も変化のあった Ht 値および血清 Na 濃度と上述の因子との相関について検討した。

その結果手術時間の長さに関係なく Ht 値は術後有意に減少しその減少率(Δ Ht)は使用灌流液量と比較的高い正の相関のあることが示された。さらに灌流液の体内吸収量を推定するために osmolarity gap を個々の症例について検討した結果, osmolarity gap は使用灌流液量に比例して増加する傾向がみられた。これらの事実により, 腎盂穿刺による腎盂灌流は40~60 cmH₂O 程度の圧力下でも灌流液の循環血液中の吸収

は皆無ではなく, 3%D-ソルビトール灌流液 (165 mOsm/L)で換算した場合, 300~800ml の灌流液が吸収されたことになる。この吸収量は穿刺と拡張を2期に分けて行っても1期的に行っても大差はなくいずれも吸収量は軽微で, また臨床的にも disequilibrium syndrome をきたした症例はなかった。従って腎内視鏡操作時に灌流と同時の低圧持続吸引を行い腎盂内圧を60cmH₂O 以下に保持すれば, 2時間以内の PUN はきわめて安全な術式であると考えられた。しかし, 結石症例の多くは腎盂腎炎や膿腎症を合併しており, 灌流液の吸収量が前述条件下では軽微であるといえども尿路感染症合併例では菌血症の危険は非常に高いと考えられる。

このような感染合併症例には腎盂穿刺前に十分な化学療法を施行することはきわめて大切で, 症例によっては腎瘻を設置して腎盂腎炎の推移を観察し, PUN の実施時期を慎重に選択すべきである。

結 語

PUN 施行時の腎盂灌流液の体内吸収量を一定の灌流条件下で10症例について検討した。その結果腎盂内圧を低圧持続吸引により60cmH₂O 以下に設定すれば, 2時間以内の PUN 術中に吸収される灌流液量は計算された osmolarity gap から800ml 以下と推定された。感染合併症例には菌血症の危険は高く PUN 施行時期を慎重に決定すべき点を強調した。

References

- 1) Goodwin, W.E., Casey, W.C. and Wolf, W.: Percutaneous trocar nephrostomy in hydronephrosis. J. Am. Med. Ass., 159, 891-893, 1955.
- 2) Alken, P., Hutschenreiter, G., Gunther, R., and Marberger, M.: Percutaneous stone manipulation. J. Urol., 125, 463-466, 1981.
- 3) Wickham, J.E.A. and Miller, R.A.: Percutaneous Renal Surgery. p. 119, Churchill Livingstone, 1983.
- 4) Kirschenbaum, M.A.: Severe mannitol-induced hyponatremia complicating transurethral prostatic resection. J. Urol., 121, 687-688, 1979.
- 5) Marberger, M.: Ultrasonic destruction of bladder stones. Ultrasound in Urology. Baltimore, Williams and Wilkins, 1979.
- 6) Mulvaney, W.P.: The hydrodynamics of renal irrigations; with reference to calculus solvents. J. Urol., 89, 765-768, 1963.
- 7) Köhler, R.: Investigations in retrograde phelography; a roentgenological and clinical study. Acta Radiol., Suppl., 99, p. 46, 1953.

(1985年1月10日受付)