排尿筋の筋電図に関する研究

—膀胱内圧曲線と筋電図の同時記録による検討—

	高	岩	正	至
	深	谷	保	男
福島県立医科大学	野	口	雅	継
(主任: 白岩康夫教授)	伊	東	賢	二
	小	林	正	人
	白	岩	康	夫

A STUDY OF VESICAL ELECTROMYOGRAM USING CARBON FIBER ELECTRODES

—The Correlation Between the Vesical Electromyogram and Cystometrogram—

Masashi Takaiwa, Yasuo Fukaya, Akitsugu Noguchi, Kenji Ito,

Masato Kobayashi and Yasuo Shiraiwa

Department of Urology, Fukushima Medical College, Fukushima, Japan

(Director: Prof. Y. Shiraiwa)

The authors, as previously reported, improved the Nélaton catheter with a pair of carbon fiber electrodes, and made Foley catheters using a pair of carbon fiber electrodes which are less painful and more easily usable. Using these special catheters, one hundred recordings of vesical electromyogram (EMG) combined with cystometry were performed on 91 subjects. The method and the result of this study are summarized as follows:

1. Each CMG thus recorded, was divided into 7 phases, to examine the change of the vesical electromyographic amplitude which corresponded to the course of CMG. Then the size of the vesical electromyographic amplitude of every phase of the CMG was measured and recorded as digital data.
2. Both the digital data of the vesical electromyographic amplitude and the value of the intravesical pressure in each of the 7 phases of every CMG were put into a microcomputer system by keyboard, and all data was kept on a minifloppy disk.
3. Using the microcomputer system, the recordings of the vesical electromyogram were divided into 2 (normal and abnormal) or 3 (normal, abnormal and intermediate) groups, according to the following: (a) high (over 25 cmH₂O) or low (under 9 cmH₂O) of the intravesical pressure at cough, (b) high (over 25 cmH₂O) or low (under 9 cmH₂O) of the compliance of the vesical wall, (c) presence of involuntary voiding as the result of the CMG.
4. Histograms of the logarhythmic values of the vesical electromyographic amplitudes for every normal and abnormal group divided according to the above (a), (b), (c) were drawn up. The histograms looked similar to the regular distribution curves.
5. The significant difference tests (t-test) of the logarhythmic value of the vesical electromyographic amplitudes between the normal and abnormal groups for all 7 phases of the CMG, were performed.
6. The result of 5. was that significant differences between two groups were recognized on phases 3, 4, 5 of CMG in (a), on phase 6 of CMG in (b) and on phases 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 of CMG in (c).
7. The significant differences referred to in 6. almost always showed that the logarhythmic value of the vesical electromyographic amplitudes of the normal groups were significantly larger than those of the abnormal groups. Only at phase 5 of CMG in (a) and at phase 4 of CMG in (c), the logarhythmic value of the vesical electromyographic amplitudes of normal groups were significantly smaller than those of

the abnormal groups.

In conclusion, our method of measuring and analyzing the detrusor EMG seems to reflect well the physiopathology both of the spinal and peripheral nervous system in relation to vesical activity and the vesical muscle. The clinical significance of the detrusor EMG method is high, because it is considered to be a useful method of urodynamics study, to be used widely in this clinical field.

要旨：先に報告した排尿筋筋電図測定のための炭素繊維電極付 Nélaton catheter に改良を加え、より無侵襲的で操作の簡単な炭素繊維電極付 Foley catheter を試作した。これを用いて91人の被験者に対し延べ100回の排尿筋筋電図と膀胱内圧の同時測定を施行した。得られた排尿筋筋電図と膀胱内圧曲線の時間経過との関連性を検索する目的にて、膀胱内圧曲線を7つの相に分けた。そして各相における排尿筋筋電図の振幅を決定した。次に、膀胱内圧曲線の、(a) 努責時の膀胱内圧の上昇程度、(b) 膀胱壁 compliance の大小、(c) 不随意排尿の有無、に基づき個々の対象を正常群と異常群の2群に、又は正常群、異常群と中間群の3群にグループ分けした。そして(a) (b) (c) それぞれの正常群と異常群の2群間において、膀胱内圧曲線の各相別に排尿筋筋電図の振幅値の対数変換値について有意差検定 (t 検定) を行った。その結果、(a) では3, 4, 5相において、(b) では6相において、(c) では1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 全相において、両群の間に有意差を認めた。これらの有意差は、ほとんどの場合では正常群が異常群に比べ有意に大として認められたが、(a) の5相と(c) の4相では逆に正常群が異常群に比べ有意に小として認められた。

以上の結果から、筆者らの排尿筋筋電図測定法とその分析法は、膀胱に関連する脊髄並びに末梢神経、あるいは排尿筋の病態を忠実に反映していると思われた。

I. はじめに

筆者らは先に、炭素繊維電極付使い捨て Nélaton catheter によって、臨床的に排尿筋筋電図の測定が可能であることを報告した¹⁾²⁾。今回はこの炭素繊維電極に改良を加え、さらに電極を支持するための Nélaton catheter を Foley catheter に変え、92名の被検者に対し、延べ100回にわたり排尿筋筋電図と膀胱内圧曲線の同時記録を行った。得られた data について膀胱内圧曲線の各相と対比しながら、統計学的検討を加えた結果、興味ある知見を得たので若干の考察を加えて報告する。

II. 材料と方法

電極としては、先の報告^{1)~8)}同様の炭素繊維電極を用いたが、今回はさらに電極部をナイロン製網で被覆することにより、炭素繊維が粘膜に付着することによって少しずつすり減るのを防いだ。また、従来の電極の場合周囲に露出して尿道の異和感の原因となっていた熱収縮チューブがナイロン製網の中に埋没されるようになった(図1)。さらに電極2個を支持する catheter として balloon から先端までの距離が50~70 mm の18号 Foley catheter を用いることにより、測定中はもとより体位変換時や体動時にカテーテルが尿道外へ脱出するのを防止するとともに、catheter 先端に10mm 間隔で設置した2個の炭素繊維が、膀胱容積の

図1 炭素繊維電極付 Foley catheter

上：カテーテルの全体像(電極部の側面像)、下：カテーテル先端の拡大像(電極部の正面像)。

大小にかかわらず、常に膀胱粘膜に密着している状態を保つようにした(図2)。電極付 Foley catheter は感染のある症例では使い捨てとしたが、感染のない症例では ethylen oxide gas 消毒によって複数回使用した。筋電図記録計として、三栄測器の Biophysigraph System と6 channel recorder を測定周波数帯域5Hz~1,000Hz によって使用した。gas cystometry 装置として DISA 21E01 cystometer unit と21 E02 CO₂

図2 炭素繊維電極付 Foley catheter の使用中の模式図。

炭素繊維電極は膀胱空虚時(左)にも、膀胱充満時(右)にも常に膀胱粘膜に密着している。

pump を用いた。

対象患者は17歳から87歳までの91名(男子75名, 女子16名)で、平均年齢は51.2歳であった。これらの症例に対し、骨盤腔内手術前後に施行したものを含め延べ100回の検査を行った。疾患別にみると、脳膀胱8例、脊髄膀胱(核上型)7例、脊髄膀胱(核型)11例、前立腺肥大症20例、骨盤腔内手術後(直腸癌根治手術、子宮癌根治手術、他)19例、尿路結石5例、その他21例であり、膀胱機能に異常のないものも含んでいる。通常の cystometry 操作に準じてガス注入を施行しながら持続的に排尿筋筋電図を同時に記録した。cystometry 施行中、最小尿意後に怒責を命じ、また最大尿意時にガス注入を停止し膀胱内圧がやや低下し、安定するのを待って、被検者に排尿を命じた。さらに、排尿反射を確認後、排尿停止を命じ、次に catheter 端を開放し排ガスを行なった。得られた各種泌尿器科疾患患者に施行した延べ100回の排尿筋筋電図記録を膀胱内圧測定の間経過に従って検討するために膀胱内圧曲線を7つの相に分けた(図3)。すなわち、第1相: ガス注入前、第2相: 注入直後、第3相: 注入中程度、第4相: 充満時、第5相: 排尿反射時、第6相: 排尿反射直後、第7相: 排ガス後、である。次に第1から第7の各相において排尿筋筋電図の spike を大きい方から順に5個選び、これら5個の spike の振幅を測定しそれらの平均振幅を各相における排尿筋筋電図の振幅とした(図3横点線)。

排尿筋筋電図と膀胱内圧曲線の関連性を検索する目的にて図4に示す通りのファイルを被検者1人に付1枚作製し、それを microcomputer system (NEC PC 8000 system) に入力し minifloppy disk に data base として記録した。次に下記の手順に従って逐次 data の

図3 膀胱内圧曲線の7つの相と排尿筋筋電図の振幅
膀胱内圧曲線を(1)~(7)相に分け、各相における排尿筋筋電図の振幅(横点線)を測定した。

図4 排尿筋筋電図、膀胱内圧曲線、並びに尿道筋電図に関する被検者ごとのファイル

1人の被検者につき22の項目のローマ字又は整数を micro computer system に keyboard を介し入力した。

(1) name= (2) UDS number= (3) age= years old
 (4) sex= 1 (1: male, 2: female)
 (5) diagnosis=
 (1: brain disorder 2: spinal cord disorder (supra nuclear)
 3: spinal cord disorder (nuclear or infra nuclear)
 4: prostatic hypertrophy 5 after intrapelvic surgery
 6: urinary lithiasis 7: others)

EVALUATION OF BEWG
 (1) before infusion= (2) after infusion=
 (3) middle capacity= (4) before full (or full) capacity=
 (5) voiding= (6) after voiding=
 (7) middle drainage= (8) end of drainage= (micro volt)

EVALUATION OF CMG
 first sensation pattern=
 1: apparent desire to void
 2: dull abdominal distended feeling
 3: no sensation of the bladder

VOLUME
 (1) first sensation= (ml) (2) full capacity= (ml)

PRESSURE
 (1) just after infusion= (cm of water)
 (2) at full capacity (during infusion)= (cm of water)
 (3) at cough pressure= (cm of water)
 (4) at full capacity (when infusion is stopped)= (cm of water)
 (5) at voiding MAX= (cm of water)
 voiding pattern=
 (1 = voluntarily voiding, 2 = involuntarily voiding)

EVALUATION OF UDSG
 DSD pattern=
 (1: completely DSD 2: almost DSD 3: impossible to distinguish
 4: almost normal 5: completely normal)

解析を行った。すなわち膀胱内圧測定における、(A) 怒責時の膀胱内圧の上昇程度、(B) 膀胱壁 compliance の大小、(C) 不随意排尿の有無、に基づき患者をそれぞれ2群に分けた。この中で(A)により被検者を2群に分ける場合、(+)とも(-)とも判定しにくい中間型(±)のものはそれぞれの集計から除外した。(A)あるいは(B)による有意差検定においては、あらかじめ得られた膀胱内圧の値を1cmH₂O ずつの幅で段階的にグループ分けしその中に何人の被検者があてはまるかを調べた histogram を作製した上で、なるべく明らかな差が得られるよう、しかも検定の対象が極端に少なくならないよう考慮して、どちらの有意差検定の

場合も9cmH₂O未満と25cmH₂O以上の2つの群を対象とした。さらに、(B)をみる場合、膀胱内圧曲線第4相のうち膀胱内ガス注入停止後しばらくたち膀胱内

図5 A 努責時における膀胱内圧の上昇程度による有意差検定

排尿筋筋電図は膀胱内圧曲線の(3)(4)相において正常群が異常群に比べ有意に大、(5)相において有意に小(共に危険率5%)であった。

図5 B 膀胱壁コンプライアンスの大小による有意差検定

排尿筋筋電図は膀胱内圧曲線の(6)相において正常群が異常群に比べ有意に大(危険率1%)であった。

圧が低下し一定の値を示した際のものを用いたが、これとは別に参考のために膀胱内圧曲線第4相のうち膀胱内ガス注入停止前の膀胱内圧の値が9cmH₂O未満と25cmH₂O以上の2つの群をも対象とした。

次に各群における排尿筋筋電図振幅を対数変換し、排尿筋筋電図振幅の対数変換値のhistogramを作製しそれが正規分布にほぼ近い型をとることを確認した。その後(A)(B)(C)それぞれにおける群間の排尿筋筋電図振幅の対数変換値の有意差検定を行なった。有意差検定は膀胱内圧曲線の第1~7各相について順に7回施行するようプログラムを作製した。

III. 結果

A. 努責時における膀胱内圧の上昇程度による有意差検定

延べ100名の被検者中、正常群(努責時内圧9cmH₂O未満)45名、異常群(努責時内圧25cmH₂O以上)7名、計52名において検討した結果、筋電図振幅の対数変換値は膀胱内圧曲線の第3, 4相において正常群の方が異常群に比べ5%の危険率で有意に大であり、第5相において小であった(図5 A)。

B. 膀胱壁コンプライアンスの大小による有意差検定

延べ100名の被検者中、正常群(充滿時内圧9cmH₂O未満)42名、異常群(充滿時内圧25cmH₂O以上)34名

図5 C 不随意排尿の有無による有意差検定

排尿筋筋電図は膀胱内圧曲線の(1)(2)(3)(5)(6)(7)相において正常群が異常群に比べ有意に大、(4)相において有意に小であった(共に危険率は1%)。

計76名において検討した結果、膀胱内圧曲線の第6相において両者の間に1%の危険率で有意差を認め正常群の方が異常群に比べて排尿筋筋電図振幅の対数変換値は大であった(図5 B)。また膀胱内圧曲線第4相の膀胱内ガス注入停止前の膀胱内圧の値を用いて行った有意差検定の結果は、膀胱内圧曲線の全相にわたり有意差を認めなかった。

C. 不随意排尿の有無による有意差検定

延べ100名の被検者中、正常群(随意排尿)79名、異常群(不随意排尿)21名計100名において検討した結果、膀胱内圧曲線の全相において両者の間に1%の危険率で有意差を認め正常群の方が第1, 2, 3, 4, 5, 6, 7相において排尿筋筋電図振幅の対数変換値は大、第4相において小であった(図5 C)。

IV. 考 察

今回使用した炭素繊維電極付Foley catheterにおいて炭素繊維をナイロンの網で包んだ電極部は使用中それが尿道、膀胱壁に接触しても炭素繊維が脱落しにくい従来からの電極より強度の高いものとなった。そのため数回にわたり反復使用する事も可能である。しかし使用回数が増すにつれて炭素繊維やナイロン製網の間に剝離した上皮やフィブリンがたまり、それが電極雑音の発生原因となるため、さらに衛生上の理由から反復使用はあまり好ましくないとされる。今回使用した炭素繊維電極付Foley catheterは経尿道的に膀胱内に挿入しバルーンをふくらまし、バルーンを膀胱頸部に固定する事により膀胱内圧測定中の膀胱容積の変化や被検者の体位変換のためにおこる電極のずれを防止出来た。しかしながら電極部が膀胱後壁に接触するように後方に向けて膀胱内に挿入したにもかかわらず、挿入中または測定中にFoley catheterの先端部が回転してしまい電極部が膀胱壁から離れて排尿筋筋電図が測定困難となることも全くなかったわけではない。その際には、Foley catheterを抜去後再挿入して電極部を膀胱後壁に接触するようにやり直した。

筆者らは排尿筋筋電図に関して得られた延べ100例の臨床dataから何らかの臨床的意義を見出すために、最も単純でしかも際立った変化を示した筋電図の振幅に着目した。そして、排尿筋筋電図の振幅が膀胱内圧測定中膀胱容積の変化や排尿運動等により種々に変化し、しかもこの変化様式が被検者によりまちまちである事に注目し膀胱内圧曲線を注入開始から排尿終了までの時間的経過に従い7相に分割し、各相における排尿筋筋電図の振幅について検討した(図3中(1)

(2)(3)(4)(5)(6)(7))。図3は不随意排尿例と思われる膀胱内圧曲線ならびに排尿筋筋電図の測定例を示している。ただし図3中(1)の膀胱内圧曲線はガス注入直後のものであり、通常実際に(1)の排尿筋筋電図振幅を測定する部分はこの図に収容しきれなかったもう少し前の時点のものである。また図3中(7)の膀胱内圧曲線は排ガス前の状態のものであるが、通常実際に(7)の排尿筋筋電図振幅を測定する部分はこの図に収容しきれなかったもう少し後の時点のものである。

排尿筋筋電図と膀胱内圧曲線との関連性について検討した結果は、膀胱内圧曲線によって検出された膀胱の病態により、排尿筋筋電図の出現傾向が変化することを示している。図5 A, B, Cにおけるそれぞれの矢印はそれぞれ、(a) 怒責時内圧の上昇程度、(b) コンプライアンスの大小、(c) 不随意排尿の有無、をチェックする膀胱内圧曲線上の部位を示しているが、A, B, Cの順で矢印が膀胱内圧曲線の時間軸の左方から右方へ移るのに従い排尿筋筋電図振幅の対数変換値上有意差の認められている相がやはり時間軸の左方から右方へ移動している。特にA, Bは、膀胱容積が大となるに従い互いに重複しながらも排尿筋筋電図振幅の対数変換値において有意差が認められる部位は正確に左方から右方へ移動している。この事は、本研究における排尿筋筋電図が蓄尿期における排尿筋の活動状態をある程度忠実に反映する事を示す1つの根拠であると思われる。また、A, B, C全体を通してAの第5相とCの第4相を例外として通常は上段の正常群の方が下段の異常群に比べて、排尿筋筋電図振幅の対数変換値が有意に大であるといえる。これは知覚神経と運動神経の一方のみが選択的に障害されている場合は別として、通常の神経因性膀胱に認められるような知覚、運動両神経の障害が混在している場合においては、両神経の障害は膀胱の静止時における筋の興奮性を低下させていると考えることによって説明できそうである。これに反してAの不安定膀胱やCの不随意排尿は、排尿中枢よりもさらに上位の脊髄または脳が障害されたために起こるものである。従って排尿中枢が一時的に無抑制の過興奮状態となり、次いで排尿筋筋電図にもその影響が出現し、筋電図振幅が正常群に比べて大となる場合もあり得ると考えられよう。Aの第5相において異常群の方が正常群に比べ排尿筋筋電図振幅の対数変換値が有意に大であることは不安定膀胱における尿意とは無関係な膀胱収縮の際には、排尿筋の興奮性もかな

り高まっているという考え方によって説明が可能である。またCの第4相においても異常群の方が正常群に比べ排尿筋筋電図振幅の対数変換値が有意に大であることは、不随意排尿において膀胱容積が最大容量近くになって急激に尿意をもよおすと同時に排尿反射がこれに伴って2次的に起こるという考え方によって説明が可能であると思われる。Aにおける膀胱の無抑制収縮は尿意と関係なく起こる膀胱の収縮であり、一方、Cにおける不随意排尿はむしろ急激に尿意をもよおすことにより起こる、2次的な反射であるという違いが有意差をもって排尿筋筋電図振幅の対数変換値が大となる部分がAでは第5相の排尿反射時であり、Cでは第4相の膀胱内充満時であるという違いをもたらしと考えることができる。そしてこれもまた、本研究における排尿筋筋電図が排尿筋の活動状態をある程度忠実に反映していることを示している1つの根拠であると考え。膀胱壁コンプライアンスの大小による有意差検定において、膀胱内圧曲線第4相の膀胱内圧の値のうち、膀胱内ガス注入停止前の値を用いた検定(9 cmH₂O未満と25cmH₂O以上の2群間)においては膀胱内圧曲線の全相にわたり有意差を認めなかったのに比べ、膀胱内ガス注入停止後に膀胱内圧が低下し一定の値を示した際のものを用いた検定(9cmH₂O未満と25cmH₂O以上の2群間)においては膀胱内圧曲線の第6相に有意差が認められたことは、ガス圧が加わった膀胱内圧より導き出した膀胱壁コンプライアンスではない、真の膀胱壁コンプライアンスこそ膀胱筋電図の出現傾向が変化するための因子となり得ることを示すものであると考える。

結 語

1. 先に報告した排尿筋筋電図測定のための炭素繊維電極付 Nélaton catheter に改良を加え、より無侵襲的で操作の簡単な炭素繊維電極付 Foley catheter を試作し、91人の被検者に対し延べ100回の排尿筋筋電図と膀胱内圧の同時測定を施行した。

2. 得られた排尿筋筋電図を膀胱内圧曲線の時間経過に従って追求する目的にて、膀胱内圧曲線を7つの相に分けた。そして各相における排尿筋筋電図の振幅を決定した。

3. 膀胱内圧曲線の各相における排尿筋筋電図の振幅値と膀胱内圧曲線上の各数値を、micro computer system の key board より入力し、miniflopy disk に記録した。

4. 膀胱内圧測定、(a) 怒責時の膀胱内圧の上昇

程度、(b) 膀胱壁 compliance の大小、(c) 不随意排尿の有無に基づき、個々の対象を正常群と異常群の2群に又は正常群、異常群と中間群の3群にグループ分けした。

5. 4の(a)(b)(c)それぞれの正常群と異常群の両方について、排尿筋筋電図の振幅値の対数変換値の histogram を作製した。その結果、排尿筋筋電図の振幅値の対数変換値が正規分布に近い形で分散していることを確認した。

6. 4の(a)(b)(c)それぞれの正常群と異常群の2群間において、膀胱内圧曲線の各相別に、排尿筋筋電図の振幅値の対数変換値について有意差検定(t検定)を行った。

7. 6の結果、(a)では3, 4, 5相において、(b)では6相において、(c)では1, 2, 3, 4, 5, 6, 7全相において、両群の間に有意差を認めた。

8. 7の有意差は、ほとんどの場合では正常群が異常群に比べ有意に大として認められたが、(a)の5相と(c)の4相では逆に正常群が異常群に比べ有意に小として認められた。

9. 以上の結果から、筆者らの排尿筋筋電図測定法とその分析法は、膀胱に関連する脊髄並びに末梢神経、あるいは排尿筋の病態を忠実に反映していると思われる。従ってこれらの方法は、尿路機能検査法の一翼を担うものとしてその臨床的意義が高く、今後広く応用し得るものと考えられる。

本論文の要旨は第71回日本泌尿器科学会総会において発表した。また本研究の一部は文部省科学研究費補助金、試験研究 課題番号587091によった。謹んで謝意を表する。

文 献

- 1) Takaiwa, M., Shiraiwa, Y., Katahira, K. and Tsukahara, S.: A new urinary bladder electromyogram technique. Urol. Int., 38, 1-4, 1983.
- 2) 高岩正至: 膀胱筋電図の立場からみた sub-clinical neurogenic bladder. Modern Medicine, Life Science.
- 3) 片平清昭, 他: 炭素繊維を用いた電極と圧センサー. 医用電子と生体工学, 17(特別号), 582-583, 1979.
- 4) Shigemitsu, T., et al.: Electrical properties of the carbon fiber electrode and its application. Med. Biol. Eng. Comput., 18, 359-362, 1979.
- 5) 白岩康夫, 高岩正至, 他: 炭素繊維を用いた尿道筋電図用電極と圧センサー. 臨泌, 34, 1159-1163, 1980.
- 6) Takaiwa, M., Shiraiwa, Y., Katahira, K. and

- Tsukahara, S.: Carbon fiber used as urethral electromyographic electrodes and a urethral sensor. *Female Incontinence*. 179—197, Alan R. Liss, Inc., New York, 1981.
- 7) 高岩正至：排尿筋の筋電図に関する研究。炭素繊維電極による表面誘導について一。福島医学雑誌, 33, 33—47, 1983.
- 8) 高岩正至, 石渡久善, 小林正人, 白岩康夫：炭素繊維電極を用いた膀胱筋電図の実験的研究。西日泌尿, 45(3), 487—492, 1983.
- (1983年10月9日受付)
-