

各種経尿道的手術用電極の特性の検討

恵仁会三愛病院泌尿器科 (科長: 清野耕治)

梶川 恒雄, 岩動 一将, 続 多香子, 清野 耕治

恵仁会三愛病院附属矢巾クリニック泌尿器科

藤 島 幹 彦

CHARACTERISTICS OF VARIOUS ELECTRODES FOR
TRANSURETHRAL SURGERY

Tsuneo KAJIKAWA, Kazumasa ISURUGI, Takako TUZUKI and Koji SEINO

From the Department of Urology, San-ai Hospital

Mikihiko FUJISHIMA

From the Department of Urology, Yahaba Clinic

The characteristics of four electrodes for transurethral surgery were examined by resection experiments using porcine muscles. The electrodes were a loop type (uroloop, ENDO care), a roller type (STORZ), VAPOR CUT (STORZ) and WEDGE (Microvasive Co). With the stroke rate fixed at 1.2 cm/second and the electrical output changed to 200, 220, 240 W, the electrode was moved manually by 1 stroke for resection. Sections were weighed, histological changes on the cut surface were observed under a microscope and the excised+vaporized layer and desiccated layer were measured. A similar study was also made with the electrical output fixed at 200 W and the stroke rate changed to 0.6, 1.2, 2.4 cm/second.

When the output was increased, the excised+vaporized layer and desiccated layer became deep with the roller-type. The excised+vaporized layer became deep and the desiccated layer tended to become deep with the UROLOOP and VAPOR CUT. No change in either layer was found with WEDGE. When the stroke rate was increased, both excised+vaporized layer and desiccated layer became shallow with VAPOR CUT, but only the desiccated layer became shallow with WEDGE.

In conclusion, the proper output and stroke rate were considered to be 240 W and not more than 0.6 cm/second with the roller-type, 220-240 W and 0.6 cm/second with VAPOR CUT and 200 W and 1.2 cm/second with WEDGE.

(Acta Urol. Jpn. 48: 61-66, 2002)

Key words: Benign prostatic hypertrophy, Electrode, Transurethral resection of the prostate, Transurethral vaporization of the prostate

緒 言

経尿道的前立腺電気蒸散術は、手術中の出血量を減少させた低侵襲な治療法として、1995年、Kaplan らによって発表された¹⁾。しかし、病理診断のための組織が採取できない、手術時間が延長するなどの欠点が指摘され、これを改善させる目的に、近年、様々な経尿道的手術用電極が開発されてきた。しかし、それぞれの特性ならびに手術時の適正な出力、ストローク速度は、明確には示されておらず、蒸散切除、new TUR など言葉の定義も曖昧である。今回、われわれは、豚筋肉を用い、実際の手術になるべく近い条件で実験を行い、切除切片重量、切除+蒸散層の深さ、乾燥凝固層の深さを測定した。さらに、それをもとに各種電極の分類を試み、それぞれの適正な出力、スト

ローク速度を検討したので報告する。

対象および方法

(1) 出力実験

実験装置の模式図を Fig. 1 に示す。ウロマチック S で満たした水槽内に豚筋肉を固定した。切除鏡を回転のみ自由に行えるクランプでスタンドに固定し、実際の手術と同程度の圧がかけられるようにした。対象電極は、蒸散用電極である STORZ 社製 Roller electrode (以下ローラー型)、従来の TUR-P 用電極に算盤玉状の小さなローラーを付けた ENDOcare 社製 UROLOOP (以下ループ型)、幅広型切除電極の下面に鋭角に突出した部分 (以下エッジ) を付けた STORZ 社製 VAPOR CUT electrode (以下 VAPOR CUT)、幅広型切除電極 Microvasive 社製

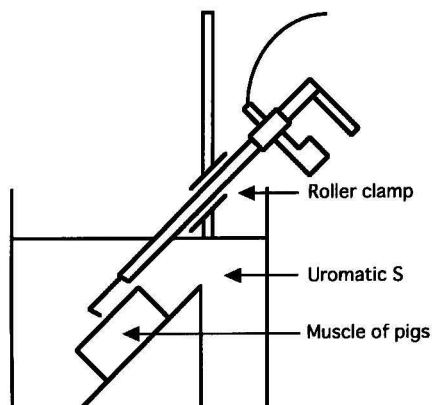


Fig. 1. Illustration of the experimental apparatus.

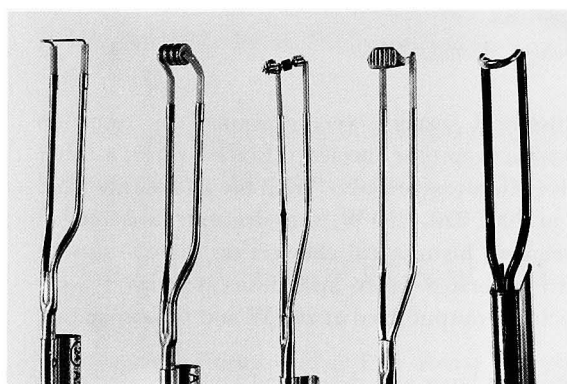


Fig. 2. Appearance of various electrodes. From left to right, cutting loop electrode, roller electrode, UROLOOP, VAPOR CUT, WEDGE.

WEDGE (以下 WEDGE) の4種類とした。比較のため、従来の TUR-P 用電極 cutting loop electrode (以下 TUR 電極) を加えた (Fig. 2)。

切除鏡は、STORZ 社製 27 Fr, surgical unit は、ERBE 社製 ICC350 を用いた。それぞれの電極を接続し、出力を 200, 220, 240 W と変化させ、手動で 1 ストローク動かし切除・蒸散を行った。ストローク速度は、1.2 cm/秒とした。TUR 電極は、出力 150 W, ストローク速度 2.4 cm/秒で切除を行った。

ストローク速度は、切除鏡の 1 ストローク 2.4 cm を何秒間で動かすかによって調整した (1 ストロークを 1, 2, 4 秒間で動かした時のストローク速度を、2.4, 1.2, 0.6 cm/秒とした)。メトロノームを 1 秒間隔で打つように設定し、それを基準として、1 ストロークをなるべく一定速度で動かすようにした。一定速度で動かせなかった場合や秒数が合わなかった場合は、その標本は破棄し、各条件で 10 標本になるまで切除・蒸散を繰り返した。

測定項目についての模式図を Fig. 3 に示す。切除切片 (A) は重量を測定、切除面側は、ただちにホルマリンで固定した後、中央部分を切り出し、Hema-

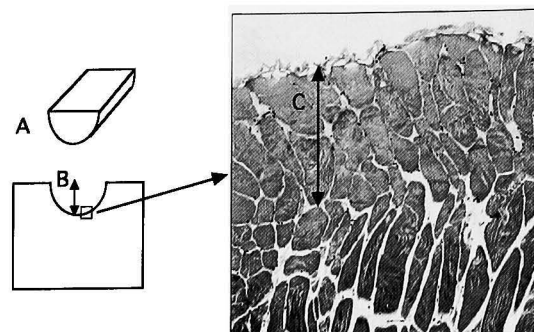


Fig. 3. Schematic model of the measurements. A: The excised sections were weighed. B: The depth of excised + vaporized layer was measured. C: The depth of desiccated layer was measured.

toxylin-Eosin 染色を行った。顕微鏡下でマイクロメーターを用い、切除+蒸散層の深さ (B) および筋肉線維の配列の異なる乾燥凝固層の深さ (C) を測定した。

(2) ストローク速度実験

実際の手術で使いやすく、比較的広く普及している VAPOR CUT, WEDGE の2種類について、出力は 200 W に固定、ストローク速度を 0.6, 1.2, 2.4 cm/秒と変化させ、切除・蒸散を行った。出力実験と同様に切除切片の重量、切除+蒸散層の深さ、乾燥凝固層の深さを測定した。

各電極、各条件について、それぞれ 10 標本の平均値、標準偏差を算出し、検討を行った。統計学的検討には、t 検定を用い、 $p < 0.05$ を統計学的有意差ありと判定した。

結 果

(1) 出力実験

① 切除切片重量

各電極の 1 ストロークでの切除切片重量を Fig. 4 に示す。TUR 電極の 0.26 ± 0.05 g に対し、ローラー型は 0.01~0.04 g とほとんど切片が得られなかった。ループ型、VAPOR CUT の2種は 0.11~

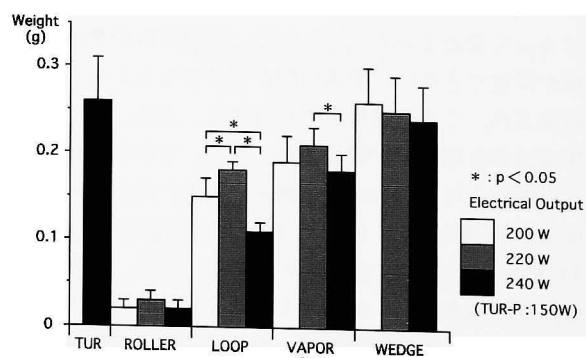


Fig. 4. Relationship between the weight of excised section and the electrical output.

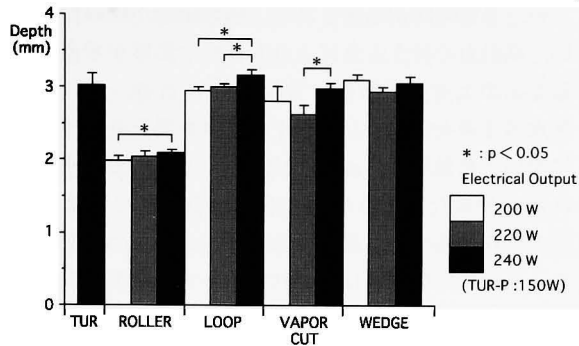


Fig. 5. Relationship between the depth of excised+vaporized layer and the electrical output.

0.21 g と TUR 電極の 1/2~2/3 程度, WEDGE は 200 W で 0.26 ± 0.04 g と TUR 電極とほぼ同量の切片が得られた。

出力に対する変化では, ローラー型は出力を変えても有意な変化は認めなかった。ループ型は 200 W 0.15 ± 0.02 g, 220 W 0.18 ± 0.01 g, 240 W 0.11 ± 0.01 g, VAPOR CUT は 200 W 0.19 ± 0.03 g, 220 W 0.21 ± 0.02 g, 240 W 0.18 ± 0.02 g と, どちらも 220 W では切除切片重量が多くなったが, 240 W まで出力を上げると逆に少なくなった。WEDGE では, 出力を上げると, 若干, 切除切片重量が減少する傾向を認めたが有意差はなかった。

②切除+蒸散層

各電極の 1 ストロークでの切除+蒸散層の深さを Fig. 5 に示す。切除+蒸散層の深さは, ループ型, VAPOR CUT, WEDGE とともに 3 mm 前後と TUR 電極とほぼ同じであった。ループ型, VAPOR CUT は, 切除切片重量が TUR 電極の 1/2~2/3 であったことを併せて考えると, 1 ストロークのできる切除+蒸散層の深さのうち, 1/3~1/2 は蒸散によるものと推測された。また, WEDGE では, 切除切片重量も TUR 電極とほぼ同じであったことから, 蒸散はほとんど起らないと推測された。ローラー型は, 1 ストロークのできる切除+蒸散層の深さが 2 mm 前後と, 他の電極の 2/3 程度であり, 手術時間が延長すると考えられた。

出力に対する変化では, ローラー型の 200 W 1.98 ± 0.07 mm と 240 W 2.09 ± 0.05 mm の間, ループ型の 200 W 2.95 ± 0.05 mm, 220 W 3.00 ± 0.04 mm と 240 W 3.17 ± 0.07 mm の間に統計学的有意差を認め, 出力を上げると切除+蒸散層が深くなることが示された。VAPOR CUT では, 220 W では 200 W より深さが減少したものの, 240 W では増加しており, 出力を上げると切除+蒸散層が深くなる傾向を認めた。WEDGE は, 200 W 0.26 ± 0.04 mm, 220 W 0.24 ± 0.04 mm, 240 W 0.25 ± 0.04 mm と出力によ

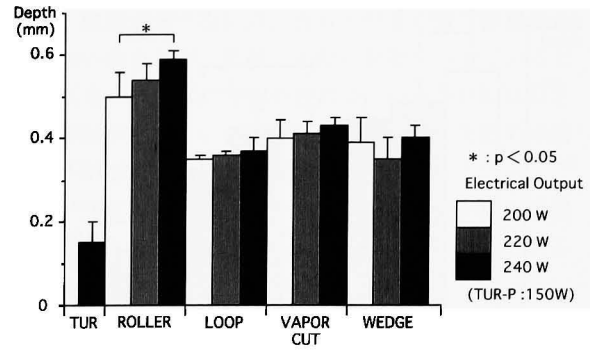


Fig. 6. Relationship between the depth of desiccated layer and the electrical output.

る変化を認めなかった。

③乾燥凝固層

各電極 1 ストロークでの乾燥凝固層の深さを Fig. 6 に示す。乾燥凝固層の深さは, ローラー型が $0.50 \sim 0.58$ mm と最も深く, 0.15 ± 0.05 mm の TUR 電極の約 4 倍であった。ループ型, VAPOR CUT, WEDGE は 3 種とも 0.4 mm 前後と TUR 電極の約 2.5 倍であった。

出力に対する変化では, ローラー型は 200 W 0.50 ± 0.06 mm, 220 W 0.54 ± 0.04 mm, 240 W 0.59 ± 0.02 mm と出力を上げると乾燥凝固層は深くなり, 200 W と 240 W の間に有意差を認めた。ループ型, VAPOR CUT も出力を上げると乾燥凝固層は深くなったが, 有意差は認めなかった。WEDGE は 200 W 0.39 ± 0.06 mm, 220 W 0.35 ± 0.05 mm, 240 W 0.40 ± 0.03 mm と, 乾燥凝固層の深さも切除+蒸散層と同様に出力による変化を認めなかった。

(2) ストローク速度実験

①切除+蒸散層

ストローク速度と, 切除+蒸散層の深さの関係を Fig. 7 に示す。VAPOR CUT では, ストローク速度 0.6 cm/秒での深さ 2.98 ± 0.16 mm が, 1.2 cm/秒の 2.46 ± 0.15 mm, 2.4 cm/秒の 2.48 ± 0.15 mm に比べ, 有意に深かった。WEDGE は, 0.6 cm/秒 3.68

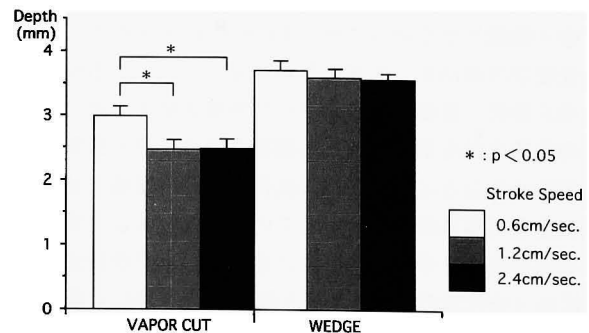


Fig. 7. Relationship between the depth of excised+vaporized layer and the stroke speed.

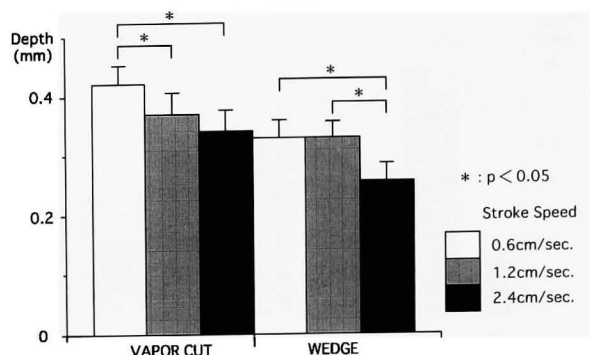


Fig. 8. Relationship between the depth of desiccated layer and the stroke speed.

±0.15 mm, 1.2 cm/秒 3.58±0.13 mm, 2.4 cm/秒, 3.56±0.09 mm で、ストローク速度を変えても有意な変化を認めなかった。

②乾燥凝固層

ストローク速度と乾燥凝固層の深さの関係を Fig. 8 に示す VAPOR CUT では、ストローク速度を速くすると乾燥凝固層の深さが減少する傾向が見られ、0.6 cm/秒の 0.42±0.03 mm と、1.2 cm/秒の 0.37±0.04 mm, 2.4 cm/秒の 0.34±0.03 mm の間に有意差を認めた。WEDGE では、0.6 cm/秒, 1.2 cm/秒はどちらも 0.33±0.03 mm で差がなかったが、2.4 cm/秒になると 0.24±0.03 mm と有意に深さが減少した。

考 察

経尿道的前立腺切除術（以下 TUR-P）は、前立腺肥大症の最もスタンダードな外科的治療法として長年広く行われてきた。しかし、術中・術後出血、穿孔、TUR 症候群、尿道狭窄といった合併症を完全に回避することはできず、近年の手術症例の高齢化に伴い、より低侵襲な治療法が求められてきた。このため、尿道ステント²⁾、温熱療法³⁾、レーザー療法⁴⁾、高密度焦点超音波⁵⁾といった治療法が開発、報告されてきたが、どれも一長一短があり、TUR-P に完全に置き換わるには至っていない。

経尿道的前立腺電気蒸散術（以下 TVP）も、術中・術後出血を減少させ、TUR 症候群を防止した低侵襲な治療法として1995年に発表された¹⁾。その論理は、電極と組織の間にスパーク放電を発生させ、組織の急激な温度上昇を起し、細胞内外の水分を急激に蒸発させることにより、細胞自体を爆発、崩壊させるという電気蒸散現象に基づいている。これにより前立腺組織を消失させると同時に、その下層を乾燥凝固し、出血、灌流液の吸収を抑制する。発表以後、各種合併症を有するハイリスクな症例に有効との報告^{6,7)}がある一方、気泡の発生で視野がとりにくく、切片がフラップ状になって残りやすい、前立腺被膜が分かりにく

い、手術時間が延長される、病理組織が採取できない、高出力で行うことによる人体への影響が考えられるなどの欠点も指摘されてきた^{8,9)}。近年、これらの欠点の改善を目的とした様々な電極が開発され、それに伴い、蒸散切除、new TUR といった言葉も使用されるようになってきた。しかし、こうした言葉の定義、それに基づいた各電極の分類、適正な出力やストローク速度は明確には示されておらず、各術者の経験に基づいて使用されているのが現状である。

今回、こうした問題点の解決を目的に、4種類の電極について検討を行った。切除切片重量、切除+蒸散層の深さの測定結果から、大まかな蒸散量の推定が可能であり、その結果、4種類の電極は、3つのカテゴリーに分類が可能であった。さらに、このカテゴリーに現在使われている言葉を当てはめると、次のように定義することができた。

- (1) 蒸散：蒸散が大部分で、切除がほとんどないもの（ローラー型）
- (2) 蒸散切除：蒸散が1/3～1/2、切除が1/2～2/3であるもの（ループ型、VAPOR CUT）
- (3) new TUR：蒸散がほとんどなく、切除が大部分であるもの（WEDGE）

また、構造的に、エッジの有無がこの分類に一致していた。電極にエッジがあると、スパーク放電が発生しやすく、蒸散が起りやすい¹⁰⁾。つまり、エッジのある電極は、蒸散を考慮して設計されており、大きな4本のエッジだけで構成されているローラー型は蒸散のみを考慮、小さなエッジがあるループ型、VAPOR CUT は蒸散と切除の両立を目指して設計されていると考えられる。これに対して、WEDGE にはエッジが存在せず、設計上、蒸散は考慮していないと思われる。以上のように電極の構造からも、今回の分類の妥当性が裏づけられた。

次に、各カテゴリーについて、その特性を詳しく検討し、適正な出力、ストローク速度を決定した。

(1) 蒸 散

切除切片は、ほとんど採れず、出力による変化もなかった。切除+蒸散層は、出力を上げると僅かに増加し、これは蒸散層が増加したためと考えられた。乾燥凝固層は出力を上げると有意に増加した。乾燥凝固層の増加は出血量の減少につながると考えられ、蒸散では、ある程度、出力を上げた方が、蒸散量のためにも、出血の防止のためにも好ましいと思われた。今回、出力を240 W までしか検討しなかったが、過去には、もっと高出力で行った報告も散見される。しかし、出力を上げすぎると、表面が炭化して組織抵抗が高くなり、その部分を再蒸散しようとする蒸散効率がきわめて悪くなるという現象が起る。また、TVP の適正出力については、Kaplan らが、最初の報告で

TUR-P の出力の約25%増¹⁾, 1998年の報告でも25~45%増¹¹⁾としている. TUR-P の出力を 150 W とすると, 45%増でも 217.5 W であり, 現在の surgical unit の性能から考えても, 240 W で必要十分と考えられた. 以上から, 適正な出力は 240 W, ストローク速度は, 今回は検討を行わなかったが, 蒸散切除, new TUR のデータから考えて 0.6 cm/秒以下が適正と推測された.

(2) 蒸散切除

切除切片重量は, 200 W に比べて 220 W では増加したが, 240 W になると減少した. これは, 出力を上げることで蒸散量が増加し, 切除量が減少したためと考えられた. 切除+蒸散層の深さは, ループ型では出力を上げると有意に増加し, VAPOR CUT でも増加する傾向を認めた. しかし, 切除切片重量と切除+蒸散層の深さの関係から推定した蒸散量は, ループ型の方が VAPOR CUT より多く, 同じ蒸散切除のカテゴリーでも, より蒸散を考えた設計がなされていると推測された. 乾燥凝固層の深さは, 出力を上げると増加する傾向が見られたが, 統計学的有意差は認めなかった. また, VAPOR CUT によるストローク速度実験では, 切除+蒸散層の深さは, 0.6 cm/秒が 1.2, 2.4 cm/秒に比べて有意に深く, 乾燥凝固層もストローク速度を遅くするにしたがって有意に増加した. 以上から, 適正な出力は切除切片を多く採取したい場合は 220 W, それ以外は 240 W, 適正なストローク速度は 0.6 cm/秒と考えられた.

(3) new TUR

切除切片重量は, TUR 電極とほぼ同程度の量が得られたが, 出力を上げると僅かに減少した. 切除+蒸散層の深さも TUR 電極とほぼ同じであったが, こちらは出力による変化を認めなかった. 乾燥凝固層の深さは, TUR 電極の約2.5倍と, 蒸散切除とほぼ同じであったが, 出力による変化は認めなかった. 以上から new TUR の場合, 出力を上げても手術時間の短縮, 出血量の減少にはつながらないと考えられた. ストローク速度実験では, 切除+蒸散層の深さは, ストローク速度を速くすると減少する傾向が見られたが有意差は認めなかった. 乾燥凝固層の深さは 0.6 cm/秒と 1.2 cm/秒は同じであったが, 2.4 cm/秒になると有意に減少した. 以上から, 出力は 200 W, ストローク速度は手術時間の短縮を考慮し, 1.2 cm/秒が適正と考えられた.

ただし, 今回の実験, 検討には, いくつか問題点があり, 今回の結果すべてが実際の手術に当てはまるわけではない. これらの問題点について, 考察を加える.

第一に, 切除材料に豚筋肉を用いた点があげられる. 最も手に入りやすい材料であったため使用したの

だが, 血流が全くない点, 含有水分量が前立腺組織より少ない点などが, 蒸散, 切除に影響を与えていると思われる. 例えば, 今回の検討で, new TUR はほとんど蒸散が起らないという結果が出たが, 実際の手術では, ある程度, 蒸散が起っている印象をうける. これは, 含有水分量の関係などから, 豚筋肉が前立腺組織より電気蒸散現象を起しにくいことが影響していると考えられた.

第二に実験装置, 実験条件の問題があげられる. 今回の検討では, 切除・蒸散を手動で行ったため, 圧, ストローク速度が完全に一定にはなっていない. 井口ら¹⁰⁾が行ったような自走台車を用いてストローク速度を一定とし, 圧もおもりで一定となるような装置も製作し, 実験してみたのであるが, 特に切除がうまくできなかった. 切除の場合, 切り始めの組織に電極を進入させる際に, 大きな圧が必要になるのが原因と考えられ, 実際の手術でも, 1ストロークの間, ずっと同じ圧力はかけておらず, 切り始めて大きな圧力をかけた後, 圧力を抜いて切除を行っている. このため, 圧, ストローク速度を完全に一定とした条件での検討は困難と判断し, なるべく実際の手術に近い条件での検討を目指して, 今回の実験装置, 実験条件を考案した. その上で, 圧の変化を最小限に抑えるため, 切除鏡を回転運動のみ行えるローラークランプで固定し, 圧, ストローク速度のばらつきの影響を抑えるため, 一条件での切除回数を増やした. しかし, 圧, ストローク速度にばらつきがあるのは事実であり, それが結果に影響している可能性は否定し得ない.

第三に, 蒸散量の検討方法の問題である. 今回の蒸散量は, 切除切片重量 (g) と切除+蒸散量の深さ (mm) から推定したおおまかな値である. この2つのパラメータから本当に正確な蒸散量を求めるには, 切除+蒸散でできた欠損部分を体積, 重量へ換算しなければならない. 今回, こうした換算は行っておらず, 今回の蒸散量は絶対量ではなく, あくまで電極の比較のための目安である.

以上のような問題点があるため, 今回の実験結果は, 比較による各電極の特性の評価で, 性能評価ではない. しかし, 今回の結果から導き出した電極の分類, 適正な出力, ストローク速度は, 実際に手術で使用する際の1つの指標にはなると思われる. 経尿道的手術では, 出力を上げるほど, 閉鎖神経反射による穿孔, 尿道括約筋障害, 術後尿道狭窄など合併症の発生率が高まると考えられる. そのため, 手術は必要最低限の出力で行うのが好ましい. 今回の結果を踏まえ, 各電極を適正な使用条件で用いることが, 手術の安全, 効率の向上のため重要と考えられた.

結 語

(1) 4種類の経尿道的手術用電極について、豚筋肉を用いた実験、検討を行った。

(2) 蒸散量から、4種類の電極は、蒸散、蒸散切除、new TURの3つのカテゴリーに分類できた。

(3) 出力を上げると、蒸散では切除+蒸散層、乾燥凝固層とも深くなった。蒸散切除では、切除+蒸散層は深くなり、乾燥凝固層は深くなる傾向を認めた。new TURでは、どちらにも変化を認めなかった。

(4) ストローク速度を速くすると、蒸散切除では、切除+蒸散層、乾燥凝固層とも浅くなった。new TURでは、乾燥凝固層のみ浅くなった。

(5) 適正な出力、ストローク速度は、蒸散は 240 W, 0.6 cm/秒以下。蒸散切除は 220~240 W, 0.6 cm/秒, new TUR は 200 W, 1.2 cm/秒と考えられた。

文 献

- 1) Kaplan SA and Te AE: Transurethral electrovaporization of the prostate: a novel method for treating men with benign prostatic hyperplasia. *Urology* **45**: 566-572, 1995
- 2) Oesterling JE, Kaplan SA, Epstein HB, et al.: The North American experience with the UroLume endoprosthesis as a treatment for benign prostatic hyperplasia: long-term results. *Urology* **44**: 353-362, 1994
- 3) Blute ML, Tomera KM, Hollerstein DK, et al.: Transurethral microwave thermotherapy for management of benign prostatic hyperplasia: results from the United States Prostatron Cooperative Study. *J Urol* **150**: 1591-1596, 1993
- 4) Costello AJ, Bowsher WG, Bolton DM, et al.: Laser ablation of the prostate in patients with benign prostatic hypertrophy. *Br J Urol* **69**: 603-608, 1992
- 5) Uchida T, Yokoyama E, Iwamura M, et al.: High intensity focused ultrasound for benign prostatic hyperplasia. *Int J Urol* **2**: 181-185, 1995
- 6) 宮田康好, 田出公克, 古川正隆, ほか: 高齢者(75歳以上)における経尿道的前立腺蒸散術の検討. *臨泌* **51**: 927-931, 1997
- 7) 恵 謙, 井上幸治, 大森孝平, ほか: 2種の蒸散用電極を用いた前立腺肥大症に対する経尿道的前立腺電気蒸散術(TVP)の治療成績. *泌尿紀要* **44**: 481-484, 1998
- 8) Kaplan SA, Santarosa RP and Te AE: Transurethral electrovaporization of the prostate: one-year experience. *Urology* **48**: 876-881, 1996
- 9) 伊藤敬一, 中島 淳, 長妻克巳, ほか: 二枚刃幅広型ループを用いた経尿道的前立腺切除術の検討. *泌尿器外科* **12**: 1465-1469, 1999
- 10) 井口靖浩, 合谷信行, 東間 紘, ほか: Vapor Trode を用いた経尿道的前立腺電気蒸散術(TVP)の基礎的検討. *日泌尿会誌* **88**: 641-648, 1997
- 11) Kaplan SA, Laor E, Fetal M, et al.: Transurethral resection of the prostate versus transurethral electrovaporization of the prostate: a blinded, prospective comparative study with 1-year followup. *J Urol* **159**: 454-458, 1998

(Received on June 8, 2001)
(Accepted on September 18, 2001)