総説

排尿機能検査の現状と問題点

旭川医科大学泌尿器科学教室

八竹 直 金子 茂男 宮田 昌伸 水永 光博

URODYNAMICS: CURRENT STATUS AND CONTROVERSIES

Sunao Yachiku, Shigeo Kaneko

Masanobu Miyata, Mitsuhiro Mizunaga

Department of Urology, Asahikawa Medical College

はじめに

近頃, 世の中の高齢化の故か, 排尿困難や頻尿, 尿失禁といった排尿の異常についての論議が盛んである。これらの症状を引き起こす原疾患の鑑別診断, 種々の治療の効果判定や病状の変化を知るために排尿機能検査がしばしば用いられる。

今日, 下部尿路の機能検査としては, 尿流量率測定, 膀胱内圧測定, 尿道内圧測定や外尿道括約筋筋電図測定の4種の検査を指す事が一般的であるように思う。

これらの検査法について, 1977年土田¹⁾は下部尿路機能検査法の総説の中で, 「これまで信頼の出来る機能検査法としては, 膀胱内圧測定法が行われて来たに過ぎない。しかし最近になって, 排尿機能の研究が進み, いくつかの新しい機能検査法が登場するようになり」云々と述べ, 前述の機能検査法を解説している。すなわち, この一文から分かるようにこれらの機能検査が本邦において日常的に用いられるようになって, まだ十数年しか経過していないという事になる。

しかしこの十数年で測定法や診断的意義に問題点はなくなったのか, またこれらの検査だけで, 臨床的に下部尿路機能の状態を十分に把握出来ているのであろうか。

また排尿機能の状態は客観化し難いものであるが, それを助けるために, これらの検査では色々なパラメーターが数字として利用される。それらは本来単独で取り上げる事が難しいものであり, 総合的に用いられて初めて意味が生じる事が多いものである。しかしこれらの検査法が一般的になればなるほど, 他の臨床検査の値と同じように, 一つのパラメーターの数字が独り歩きしている現象も見られる。

そこでこれらの4種の検査に日常よく用いられる残尿量測定を加えて, 排尿機能検査の現状と問題点を中

心にもう一度考えてみたいと思う。

I. 残尿量測定

排尿効率の一つの目安を得るための最も一般的な検査法である。この残尿量測定は, まさに数字で表わす事が出来るため, 排尿障害の程度やその治療効果を判定する手段として好んで用いられる。

しかしこの測定値は時に正確さを欠く事は多くの人達が気付いている。

排尿後の膀胱内の残留尿量を測定する方法としては, 今までに色々な方法が提唱されている。例えば, phenolsulfonphthalein 排泄試験²⁾³⁾, 静脈性尿路造影の排尿後撮影⁴⁾, 下腹部の打診, 聴診, 超音波検査法^{5)~7)}, 核医学的検査法⁸⁾等であるが, 一般的には排尿後にカテーテルを用いて残尿量を計測する方法が「gold standard」とされている。

この検査が時に不正確になる要因の第一には患者自身の問題がある。まず患者自身が排尿についてよく理解し, 必要なら腹圧や手圧などを効率よく利用して, 残尿がないように努めるか否かで残尿量は大幅に違ってくる。それゆえ同じ人でも, その時の気分や環境によって, 残尿量は確実に変わる。

また膀胱に十分尿が貯留していない時や過度に貯留した場合にはうまく排尿出来ない可能性があり, 正しい値は得難い事になる。

第二には測定に関しての問題である。普通は排尿後にカテーテルを用いて尿を排出し, 尿が出なくなればそれで測定を終了する。

しかし Stoller & Millard⁹⁾は導尿後少量の造影剤を注入し, これを用いてモニターすると, 26%もの症例に, なお尿が膀胱内に貯留しているという。残尿量測定にこのような危険が存在する事を認識せずに行われた男子116名では, 最初の操作での残尿量の平均と完全

に排出した全残尿量の差は $76 \pm 76 \text{ ml}$ （平均 $\pm$ 標準偏差）もあった。また膀胱容量が大きい症例ほど誤差は大きくなる傾向があるという。Purkiss¹⁰⁾も急性尿閉症例では長期カテーテル留置例に比べ残尿測定後に残る膀胱内尿量は多いと述べている。

いずれにしても確実な測定法と考えられているカテーテルによる残尿量測定にも問題点がある事が分かる。

その原因にはカテーテルの屈曲とか、潤滑剤や膀胱内に生じた種々な小片によるカテーテルの閉塞や膀胱の過伸展による膀胱壁の弛緩などが考えられる。

さらに The International Continence Society (ICS) の報告¹¹⁾のように、残尿量測定時の利尿状態および排尿から導尿までの時間が問題になる。Haylen ら¹²⁾の検討によると、1,000ml の水分負荷後およそ1時間半位では毎分10ml の尿が膀胱に貯留される。それゆえ排尿から残尿量測定までに5分もかかると、たちまち50ml の残尿が生じたようになってしまう。

また導尿に使うカテーテルの種類にも関係があるとも言われる。女性では短いカテーテルでの導尿後はほとんど膀胱内に尿は残っていない。しかし Foley catheter では平均77ml も尿が残るという⁷⁾。

これらの残尿測定を不正確にする原因に対する対策としては、まず患者に残尿量測定についてよく説明し、出来るだけ完全に排尿させる事と膀胱内の尿が極端に過不足ではない状態で測定する事が望ましい。

次に残尿量測定時に極端な利尿状態にしない事と、排尿後出来るだけ短時間に導尿をする事が必要である。

またカテーテルは簡単に閉塞しない程度の内径が必要である。さらにカテーテルを前後に移動させる事や尿排出時に下腹部を圧迫するのも一つの方法であるし、注射器か浣腸器で吸引するのが良いともいう⁹⁾。

厳密にいうならば導尿時に、何らかの手段でモニター出来れば良い。X線透視下が一番確実かも知れないが、日常的手段とは思えない。それに比べ無侵襲な超音波検査で、残尿量をうまく知ることが出来ると言われ⁶⁾、これが有効な手段になるかも知れない。しかし実際には忙しい日常の診療中にモニター出来るかどうかは甚だ疑わしい。

残尿量測定は問題点が多いが、排尿効率の目安としては依然大切な検査には違いない。

そこでこの検査は潜在的に大きな誤差を出す可能性がある事を十分に認識したうえで、注意深い操作を行

う事と、必ず複数回の結果を検討すべきである。

II. 尿流量率測定

この尿流量率測定 (uroflowmetry ; UFM) は排尿の状態を客観的に、かつ無侵襲に知る便利な方法である。しかし刻々と変化する尿流量を正しく測定するのはなかなか難しい問題であった。それで今まで数々の機器が考案された¹³⁾。けれども最近では電気、電子技術の進歩により、簡便で客観的に排尿の動的な状態を記録出来るようになってきている。

この便利な UFM にも測定法やその評価、臨床的意義などいくつかの問題点がある。

1) UFM の検査について

まず測定機器についてであるが、現在本邦で実際に多く用いられていると思われる測定機器は、(1)一定角速度で回転するディスク板上に排泄された流体の負荷により減少する回転数を、一定の回転数に維持するために必要な電気エネルギーを経時的に記録する方法か、(2)排尿重量を刻々微分して、その瞬間の尿流量率を知る、質量微分方式だと思われる。

いずれの方法もこの測定を排尿状態のスクリーニングや治療の効果判定、病状の進行判定などに単独で用いられる場合には臨床で大きな問題はない。

しかし膀胱内圧と UFM を同時測定する flow-pressure 法を施行する場合には、膀胱を出た尿が記録されるまでの時間差が問題となるが、最近ではこれらを改善して、より正確さを高める工夫が報告されている¹⁴⁾。

第二に測定時の環境が問題になる。すなわち測定時にはプライバシーが保てなければならない。羞恥心からや緊張感からまったく排尿が出来なかったり、日頃の排尿状態と違う人もいる。

第三に他の下部尿路の検査や処置によって UFM は変化する事がある。Lief ら¹⁵⁾によると28名の膀胱内圧測定後9名の最大尿流量率値が著明に低下したと報告している。しかし3時間後には測定前値に回復していた。彼らはこの原因を再三膀胱を拡張させた事によって、“acute vesical fatigue”という現象が生じたのだらうと推察している。

また Reid ら¹⁶⁾は3.5~10F の4種の尿道カテーテルの挿入前後の UFM を行なったところ、臨床的に尿路閉塞症状のない人ではその値はほとんど変化しないが、閉塞症状のある人ではその値に低下傾向を認めたという。

これらの報告を合わせ考えると、UFM の前に下部

尿路に負担をかけない方が正確な値が得られる事になる。

2) 尿流量率測定における基本的事項

どのような機種によっても基本的には釣り鐘状の曲線が得られる。

まずこの曲線から得られる基本的なパラメーターとしては、最大尿流量率(MFR)、平均尿流量率(AFR)、排尿量、排尿時間などである。さらには膀胱を壁の薄い球と仮定したうでの膀胱容量が40mlとなったときの膀胱壁の収縮速度： (dL/dT) 40といった新しいパラメーターも用いられる。

3) 男性の尿流量率について

正常の男性の尿流量率曲線のパターンは普通は釣り鐘状であるが、尿量が増加すると台形状になる。これは排尿量がおよそ250ml 以上になると、尿道の抵抗により最大尿流量率(MFR)があまり増加しないためである。しかしそれまでの尿量ではMFRは尿量(または膀胱内尿量)と共に増加する。それゆえ尿量を考慮しないでMFRの値だけを比較しても意味がない。この変化は平均尿流量率(AFR)でも同じ事である。

これらの欠点を修正するためにnomogramを用いる事がSirokyら¹⁷⁾により提唱された。これは各々の排尿量でのMFRやAFRの平均値からのずれを数量化する事により、尿量に関係ない値を知ろうという試みである。われわれも以前に本邦男性のMFRとAFRのnomogramの作成を試み、臨床的に十分利用出来る事が分かった¹⁸⁾。

これ以外に男性の (dL/dT) 40は排尿量との関係はほとんどなく、12.5~28.3mm/secの範囲にある。すなわち (dL/dT) 40が12.5mm/sec以下、もっと厳しく言うならば10mm/sec以下であれば排尿障害が強い事になる¹⁹⁾。

男性では年齢と共にMFRは低下するといわれる²⁰⁾。欧米においては年代別のnomogramも作成されている²¹⁾。木邦においても早急に検討しなければならないと考えている。

nomogram以外に尿量の影響を排除しようとする別の試みもある。すなわち150ml以下ではMFRと排尿量は比例関係にあり、両者の比が得られる。この比と排尿量が200~300mlの時のMFRの関係図を作成しておく。これからのたとえ排尿量が150ml以下でもその比を計算すれば、膀胱充満時(200~300ml)のMFRが関係図から推察出来ると言う²²⁾。

4) 女性の尿流量率について

基本的な尿流量曲線の形はやはり釣り鐘型である。しかし男性より排尿量が増加するとMFRの増加が大きく、曲線の立ち上がりは急峻になる。

女性もMFR、AFRともに尿量に影響され、その増加と共にこれらのパラメーターも大きく変化する。男性ではおよそ250mlでMFRはほぼ一定になってくるが、女性ではMFRと尿量との関係はずっと直線関係にあり、その変化も大きい²³⁾。Haylenら²¹⁾のように女性のMFRやAFRに対してもnomogramを作成し、相対値で各々の値を比較する事も出来る。しかし同一の排尿量でのばらつきが著しく、女性におけるこれらのパラメーターの解釈には限界があると考えられてきた。そこでわれわれが女性の排尿の特徴を色々検討したところ、女性の排尿では男性に比べて排尿量による排尿時間の変動が極めて小さい事が明らかになった。すなわち正常の女性では排尿時間と排尿量の間に相関が認められず、Mean±S.D.は13.4±3.09秒である。大雑把にみて尿量に関係なく正常女性では排尿時間が21秒を越える場合はほとんどないという事になる。

5) 尿流量曲線について

尿流量測定を臨床的に利用する場合に、前述のような種々のパラメーターも重要ではあるが、患者がどのような排尿状態にあるかを適確に知るには排尿パターンそのものの検討が大切である。このパターン分類も細かくすれば、多数になるが、われわれは大きく3つのtypeに分類している²⁴⁾。正常型は釣り鐘状からやや台形になる型である。閉塞型は下部尿路の器質的閉塞疾患に見られるもので、曲線は連続しているが、MFRは低値で排尿時間が延長している。腹圧型は膀胱排尿筋の収縮がなかったり、膀胱排尿筋と外尿道括約筋の協調運動不全のような排尿時に見られる。腹圧時のみ排尿があり、断続的波形を呈するものである。これらの型により、およその排尿障害の原因を推察する事が出来る。

このように尿流量率測定は前述の問題点に注意すれば、充分色々な情報が得られる検査法であると思われる。

III. 膀胱内圧測定

膀胱内圧測定(Cystometry)とは、ICSの定義によれば、膀胱の圧-容量関係を測定する方法で、排尿筋の活動性、尿意、膀胱容量、コンプライアンスを評価するために用いられる¹¹⁾。

1) 膀胱内圧測定について

膀胱内圧測定に用いる注入媒体には、滅菌水と炭酸

ガスがある。初期の膀胱内圧測定は滅菌水を用いて段階的に膀胱容量を増加させながら内圧の変化を記録するという方法であり²⁵⁾²⁶⁾、後に持続的な注入方法が多用されるようになった。1956年、Golgi²⁷⁾が空気を注入媒体として用いたが、注入方法は段階的であった。1968年、Bradley²⁸⁾が持続的な空気注入による膀胱内圧の変化を連続的に記録する方法を発表したが、1974年、空気塞栓による死亡例²⁹⁾が報告されてからは空気は炭酸ガスに置き換えられた。以後、この方法が徐々に普及し、最近の膀胱内圧測定機器は、ほとんどが炭酸ガスによる連続測定が可能なタイプになっている。

Bradley³⁰⁾は水式と炭酸ガス式の比較を詳細に検討し、炭酸ガス式には簡便さ、正確さ、時間の節約など多くの利点があると述べている。水と炭酸ガスの両者での測定結果の差異も色々検討されている^{31)~33)}。彼らによれば、8Fr以上のネラトンカテーテルを用い、炭酸ガスで300ml/分以内の注入速度であれば、カテーテルの抵抗は無視できる。また、膀胱容量とコンプライアンスは水で行なった方が大きく測定されることが指摘されている。しかし、最終的な診断は、水と炭酸ガスでは大差がないと結論されている。

以上から、今後も炭酸ガスによる膀胱内圧測定が更に一般的になっていくものと考えられる。我々も現在では膀胱内圧測定にはすべて炭酸ガスを用いている。

ここで、我々が日常感じている炭酸ガス膀胱内圧測定上の問題点をいくつか挙げてみたい。

その一つは測定回路内への水や尿の混入である。少量の水分でも回路の最低部に貯留すると、回路を容易に閉塞する。この水はその前後の圧差によって振り子運動をし、あたかも膀胱の不安定な収縮波のごとき artifact を生じる。また、測定開始前にカテーテル内に残存した尿は測定開始時の炭酸ガスの膀胱内流入を妨げ、単腔式カテーテルでは高圧値を記録したり、2腔式カテーテルでは測定路への液体の混入により、前述の振り子運動のような artifact を生ずる。そのためわれわれは回路にカテーテルより低い弛みを作らず、測定開始前にカテーテル内の尿を少量の炭酸ガスで排除してから測定を開始している。

もう一つの問題は炭酸ガス注入装置には、通常、一定圧を越えると注入が停止する安全装置がついているが、その圧を越えない範囲では強制的に注入が行なわれる事である。これは水による点滴注入法のように、膀胱内圧によって注入速度が変わることもなく、理想的な点でもあるが、膀胱尿管逆流症を有する患者や、

自律神経過反射の強い脊髄損傷患者などでは注意を要する。

炭酸ガス膀胱内圧測定の際のカテーテルの影響は既に述べたが、水による膀胱内圧測定の際のカテーテルの影響はより重要である。かつて測定開始時の水注入時の圧上昇は、初圧 (Initial Pressure) として意味のあるものと考えられていたが、その大部分が固有の回路内圧であることは既に指摘されているところである¹⁾。また点滴注入法では、注入路が圧の緩衝装置のような不都合を生ずるが、注入路と測定路を別にした2腔式カテーテルではこの問題は解決される³⁴⁾。

一方、炭酸ガスを使用する際には、この2腔式カテーテルは前述のごとく測定路への尿流入による不正確さを生じやすく、むしろ単腔式カテーテルでの測定の方が支障にならない。

最近、microtip transducer による膀胱内圧測定法の報告³⁵⁾もされている。しかし、これはまだ高価で耐用性に乏しく、また固さの点から男性では膀胱内に挿入し難いなどの欠点がある。また、外付けの transducer と異なり、膀胱内で transducer の位置が変化する場合にはその上下の位置によってかなりの圧の違いが出ることが指摘されている³⁶⁾。

2) 膀胱内圧曲線

① tonus limb について

持続注入による膀胱内圧測定では、前述の初圧の後、正常膀胱では、最大尿意までごくわずかの圧上昇を伴う平坦な曲線が続く (第2相, tonus limb)。この部分は膀胱内圧曲線の中軸をなす部分であり、生理学的にも重要だと思われる。Tang & Ruch³⁷⁾や Carpenter & Root³⁸⁾は動物実験で、中枢神経、末梢神経を含むさまざまな部位の外科的、薬理学的神経遮断の結果から、これらが tonus limb に影響を与えないことを明らかにした。さらに、Veenema³⁹⁾、Bradley⁴⁰⁾の報告のように、動物では、尿貯留がない状態を続けた後や、膀胱壁への薬物注入などによる萎縮膀胱での膀胱内圧曲線で、tonus limb の上昇が認められる。また Kondo & Susset⁴¹⁾は急速注入による膀胱内圧の解析から、膀胱壁の膠原線維が関与していると述べている。

このように膀胱内圧曲線の tonus limb が、膀胱壁自体の伸展性、主として膠原線維を含む平滑筋の粘弾性によるものであることからコンプライアンスの概念の重要性が認識される。

② コンプライアンス (compliance) について

コンプライアンスは単位圧変化あたりの膀胱容量変

化分で示されるが、この値も曲線全体で同一のものではなく⁴²⁾、また、媒体の注入速度によっても変化する⁴²⁾⁴³⁾。したがってコンプライアンスの評価には曲線のどの部位から得た値であるかという事と、注入速度の明示は不可欠である。それゆえ理想的には、標準法としての注入速度の規定が設けられても良いのではないかと考える。

薬物負荷によるコンプライアンスの変化をその判定基準にするものとして bethanechol test がある。その原法は Lapides ら⁴⁴⁾の報告にあるように、2.5mg の bethanechol chloride の皮下注射によって100ml の膀胱容量で15cmH₂O 以上の圧の上昇があれば膀胱の denervation, すなわち神経原性の障害があるとするものである。この方法は一般にも広く行なわれており、Merrill & Rotta⁴⁵⁾はガスによる測定によっても同様の結果が得られる事を報告している。

また tonus limb の異常がコンプライアンスの低下によるものか、排尿筋収縮によるものかが判然としない場合には、scopolamine-N-butylbromide 20mg 静注負荷による tonus limb の変化の有無が、両者の区別に役立つと言われている⁴⁶⁾。

③ 異常収縮について

この第2相で、排尿を意図しないにもかかわらず、抑制不能の膀胱収縮 (uninhibited contraction) が引き起こされた場合には、排尿筋の過活動が認められた事になる。ここで問題になるのは、正常人でもこのような収縮が認められる事があるかどうかという点である。神経学的には正常に見える患者での異常収縮の原因を羞恥心などの心理的要因や、カテーテルによる刺激などに求めるのは容易であるが、残念ながらこの点の十分な検討はされていない。Bagley & O'Shaughnessy⁴⁷⁾は、正常成人による検討から検査時の状況では、むしろ膀胱は抑制される傾向があると述べている。

④ 排尿命令時の膀胱収縮について

通常、最大尿意を訴えた後に、排尿命令によって膀胱の収縮が引き起こせるかどうかを検査する。これは容量—圧関係を調べるための膀胱内圧測定とは意味が異なっているが、膀胱収縮が見られれば収縮能ありと判断できるために行なわれることが多い。前述の Bagley & O'Shaughnessy⁴⁷⁾は10名の正常人に排尿時膀胱内圧測定を施行して、3名ではどのような体位でも排尿に必要な膀胱の収縮を引き起こすことが出来なかったと述べている。

排尿筋収縮がないという判断は、現時点では非常に難しいといわざるを得ないが、逆に体位の変化や心理的な負荷により容易に膀胱収縮が誘発されるような例では、それが何らかの神経学的異常を指し示していないかどうか、十分注意を払う必要がある。

排尿の際の膀胱収縮能の評価には、実際の排尿中の膀胱内圧の測定が望ましい方法である。Backman ら⁴⁸⁾、Gleason & Bottaccini⁴⁹⁾によれば外径1.55mm の尿道内のカテーテルは排尿に影響しないが、5Fr のカテーテルは尿流量率に影響を与えるといわれる。経皮的な膀胱内カテーテル挿入も行なわれている⁵⁰⁾、われわれの経験では常に確実な結果を得るにはかなりの熟練がいり、必ずしも安全とは言えず、一般的とは言い難い。

排尿時の膀胱内圧の検討は多数行なわれているが、その結果にはかなりのばらつきがある。男性では加齢により排尿中の膀胱内圧は高くなり、女性では低くなる傾向があるとも言われる⁵¹⁾。しかしこれは尿道の状態が結果の解釈に大きく影響しているのであろう。

近年、下部尿路をひとつの機能単位としてダイナミックな働きを探ろうとする傾向が高まっている。しかし、多くのパラメーターが逆に解釈を困難にする場合もあり、膀胱と尿道の二つの要素をできるだけ純粋に評価できるような方法も、今後の検討課題ではないかと考えている。

膀胱内圧測定は、排尿機能を扱う泌尿器科医にとっての reflex hammer であるといわれる。一方、膀胱内圧曲線は心電図のようにそのグラフを読むだけで理解出来るものではないとも言われる³⁶⁾。その理由は今まで述べてきたように、膀胱内圧測定がその歴史の長さ比べてその方法や解釈にさまざまな流れがある事の一つの理由であろう。

今後、膀胱内圧測定が不確かな部分の少ない検査法となるように、まだまだ努力する必要がある。

IV. 尿道内圧測定

最近では、尿道内圧測定とは、1969年に Brown & Wickham⁵²⁾によって測定方法が提唱された尿道内圧曲線 (urethral pressure profile; UPP) の測定を意味している。また一般的に UPP と言う場合は resting UPP を指し、膀胱空虚時に尿道の静的状態における圧力勾配を尿道全体にわたり測定するものである。さらに ICS¹¹⁾によると、UPP から膀胱内圧を差し引いたものを、尿道閉鎖圧曲線 (urethral closure pressure profile; UCPP) と呼んでいる。

この UPP は膀胱空虚時もしくは蓄尿期における尿道全長の圧を連続的に測定するものである。すなわち静的状態での尿道閉鎖能を検査しているので、排尿期の尿道括約筋の動的状態を反映しているものではない。そこにおのずと臨床的意義の限界も存在するが、この測定が抱える問題をいくつか考えたい。

1) UPP の測定について

この UPP 測定の条件は施設によって少しずつ異なり、いまだ統一した基準は設定されていない。それゆえ測定条件によって正常値も異なってくるため、各施設で正常値を設定する事が必要になる。すなわち測定結果を他施設と比較し難いという難問を持っている。

これを少しでも解決するために UPP の測定の際、カテーテルの種類や太さ、測定方法、測定体位、膀胱容量を、また普通のカテーテルを用いる時には圧媒体の種類、注入速度、引き抜き速度、側孔の数、位置、また、microtip transducer を用いる時には、transducer の位置、数、尿道に対する transducer の向きなどを明確にしておく事が望ましい。

Brown & Wickham 法のように普通のカテーテルを引き抜きながら測定する場合に、再現性の良い記録を得るためには、カテーテルの太さは8~12Fr、側孔の数は2~4個、注入速度は水の場合2~10ml/分、引き抜き速度は5mm/秒以下が適当と言われている⁵³⁾。体位は仰臥位で、膀胱を空虚にし、恥骨上縁の高さを基準として測定を行なう。炭酸ガスを注入して尿道内圧測定を行なう場合は、再現性のよいデータを得るためには120ml/分以上の注入速度が必要とされている⁵⁴⁾。しかしこのような急速注入では膀胱が充満してしまったり、膀胱の無抑制収縮を誘発してしまうなどのために現実的な測定法ではない。

microtip transducer はカテーテルの先端近くに transducer が装着されたもので、再現性は良好であるが、脆弱性および高価であることが難点である。しかしカテーテルが細いので、複数の transducer を装着して、膀胱内圧と尿道内圧の同時記録や尿道の複数部位の圧の経時的変化を記録したり、排尿時の尿道内圧測定などには利用出来る。またこのカテーテルを用いる際には尿道の生理的な屈曲による影響を少なくするためや尿道を形成している筋構築が前後方向で非対称のために transducer の向きは尿道の3時か9時の方向にすべきと言われている⁵⁵⁾。さらに transducer の向きによる影響をより少なくするためには microtip transducer をバルーンで覆う⁵⁶⁾、などの工夫も報告さ

れている。

2) urethral pressure variations について

測定条件による問題以外に、尿道内圧が不随意に変動する現象、すなわち urethral pressure variations が報告され、これがこの測定をより複雑なものにしている。

最大尿道閉鎖圧 (maximum urethral closure pressure; MUCP) の付近に transducer を固定して経時的に圧の変動を記録すると、かなり大きな圧の変動が見られる事がある。この変動幅が15cmH₂O を越える場合を異常とする意見⁵⁷⁾や、20cmH₂O 以上を異常とする意見⁵⁸⁾などがある。またこの変動が切迫性尿失禁などの尿道の不安定性に基づくと思われる症状と関連があると言われてきた。しかし Tapp ら⁵⁹⁾は、下部尿路症状とこの現象の有無とは関係がなく、このような変動は生理的な現象であると述べている。またこの現象に関する報告は大部分が女性患者を対象としているが、Kirkeby ら⁶⁰⁾は、健常成人男性においても認められると報告している。

このように urethral pressure variations の現象が男女に関係なく、また生理的な現象とすると、尿道内圧測定の信頼性が問題になるので、UPP の再現性についてなお慎重な検討が必要になるように思われる。またこの現象が下部尿路の各種症状と関連性を持っているか否かも今後の問題である。

3) 下部尿路閉塞性疾患の UPP について

前立腺肥大症においては FPL (functional profile length) および PPL (prostatic profile length) が延長する。また前立腺摘除術後には両者とも短縮する。しかし前立腺肥大症の診断では、その他の臨床的検査法に比べて UPP はあまり大きな役割は果たさない。また尿道狭窄の診断でも、造影検査、内視鏡以上の情報は得られない⁶¹⁾。

4) 薬物負荷の UPP に及ぼす影響について

神経切断や各種自律神経系薬剤の UPP に及ぼす影響が基礎的に検討され、尿道閉鎖機構が体性神経だけではなく、 α 交感神経系によっても制御されることが解明されている。

小柳⁶²⁾は慢性神経因性膀胱の尿道において、 α 刺激剤の投与により最大尿道閉鎖圧が上昇する現象、すなわち尿道の denervation supersensitivity 反応を報告した。この反応は交感神経の節後および節前線維が障害されている時に陽性を示すと考えられる⁶³⁾。

また α 阻害剤投与による UPP の変化の程度から、

核下型神経因性膀胱における交感神経系損傷の程度のみならず骨盤神経損傷の程度も推察出来ると考えている⁶⁴⁾。

5) 腹圧性尿失禁の診断と UPP について

腹圧性尿失禁の診断および治療効果を評価するために、UPP は有力な検査方法であると考えられた。確かにこの疾患では resting UPP において最大尿道閉鎖圧が低下し、機能的尿道長が短くなる傾向がある。しかしこれらの値にはばらつきが大きく、対照群との差が小さいため診断的価値は低いとも言われている⁶⁵⁾。

それに反し、stress UPP はこの疾患の診断に有用のようである。stress UPP とは、膀胱内に一定量の生理的食塩水 (200~300ml) を注入した状態で膀胱内圧と尿道内圧を同時に測定し、カテーテルを引き抜きながら、間欠的に咳をさせ、咳による膀胱内圧の上昇に対する尿道内圧上昇の割合 (pressure transmission ratio, PTR) をもとめる方法である。腹圧性尿失禁患者は対照群に比べ PTR が有意に低値で、90%⁶⁶⁾から 95%⁶⁷⁾が cut off line として適当といわれる。すなわち、これ以上の数値であれば腹圧性尿失禁の可能性は少ない。もちろん両群間には重なりが多く、この数値だけで確定診断されるわけではない。

また腹圧性尿失禁に対する膀胱頸部吊り上げ術の成否と PTR の値とは関係が深く、術後も尿失禁が消失しない症例では PTR も低値の場合が多く、手術が成功した症例では PTR が上昇している例が多いと言う⁶⁸⁾⁶⁹⁾。

Lose & Colstrup⁷⁰⁾、Lose⁷¹⁾は、尿道の断面積と尿道内圧と膀胱内圧を同時に測定できるカテーテルを作成し、バルーンに生理的食塩水を少量ずつ段階的に急速注入して、尿道の断面積と尿道内圧の変化の関係を尿道の各部位で測定した。その結果、腹圧性尿失禁患者では正常人に比べ尿道が尿の流入により容易に拡張しやすいことを報告している。この方法は、本邦においては原田⁷²⁾も報告しており、診断的役割だけでなく、尿失禁の病態や蓄尿のメカニズムを解明するために今後有力な手段となるかもしれない。

6) 人工尿道括約筋と UPP について

尿失禁に対し人工尿道括約筋を植え込む手術が、近年欧米を中心に普及しつつある。人工尿道括約筋の圧が高すぎると尿道壁が圧迫されて、血流不全となりびらんや壊死を起し、重大な合併症となる。逆に圧が低すぎると尿失禁は改善されないの、適正な圧を設

定する必要がある。

そこで人工尿道括約筋の圧を評価する目的に尿道内圧測定が用いられている⁷³⁾。これが尿道内圧測定の新しい利用分野になる事が期待される。

7) 排尿時の UPP について

VUPP (urethral pressure measurements during voiding) は、排尿時に膀胱内圧と同時に尿道内圧を測定する方法である。尿道内圧を測定する部位は X 線透視で位置を確認するとともに、その固定には細心の配慮が必要になる。なおこの測定には microtip transducer が用いられる。

Tanagho⁷⁴⁾や Venema & Kramer⁷⁵⁾はこの測定から正常の排尿が始まる直前に尿道内圧が低下するのが認められると述べている。

しかしこの検査では排尿が始まると同時に排尿筋収縮の圧が尿道に伝わってしまうために、排尿直前の時点までの尿道機能しか評価できない。さらにカテーテルがわずかに動いただけで大きく圧が変動してしまうことが大きな欠点である。しかし VUPP は、尿道の動的な機能の検討には無力な resting UPP の欠点を補完するものとして、今後の臨床応用が期待される。

以上から分かるように、UPP には根本的に解決しなければならない問題として、測定条件の基準を整えなければならない事は無論の事、urethral pressure variations といわれる圧の変動に対する問題を解明して、再現性などに疑問のないようにする必要がある。また resting UPP で得られる情報には限界があるが、stress UPP や各種薬物負荷による UPP の変化、VUPP などは臨床的に重要な情報を提供してくれる可能性が考えられる。

V. 外尿道括約筋筋電図

尿道括約筋機能検査としては X 線透視下の排尿時膀胱尿道造影、前述の尿道内圧測定や外尿道括約筋筋電図などがある。

排尿時膀胱尿道造影に見られる後部尿道の開大、狭小は尿道括約筋の能動的な弛緩、収縮のみならず、排尿筋の尿排出力によっても影響を受ける。尿道内圧測定は平滑筋と横紋筋成分を総合した静的状態での評価である。それらに比し、筋電図は筋肉の活動電位を記録したものであり、静的、動的状态の評価を行なうのに適した検査である。

平滑筋、横紋筋ともに理論的には活動電位の記録は可能である。しかし平滑筋筋電図の記録は臨床上はなほだ困難であり、炭素電極による記録も報告された

が⁷⁶⁾、臨床面で普及するには至っていない。したがってここで述べる筋電図は臨床上広く行なわれている筋電図と同様に、横紋筋筋電図である。

1) 筋電図の概略

脊髄前角の一個の運動神経細胞から出た運動線維は末梢で数本から数百本あるいはそれ以上に枝分かれしている。それぞれの分枝は一個の筋線維を支配している。この一個の運動神経細胞からの神経線維、およびその分枝に支配されるすべての筋線維までを運動単位 (motor unit)、あるいは神経筋単位 (neuromuscular unit) と呼ぶ。したがって一個の運動神経細胞の興奮により数個から数百個の筋線維が同時に収縮し、個々の筋線維から同時に活動電位が生じる。

筋電図には通常数種類の波形 (活動電位) が観察されるが、この中の一つの波形は一つの運動単位に含まれる筋線維群に生じた活動電位をすべて足し合わせたものであり、運動単位電位 (motor unit potential) と呼ばれる。

この運動単位電位は2～3相性で、時に多相性を呈し、持続時間は5～10msecである。振幅は筋線維と針電極との距離によって変わる。

安静時には運動単位電位を認めないが、数種の運動単位電位が低頻度で発生するのを認める程度である。筋肉の収縮を強めるに従い運動単位電位の発生頻度が高くなり、その種類も増える (動員, recruitment)。強収縮ではこれらの運動単位電位は重なり合い、個々の波形を認識出来ない干渉波を形成する。われわれが臨床の場で目にする筋電図とはこの運動単位電位を記録したものである。

2) 診断

A. 正常筋電図

正常な外尿道括約筋は蓄尿時には閉じている。このときの外尿道括約筋筋電図はわずかの運動単位電位が観察されるだけであるが、咳、怒責 (Valsalva 法)、尿道内カテーテルの移動、陰茎触診 (球海綿体筋反射)、意識的な括約筋の収縮などで筋電図の増強、すなわち運動単位電位の種類、発生頻度の増加を認める。

初発尿意とともに運動単位電位はその頻度を増し、運動単位電位の種類も増え、最大尿意付近で頻度、種類も最大となる。この時個々の運動単位電位は隣同志の電位と接触し、更には重なり合い、干渉波を呈するようになる。排尿意図とともに活動電位は消失し、排尿が終了すると、数個の運動単位電位が低頻度で観察されるが、しばらくの間全く出現しない事もある。

B. 異常筋電図

(1) 神経系に異常がない場合

神経学的に異常がなくても筋電図のパターンに異常を認める事がある。精神的抑制の強い場合や尿道炎、前立腺炎などで排尿時痛を伴う場合、蓄尿相での筋電図の強弱は正常であるにもかかわらず、排尿意図時に括約筋の弛緩が出来ない事がある⁷⁷⁾⁷⁸⁾。また肛門あるいはその周囲の炎症性疾患、下痢や腫瘍による直腸刺激状態においても括約筋の弛緩が不十分な事がある。しかし排尿中断を命じると、直ちに運動単位電位の動員が生じ、排尿を中断することが出来る⁷⁹⁾。

本来このような条件下での検査は避けるべきであり、他に神経症状を伴わない患者での外尿道括約筋弛緩不全、排尿筋括約筋協調不全 (detrusor sphincter dyssynergia; DSD) の判定は慎重に行なう必要がある。

朴らはより自然に排尿が出来、精神的負担の軽い尿流量率測定と筋電図との併用が膀胱と尿道の協調状態を観察するのに役立つと報告している⁸⁰⁾。尿道の器質的閉塞を持つ患者では排尿時に腹圧をかける事がしばしばある。このとき外尿道括約筋や骨盤底筋群の活動の増強がおこるため DSD と誤り易くなる。

このような見かけ上の DSD の鑑別には直腸内圧測定あるいは腹壁筋電図が役立つ⁸¹⁾。

また排尿時の体動、尿道内カテーテルの振動、水または尿による電極の濡れなどが筋電図上の雑音の原因となる事があるので、異常筋電図の判定に先立ち、これらの条件を確認しておくべきである。

(2) 神経系に異常がある場合

① 外尿道括約筋支配末梢神経の障害の場合

このような状態をもたらす原因として仙髄や馬尾の損傷、骨盤腔内手術による尿道周囲陰部神経の損傷があり、通常、排尿筋や尿道平滑筋を支配する骨盤神経、下腹神経も障害を受けている。このため尿道括約筋機能の低下、尿道内圧の低下とともに膀胱収縮も消失している事が多い。

外尿道括約筋を支配している陰部神経障害が完全なものであれば、球海綿体筋反射に代表される反射性収縮や随意的な収縮はなくなり、筋電図は平坦になる。

通常の骨格筋においてそれを支配する末梢運動神経が障害を受けると、筋線維の自発的な活動電位であり、脱神経筋を意味する陽性鋭波 (positive sharp wave) あるいは線維自発電位 (fibrillation potential) を観察出来る事がある。これらの活動電位は正常筋でも希に

見られる事があるため、診断価値を高めるためには針先を動かし別の筋線維で再現性のあることを確認しなければならない。

末梢神経障害が不完全であれば障害の程度により反射的、随意的な活動電位を得ることが出来る。神経再支配が生じると運動単位電位が多相性となり持続時間が延長し、電位振幅も大きくなる。したがって筋電図の基本的な手技により脱神経を診断する事が出来る。

外尿道括約筋は小さく、また深部に存在するため針先を動かして解析に必要な数の運動単位電位を集めるには熟練を要する事、排尿機能検査システム附属の筋電計では異常電位の観察は困難な場合が多い事など、外尿道括約筋の運動単位電位の解析には解決すべき問題が多いが、この方面での検討は決して少なくない。^{82)~92)}。

阿部は運動単位電位の位相数、振幅、持続時間の三要素について検討し、一般骨格筋と異なり外尿道括約筋の運動単位電位の持続時間は加齢とともに短縮する事、核、核下型神経因性膀胱では位相数、持続時間が増える傾向にある事、運動単位電位の三要素と尿流量率測定、尿道内圧測定、膀胱内圧測定の各パラメーターとの間に相関がないことを指摘した⁸⁵⁾⁸⁷⁾。この事は従来の排尿機能検査だけでは十分に病態を捉え切れず、この分野での筋電図学的検討が必要な事を示唆している。

② 外尿道括約筋支配末梢神経に障害がない場合

この状態は神経学的に正常な状態あるいは運動単位よりも中枢での障害、すなわち上位運動ニューロン、さらにその統合にかかわる大脳小脳の障害を意味する。外尿道括約筋筋電図においては運動単位電位の位相、振幅、持続時間解析では異常を認める事がなく、ここでの筋電図検査の意義は蓄尿や排尿行為に伴う外尿道括約筋活動の増強、減弱、消失といった運動単位電位の動員についての検討である。特に排尿時に括約筋が弛緩しないDSDは排尿困難を強め、残尿量の増加、高い排尿筋圧下での排尿、膀胱変形、上部尿路の拡張、膀胱尿管逆流、腎盂腎炎、腎機能低下を招くものとして臨床的な意義をもち、正確に診断する事が重要となる。

③ DSD の定義

DSDの定義は研究者により異なり、狭義と広義の二つに分けることが出来る。ICSによるとDSDは神経系障害による排尿異常において、排尿筋の収縮時に尿道括約筋を弛緩出来ない事と定義され、核下型神経因

性膀胱でみられる排尿筋の収縮を伴わない排尿行為あるいは排尿意図時に生じた外尿道括約筋の収縮や弛緩不全は含まれていない¹¹⁾。Krane & Siroky⁹³⁾は後者を横紋括約筋の非弛緩(nonrelaxation of the striated sphincter)と呼んでいる。しかし、このような外尿道括約筋の収縮や弛緩不全が低圧排尿を妨げる原因となり得るため、排尿筋の収縮の有無にかかわらず排尿時あるいは排尿意図時の外尿道括約筋収縮や弛緩不全を広義のDSDとする立場もある^{80)94)~97)}。

Andersen & Bradley⁹⁵⁾は排尿筋収縮の亢進や消失にかかわらず排尿筋の伸展、すなわち膀胱内容の増加に伴う外尿道括約筋の不随意的な収縮と定義している。ただし随意的な外尿道括約筋の収縮も出来ず、伸展足底反射(Babinsky)が陽性である事、すなわち明らかな神経学的異常がある事を条件とし、正常者が検査に対する不快感、精神的抑制により排尿反射を誘発出来ず外尿道括約筋を弛緩出来ない場合とは明らかに区別している。

広義の立場を取り、さらに排尿行為そのものと外尿道括約筋との協調を重視する研究者は、DSDの診断を膀胱内圧・筋電図同時記録よりも尿流量率・筋電図同時記録で行なう事を勧めている⁸⁰⁾⁹⁶⁾⁹⁷⁾。これは腹圧排尿においても外尿道括約筋の弛緩が可能な場合がある事⁸⁰⁾、また膀胱内圧・筋電図同時記録で協調不全であった症例の中に尿流量率・筋電図同時記録で協調と診断される症例が高率に存在する事からである⁸⁰⁾⁹⁶⁾。

④ DSD の分類

Blaivasら⁹⁸⁾は不随意的な排尿筋収縮に伴う不随意的な外尿道括約筋の収縮をDSDとし、これを三型に分類した。排尿筋の収縮とともに外尿道括約筋の活動電位が漸増し、排尿筋の収縮が最強となった時点で活動電位が急激に弱まる型をtype 1、排尿筋の収縮中を通して活動電位が間代性に増強する型をtype 2とし、排尿筋の収縮中を通して活動電位の増強が持続する型をtype 3としている。typeと損傷レベル、損傷程度との間には明確な相関を得ていないが、type 3が理論的には最も排尿障害が高度で臨床問題になるであろうと述べている。

Yallaら⁹⁹⁾はgrade 0を正常排尿、grade 1を排尿筋収縮時の外尿道括約筋収縮を認め、高い排尿筋圧下の排尿であるが尿流は正常のものとし、grade 2はBlaivasらのtype 1およびtype 2に、grade 3はBlaivasらのtype 3にはば相当している。この分類においてYallaらは脊髄完全損傷ではgrade 2, 3が多い

と述べている。

一方、安達¹⁰⁰⁾は脊髄損傷レベルが高位になればDSDの出現頻度が増す事を観察しているが、過活動型排尿筋機能ではDSDが筋電図上観察されなくても尿流が不良である事も指摘しており、この場合はDSD以外の因子により尿流が妨げられている事を示唆している。

DSDが排尿障害と同時に観察されたとしても、DSDがその原因であると診断するには他の因子がその排尿障害に関係していない事を証明する必要がある。

このDSDの診断には筋電図上の所見が最優先される傾向にあるが、DSDが排尿障害にどの程度加担しているかは、他の検査結果をも考慮して総合的に判定せざるを得ない。またDSDの分類法の臨床的意義についても症例を重ねて検討する必要がある。

⑤ DSDの成因

DSDの定義が一定していないのと同様にその成因についても定説はない^{95)101)~103)}。

外尿道括約筋と排尿筋の協調は橋排尿中枢が司っている事から¹⁰⁴⁾、狭義の立場を取るBlaivasら¹⁰¹⁾は橋排尿中枢と仙髄排尿中枢との連絡が途絶えるとDSDが生じるとし、臨床的根拠として高位脊髄損傷ほどDSDの合併率が高くなる事を挙げている。広義の立場を取る場合、排尿筋反射亢進例ではDSDは同様に説明出来るが、排尿筋反射消失例でのDSDについては説明出来ない。

Rudyら¹⁰²⁾はDSDをabnormal continence reflexとし、外尿道括約筋を中心とした反射異常としている。

信野¹⁰³⁾は神経因性膀胱患者の蓄尿相から排尿相への移行時に運動単位電位が新たに動員されているか否かについて検討し、DSDの原因の一つは膀胱尿道弛緩反射および尿道尿道弛緩反射の不全、もう一つは尿道尿道収縮反射の亢進であると推察している。

C. 筋電図自動解析

通常、個々の運動単位電位を確認出来る筋収縮は軽度から中等度の収縮までであり、それ以上の強い収縮になると、運動単位電位発射の頻度が増し、また他の運動単位が次々に動員され重なり合った干渉波を形成してしまう。膀胱内圧測定中の外尿道括約筋活動電位は初発尿意を訴える頃から速やかに干渉波に移行する。DSDとして観察される外尿道括約筋の収縮も筋電図上まさに干渉波である事がほとんどであり、個々の運動単位電位について解析出来る症例は限られ、診断には時間を要する。しかし干渉波の中にはこれら運動

単位電位の性質が反映されているはずであり、最近では振れ回数と振幅との関係を自動的に解析し、神経・筋の診断に応用する事を試みているが⁸²⁾、その臨床的価値については今後の検討を必要とする。

以上から外尿道括約筋筋電図測定に際しては、次の事柄に注意すべきであろう。

すなわち筋肉の活動電位は電極、電極の刺入あるいは貼り付け部位、増幅器の特性、フィルターのかけ方、電気信号の処理方法によって筋電図として記録される波形の形態や意味が変わってくる。筋電図を正確に読むためにはこれらの特徴を十分に把握しておく必要がある。

DSDの分類と臨床的意義についてはまだ一定の見解が得られておらず、DSDの安易な診断はこの方面での研究を混乱させるものである。

また診断にあたって忘れてならないのは活動電位の増減が必ずしも尿道閉鎖力の程度を示していない事である。外尿道括約筋機能の評価はその他の機能検査、画像診断、神経学的検査などの結果を総合して行なうべきであり、特にDSDの診断は慎重を要する。

おわりに

現在下部尿路の機能検査として汎用されている残尿量測定、尿流量率測定、膀胱内圧測定、尿道内圧測定、外尿道括約筋筋電図測定について問題点を考えた。

これらの測定法は方法論も、その意義についてもかなりの部分は確立されている。しかしまだまだ解決しなければならない問題も多数あるように思われる。これらを早く解決するのは無論の事、これらの検査がより侵襲の少ないものに改善される必要がある。すなわちソフト面はもちろんであるが、ハード面でもより有用な検査法が開発される事を願っている。

文 献

- 1) 土田正義, 塩谷 尚, 西沢 理, 山口 脩: 神経因性膀胱に対する下部尿路機能検査法. 臨泌, 31, 665—676, 1977.
- 2) Smith, D.R.: Estimation of the amount of residual urine by means of the phenolsulphonphthalein test. J. Urol., 83, 188—191, 1960.
- 3) Axelrod, D.R.: Phenolsulphonphthalein excretion for estimating residual urine. Arch. Intern. Med., 117, 74—77, 1966.
- 4) Bretland, P.M.: Relationship of bladder shadow to bladder volume on excretion urography. J. Fac. Rad., 9, 152—153, 1958.
- 5) Corby, V.A. and Heslop, R.A.: Bladder volume measurement by ultrasound. Radiography,

- 46, 187—189, 1980.
- 6) Massagli, T.L., Cardenas, D.D. and Kelly, E.W.: Experience with portable ultrasound equipment and measurement of urine volumes: Inter-user reliability and factors of patient position. *J. Urol.*, 142, 969—971, 1989.
- 7) Haylen, B.T., Frazer, M.I. and MacDonald, J. H.: Assessing the effectiveness of different urinary catheters in emptying the bladder: An application of transvaginal ultrasound. *Br. J. Urol.*, 64, 353—356, 1989.
- 8) Kalis, E., Likourinas, M., Dermentzoglou, F., Samara, B. and Goulandrakis, N.: Measurement of the volume of residual urine using ¹³¹I-hippuran and the gamma camera. *Br. J. Urol.*, 47, 567—570, 1975.
- 9) Stoller, M.L. and Millard, R.J.: The accuracy of a catheterized residual urine. *J. Urol.*, 141, 15—16, 1989.
- 10) Purkiss, S.F.: Assessment of residual urine in men following catheterisation. *Br. J. Urol.*, 66, 279—280, 1990.
- 11) Abrams, P., Blaivas, J.G., Stanton, S.L. and Andersen, J.T.: The international continence society committee on standardisation of terminology: The standardisation of terminology of lower urinary tract function. *Scand. J. Urol. Nephrol. Suppl.*, 114, 5—19, 1988.
- 12) Haylen, B.T., Frazer, M.I., Sutherst, J.R. and Ashby, D.: The accuracy of measurement of residual urine in women by urethral catheterisation. *Br. J. Urol.*, 63, 152—154, 1989.
- 13) 松田 稔, 森 義則, 高橋香司, 永田 肇, 坂口 強, 柏井浩三: DISA—尿流量計の精度検定と, 尿流量測定の問題点. *日泌尿会誌*, 64, 837—846, 1973.
- 14) Ask, P., Engberg, A., Öberg, P.Å. and Spangberg, A.: A short-time-delay urinary flowmeter. *Neurourol. Urodyn.*, 4, 247—256, 1985.
- 15) Lief, M., Khan, Z., Leiter, E. and Melman, A.: Possible errors in uroflowmetry. *Neurourol. Urodyn.*, 3, 179—183, 1984.
- 16) Reid, R.E., Chandrasekar, D., Pugach, R., Laor, E., Tolia, B.M. and Freed, S.Z.: Effect of varying size of urethral catheters upon flow and resistance measurements. *Neurourol. Urodyn.*, 5, 277—281, 1986.
- 17) Siroky, M.B., Olsson, C.A. and Kran, R.J.: The flow rate nomogram. I. Development. *J. Urol.*, 122, 665—668, 1979.
- 18) 八竹 直: 尿流量測定の臨床的意義について. *泌尿紀要*, 27, 1019—1024, 1981.
- 19) 水永光博, 宮田昌伸, 山内 薫, 佐々木正人, 中田 康信, 徳中荘平, 八竹 直: Male Uroflow Diagnostic Interpretation による正常成人男子の尿流量分析. *泌尿紀要*, 32, 361—367, 1986.
- 20) Nielsen, K.T., Bruskewitz, R.C. and Madsen, P. O.: Urodynamics of the lower urinary tract. *Urol. Res.*, 16, 271—276, 1988.
- 21) Haylen, B.T., Ashby, D., Sutherst, J.R., Frazer, M.I., and West, C.R.: Maximum and average urine flow rates in normal male and female populations—The Liverpool nomograms. *Br. J. Urol.*, 64, 30—38, 1989.
- 22) Marshall, V.R., Ryall, R.L., Austin, M.L. and Sinclair, G.R.: The use of urinary flow rates obtained from voided volumes less than 150ml in the assessment of voiding ability. *Br. J. Urol.*, 55, 28—33, 1983.
- 23) 宮田昌伸, 水永光博, 佐賀祐司, 谷口成実, 金子茂男, 八竹 直: 成人女性の排尿と尿流量解析. *日泌尿会誌*, 81, 1071—1078, 1990.
- 24) 八竹 直: 尿流量測定. *Current Therapy*, 8, 1558—1563, 1990.
- 25) Rose, D.K.: Cystometric bladder pressure determinations: Their clinical importance. *J. Urol.*, 17, 487—501, 1927.
- 26) Lewis, L.G.: A new clinical recording cystometer. *J. Urol.*, 41, 638—645, 1939.
- 27) Golgi, H.: Air cystomanometer. *J. Urol.*, 76, 296—299, 1956.
- 28) Bradley, W.E., Clarren, S., Shapiro, R. and Wolfson, J.: Air cystometry. *J. Urol.*, 100, 451—455, 1968.
- 29) Summers, J.L., Ford, M.I., Keitzer, W.A. and Wilkerson, J.E.: Fatal air embolism following air cystometrogram. *Urology*, 4, 95—96, 1974.
- 30) Bradley, W.E., Timm, G.W. and Scott, F.B.: Cystometry III. Cystometers. *Urology*, 5, 843—848, 1975.
- 31) Nordling, J., Hebjorn, S., Walter, S., Halt, T. and Christiansen, H.D.: A comparative study of water cystometry and CO₂ cystometry. *Urol. Int.*, 33, 60—67, 1978.
- 32) 南 光二, 永井信夫, 金子茂男, 井口正典, 郡健二郎, 門脇照雄, 秋山隆弘, 八竹 直, 栗田 孝: 排尿機構に関する検討. 第4報. 炭酸ガス cystometer の検討. *日泌尿会誌*, 69, 548—553, 1978.
- 33) 水尾敏之, 牛山武久, 武田裕寿, 平賀聖悟, 斉藤 博: 排尿障害に関する臨床的研究. 第1報. 炭酸ガス膀胱内圧測定と水式膀胱内圧測定との比較検討. *日泌尿会誌*, 71, 223—231, 1980.
- 34) 近藤厚生: 膀胱内圧, 腹腔内圧測定用カテーテル.

- 臨泌, 34, 55—58, 1980.
- 35) Leach, G.E., Farsaii, A. and Raz, S.: New dual-channel microtip transducer catheter for urethral pressure profile and cystometry. *Urology*, 20, 555—557, 1982.
 - 36) Blaivas, J.G.: *Neurourology and Urodynamics*, p. 156, Macmillan Publishing Co., New York, 1988.
 - 37) Tang, P.C. and Ruch, T.C.: Non-neurogenic basis of bladder tonus. *Am. J. Physiol.*, 181, 249—257, 1955.
 - 38) Carpenter, F.G. and Root, W.S.: Effect of parasympathetic denervation on feline bladder function. *Am. J. Physiol.*, 166, 686—691, 1951.
 - 39) Veenema, R.J., Carpenter, F.G. and Root, W.S.: Residual urine, important factor in interpretation of cystometrograms. Experimental study. *J. Urol.*, 68, 237—241, 1952.
 - 40) Bradley, W.E., Chou, S., Markland, C. and Swaiman, K.: Biochemical assay technique for estimation of bladder fibrosis. *Invest. Urol.*, 3, 59—64, 1965.
 - 41) Kondo, A. and Susset, J.G.: Viscoelastic properties of bladder II. Comparative studies in normal and pathologic dogs. *Invest. Urol.*, 11, 459—465, 1974.
 - 42) Coolsaet, B.: Bladder compliance and detrusor activity during the collection phase. *Neurourol. Urodyn.*, 4, 263—273, 1985.
 - 43) Klevmark, B.: Motility of the urinary bladder in cats during filling at physiological rates 1. Intravesical pressure patterns studied by a new method of cystometry. *Acta Physiol. Scand.*, 90, 565—577, 1974.
 - 44) Lapedes, J., Friend, C.R., Ajemian, E.P. and Reus, W.F.: Denervation supersensitivity as a test for neurogenic bladder. *Surg. Gynecol. Obstet.*, 114, 241—244, 1962.
 - 45) Merrill, D.C. and Rotta, J.: A clinical evaluation of detrusor denervation supersensitivity using air cystometry. *J. Urol.*, 111, 27—30, 1974.
 - 46) 杉山高秀, 江左篤宣, 朴 英哲, 金子茂男, 栗田孝: 臭化ブチルスコポラミン負荷膀胱内圧測定とその臨床的意義. *日泌尿会誌*, 78, 720—725, 1987.
 - 47) Bagley, N.A. and O'Shaughnessy, E.J.: Urodynamic evaluation of voluntary detrusor response in healthy subjects. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 66, 160—163, 1985.
 - 48) Backman, K.A., von Garrelts, B. and Sundblad, R.: Micturition in normal women. Studies of pressure and flow. *Acta Chir. Scand.*, 132, 403—412, 1966.
 - 49) Gleason, D.M. and Bottaccini, M.R.: The effect of a fine urethral pressure-measuring catheter on urinary flow in females. *Neurourol. Urodyn.*, 3, 163—171, 1984.
 - 50) Nyman, C.R. and Sjoberg, B.: Clinical experiences of direct transmural measurement of the detrusor pressure. *Scand. J. Urol. Nephrol.*, 15, 223—227, 1981.
 - 51) Torrens, M.: The physiology of the lower urinary tract, p. 293, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
 - 52) Brown, M. and Wickham, J.E.A.: The urethral pressure profile. *Br. J. Urol.*, 41, 211—217, 1969.
 - 53) 南 光二, 金子茂男, 郡健二郎, 井口正典, 門脇照雄, 秋山隆弘, 八竹 直, 栗田 孝: 排尿機構に関する検討. 第2報. The Urethral Pressure Profile その測定方法と正常値. *近大医誌*, 2, 115—122, 1977.
 - 54) Wein, A.J. and Barrett, D.M.: *Voiding Function and Dysfunction: A Logical and Practical Approach*, p. 170, Year Book Medical Publishers, Chicago, 1988.
 - 55) Anderson, R.S., Shepherd, A.M. and Fereley, R. C.L.: Microtransducer urethral pressure profile methodology: Variations caused by transducer orientation. *J. Urol.*, 130, 727—728, 1983.
 - 56) van der Kooi, J.B., Kornelis, J.A., de Jonge, M. C., van Wanroy, P.J.A. and de Pater, L.: Urethral pressure recording—An alternative: Balloon-covered microtransducer catheter detection. *Neurourol. Urodyn.*, 7, 447—455, 1988.
 - 57) Fossberg, E., Beisland, H.O. and Sander, S.: Sensory urgency in females; treatment with phenylpropanolamine. *Eur. Urol.*, 7, 157—160, 1981.
 - 58) Kulseng-Hanssen, S.: Prevalence and pattern of unstable urethral pressure in one hundred and seventy-four gynecologic patients referred for urodynamic investigation. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 146, 895—900, 1983.
 - 59) Tapp, A.J.S., Cardozo, L.D., Versi, E. and Studd, J.W.W.: The prevalence of variation of resting urethral pressure in women and its association with lower urinary tract function. *Br. J. Urol.*, 61, 314—317, 1988.
 - 60) Kirkeby, H.J., Sørensen, S. and Poulsen, E.U.: Urethral pressure variations in healthy male volunteers. *Urol. Res.*, 17, 191—195, 1989.
 - 61) Klarskov, P., Miller, I., Iversen, P. and Hansen,

- R.I.: Urethral pressure profile and retrograde urethrography in diagnosis of urethral strictures. *Urol. Int.*, 34, 161—166, 1979.
- 62) 小柳知彦: 神経因性膀胱における尿道の denervation supersensitivity 反応. *日泌尿会誌*, 69, 893—901, 1978.
- 63) 服部孝道, 安田耕作: 神経因性膀胱の診断と治療. 第2版, p. 62, 医学書院, 東京, 1990.
- 64) 金子茂男: 排尿機構にかんする検討. 第11報. 子宮頸癌根治術後の神経因性膀胱. その2. 尿道 phentolamine 試験による骨盤神経叢損傷程度の評価. *日泌尿会誌*, 75, 570—579, 1984.
- 65) Versi, E.: Discriminant analysis of urethral pressure profilometry data for the diagnosis of genuine stress incontinence. *Br. J. Obstet. Gynecol.*, 97, 251—259, 1990.
- 66) Bump, R.C., Copeland, W.E. Jr., Hurt, W.G. and Fantl, J.A.: Dynamic urethral pressure/profilometry pressure transmission ratio determinations in stress-incontinent and stress-continent subjects. *Am. J. Obstet. Gynecol.*, 159, 749—755, 1988.
- 67) Hilton, P. and Stanton, S.L.: Urethral pressure measurement by microtransducer: The results in symptom-free women and in those with genuine stress incontinence. *Br. J. Obstet. Gynecol.*, 90, 919—933, 1983.
- 68) Kujansuu, E.: Urodynamic analysis of successful and failed incontinence surgery. *Int. J. Gynecol. Obstet.*, 21, 353—360, 1983.
- 69) Bump, R.C., Fantl, J.A. and Hurt, W.G.: Dynamic urethral pressure profilometry pressure transmission ratio determinations after continence surgery: Understanding the mechanism of success, failure, and complications. *Obstet. Gynecol.*, 72, 870—874, 1988.
- 70) Lose, G. and Colstrup, H.: Mechanical properties of the urethra in healthy and stress incontinent females: Dynamic measurements in the resting urethra. *J. Urol.*, 144, 1258—1262, 1990.
- 71) Lose, G.: Impact of changes in posture and bladder filling on the mechanical properties of the urethra in healthy and stress-incontinent females. *Neurourol. Urodyn.*, 9, 459—469, 1990.
- 72) 原田 忠: Impedance 法による尿道コンプライアンスおよび尿道断面面積計測に関する研究—原理および実験的検討. *日泌尿会誌*, 76, 360—370, 1985.
- 73) Kil, P.J.M., De Vries, J.D.M., van Kerrebroeck, P.E.V.A., Zwiers, W. and Debruyne, F.M.J.: Factors determining the outcome following implantation of the AMS 800 artificial urinary sphincter. *Br. J. Urol.*, 64, 586—589, 1989.
- 74) Tanagho, E.: Membrane and microtransducer catheters: Their effectiveness for profilometry of the lower urinary tracts. *Urol. Clin. North Am.*, 6, 110—119, 1979.
- 75) Venema, P.L. and Kramer, A.E.J.L.: Continuous Urethral Pressure Measurement as an Alternative to Sphincter Electromyography. *Proceeding of the XII Annual Meeting of the International Continence Society*, p. 8—9, 1982.
- 76) 白岩康夫: 尿路機能検査法における炭素繊維の応用. *日本医事新報*, 3139, 13—18, 1984.
- 77) Blaivas, J.G., Labib, K.G., Bauer, S.B. and Retik, A.B.: A new approach to electromyography of the external urethral sphincter. *J. Urol.*, 117, 773—777, 1977.
- 78) Hutch, J.A. and Elliott, H.W.: Electromyographic study of electrical activity in the paraurethral muscles prior to and during voiding. *J. Urol.*, 99, 759—765, 1968.
- 79) Blaivas, J.G.: A Critical Appraisal of Specific Diagnostic Techniques. in *Clinical Neuro-Urology*, p. 69, Little, Brown and Company, Boston, 1979.
- 80) 朴 英哲, 金子茂男, 八竹 直, 栗田 孝: 排尿機構に関する検討. 第10報. 尿流量率, 筋電図同時測定の臨床的意義. *日泌尿会誌*, 74, 1346—1451, 1983.
- 81) Park, Y.C., Kaneko, S., Yachiku, S. and Kurita, T.: Accurate diagnosis of detrusor areflexia using combined uroflowmetry and abdominal wall electromyography. *Urology*, 26, 423—425, 1985.
- 82) Kaneko, S., Watabe, Y., Mizunaga, M., Miyata, M. and Yachiku, S.: Automatic analysis of urethral electromyography for accurate diagnosis of voiding dysfunction. *Urol. Int.*, (in press).
- 83) Eardley, I., Quinn, N.P., Fowler, C.J., Kirby, R. S., Parkhouse, H.F., Marsden, C.D. and Bannister, R.: The value of urethral sphincter electromyography in the differential diagnosis of parkinsonism. *Br. J. Urol.*, 64, 360—362, 1989.
- 84) Fanciullacci, F., Kokodoko, A., Garavaglia, P. F., Galli, M., Sandri, S. and Zanollo, A.: Comparative study of the motor unit potentials of the external urethral sphincter, anal sphincter and bulbocavernosus muscle in normal men. *Neurourol. Urodyn.*, 6, 65—69, 1987.
- 85) 阿部定則: 排尿障害患者における外尿道括約筋筋電図波形の定量分析. *日泌尿会誌*, 77, 747—759, 1986.
- 86) Kirby, R.S., Fowler, C.J., Gilpin, S.A., Gosling,

- J.A., Milroy, E.J.G. and Turner-Warwick, R.T.: Bladder muscle biopsy and urethral sphincter EMG in patients with bladder dysfunction after pelvic surgery. *J. Roy. Soc. Med.*, 79, 270—273, 1986.
- 87) Abe, S., Kawabe, K., Niiijima, T. and Simada, Y.: Electromyography of the external urethral sphincter in patients with prostatic hyperplasia. *J. Urol.*, 132, 510—512, 1984.
- 88) Fowler, C.J., Kirby, R.S., Harrison, M.J.G., Milroy, E.J.G. and Turner-Warwick, R.: Individual motor unit analysis in the diagnosis of disorders of urethral sphincter innervation. *J. Neurol. Neurosurg. Psych.*, 47, 637—641, 1984.
- 89) Kirby, R.S., Fowler, C., Gilpin, S., Holly, E., Milroy, E.J.G., Gosling, J.A., Bannister, R. and Turner-Warwick, R.: Non-obstructive detrusor failure. A urodynamic, electromyographic, neurohistochemical and autonomic study. *Br. J. Urol.*, 55, 652—659, 1983.
- 90) 有門克久: 脊髓損傷患者の尿道括約筋筋電図学的検討. *日泌尿会誌*, 73, 996—1004, 1982.
- 91) Puers, B., Vereecken, R.L., Aubert, A. and De Meirsmen, J.: Frequency Power Spectrum Analysis of Sphincter Electromyography. in *Female Incontinence*, p. 151, Alan R. Liss, Inc., New York, 1981.
- 92) Vereecken, R.L., Ketelaer, P., Joossens, J. and Leruitte, A.: Frequency analysis of the electromyographic activity in striated pelvic floor muscles. *Eur. Urol.*, 3, 333—336, 1977.
- 93) Krane, R.J. and Siroky, M.B.: Classification of Neuro-Urologic Disorders. in *Clinical Neuro-Urology*, p. 143, Little, Brown and Company, Boston, 1979.
- 94) Koyanagi, T., Arikado, K., Takamatsu, T. and Tsuji, I.: Experience with electromyography of the external urethral sphincter in spinal cord injury patients. *J. Urol.*, 127, 272—276, 1982.
- 95) Andersen, J.T. and Bradley, W.E.: The syndrome of detrusor-sphincter dyssynergia. *J. Urol.*, 116, 493—495, 1976.
- 96) Barrett, D.W. and Wein, A.J.: Flow evaluation and simultaneous external sphincter electromyography in clinical urodynamics. *J. Urol.*, 125, 538—541, 1981.
- 97) Firlit, C. and Cook, W.A.: Voiding pattern abnormalities in children. *Urology*, 10, 25—29, 1977.
- 98) Blaivas, J.G., Sinha, H.P., Zayed, A.A.H. and Labib, K.B.: Detrusor-external sphincter dyssynergia: A detailed electromyographic study. *J. Urol.*, 125, 545—548, 1981.
- 99) Yalla, S.V., Blunt, K.J., Fam, B.A., Constantino, N.L. and Gittes, R.F.: Detrusor-urethral sphincter dyssynergia. *J. Urol.*, 118, 1026—1029, 1977.
- 100) 安達雅史: 神経因性膀胱に対する臨床的観察. 第1報. 尿流動態よりみた神経因性膀胱. *岩手医誌*, 37, 631—641, 1985.
- 101) Blaivas, J.G., Sinha, H.P., Zayed, A.A.H. and Labib, K.B.: Detrusor-external sphincter dyssynergia. *J. Urol.*, 125, 542—544, 1981.
- 102) Rudy, D.C., Awad, S.A., Downie, J.W.: External sphincter dyssynergia. An abnormal continence reflex. *J. Urol.*, 140, 105—110, 1988.
- 103) 信野祐一郎: 神経因性膀胱における排尿筋外尿道括約筋協調不全の検討. 第1報. Type分類とmotor unitの解析. *日泌尿会誌*, 80, 1436—1442, 1989.
- 104) Bradley, W.E., Timm, G.W. and Scott, F.B.: Innervation of the detrusor muscle and urethra. *Urol. Clin. N. Am.*, 1, 3—27, 1974.