ヒト外尿道括約筋筋電図の定量解析 Automatic Decomposition Electromyography を用いた自動解析

近畿大学医学部泌尿器科学教室 (主任 栗田 孝教授)

江左 篤宣 大西 規夫 際本 宏
杉山 高秀 朴 英哲 栗田 孝

QUANTITATIVE ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF THE EXTERNAL URETHRAL SPHINCTER USING AUTOMATIC DECOMPOSITION ELECTROMYOGRAPHY ON NORMAL SUBJECTS

Atsunobu Esa, Norio Oonishi, Hiro Kiwamoto, Takahide Sugiyama,
Young-Chol Park and Takashi Kurita

Department of Urology, Kinki University School of Medicine
(Director: Prof. T. Kurita)

Motor unit action potentials (MUPs) of the external urethral sphincter muscle during cystometry were analysed on six normal males. Electrodes were of concentric needle type having the exposed tip surface of 0.07 mm^2 , and the potential changes were analysed by automatic decomposition electromyography (ADEMG), for isolation and characterization of unit discharges. Number of analysed units was as follows: Two at rest, 4 at first desire to void, and 6 at maximum desire to void. Number of the recorded units and the firing rate were increased along with the degree of bladder filling. Average MUP figures as follows: Amplitude of $206 \mu\text{V}$, 8.3 msec. duration, and 5.4 Hz firing rate at rest; $246 \mu\text{V}$, 9.7 msec and 7.3 Hz at first desire to void; $277 \mu\text{V}$, 9.7 msec and 7.2 Hz at maximum desire to void, respectively. It is concluded that external urethral sphincter maintains its urinary continence by excitation of the neuromuscular units, and by the increase in the firing rate of individual MUP during bladder filling.

Key words: external urethral sphincter, quantitative electromyography, cystometry

要旨: 健常者 (volunteer) 6 例を対象に, 膀胱内圧測定を用いた膀胱の充満における外尿道括約筋筋電図の変化を Automatic decomposition electromyography (ADEMG) を用いて定量解析した。膀胱内圧測定は媒体として炭酸ガス (100ml/min) を使用し, 筋電図針は同芯針電極 (0.07mm^2) を使用した。放電する運動単位活動電位 (MUP) は膀胱空虚時から出現し, 膀胱の充満に伴ってその数と個々の MUP の発射頻度は有意に増加した。MUP の振幅, 持続時間, 発射頻度の平均値は膀胱空虚時, 初発尿意時, 最大尿意時でそれぞれ $206\mu\text{V}$, 8.3msec, 5.4Hz, $246\mu\text{V}$, 9.7msec, 7.3Hz, $277\mu\text{V}$, 9.7msec, 7.2Hz であった。外尿道括約筋による尿の禁制は神経筋単位の興奮により保持され, 参加する MUP の増加と個々の MUP の発射頻度の増加に基いていた。また ADEMG は迅速な筋電図定量解析が可能であり, 今後外尿道括約筋筋電図法の一手段になると考えられた。

キーワード: 外尿道括約筋, 筋電図, 膀胱内圧測定

緒 言

排尿の動態機能を検討するうえで, 外尿道括約筋の筋電図検査は欠くことのできない検査法の一つであ

る。しかしその多くは膀胱内圧測定や尿流量測定と同時に記録されるものであり, 電位の検討と排尿筋との協調状態を観察しているにすぎない。筋電図本来の意

味にもどれば筋電図は神経筋単位（Neuromuscular unit 以下 NMU）の活動電位（Motor unit action potential 以下 MUP）によって構成されるもので、NMU の各レベルの病変により、それぞれ対応する所見が得られる。これらの変化を客観的に、迅速に解析することができれば、筋電図検査はさらに臨床診断上 有用になると考えられる。従来、MUP の解析は写真 フィルム上で手動操作により、パラメーターを定量的 に計測されてきたが、この方法は時間を要するだけで なく、検査者の主観的判断が入ることが多いとされて きた¹⁾。近年、これらの欠点を補うため、コンピュー ターにより筋電図波形をデジタル化し、解析する試み が盛んになってきた。今回、健常者を対象に膀胱内圧 測定時における外尿道括約筋筋電図を、Nicolet 社の Automatic decomposition electromyography (ADEMG)を用いて定量解析し、膀胱充満にともなう MUP の数、振幅、持続時間、発射頻度の変化を検討し た。

対象および方法

排尿障害を有さない健常男子（volunteer）6 例（上 部尿路結石症 4 例、膀胱腫瘍 1 例、包茎 1 例）を対象 とし、患者の同意を得たうえで検査を行った。年齢は 19歳～55歳、平均33.3歳であった。被験者を碎石位と し、筋電図針を直腸内示指誘導下に会陰部正中約1cm 外側から前立腺尖部に向け刺入した。刺入部位は筋電 計のスピーカーからの特有の音で確認した。次いで被

験者を仰臥位とし8Fr 4 孔式カテーテルを経尿道的に 膀胱へ挿入した。この際筋電図針のずれが生じた場合、 再度刺入部位を補正した。膀胱内圧は直腸内圧と同時 に測定し、媒体としては炭酸ガスを用いた。

膀胱空虚時の安静状態（REST）で外尿道括約筋筋電 図の活動を10秒間導出し、その間に出現する MUP の パラメーター（数・振幅 AMP・持続時間 DUR・発射 頻度 FR）を測定した。

次いで膀胱内に炭酸ガスを100ml/min の速度で注 入し、注入開始から初発尿意出現までの間、初発尿意 出現時(FDV)、初発尿意出現時から最大尿意出現まで の間、最大尿意出現時（MDV）、最大尿意出現後、排 尿反射出現時に同様に各々外尿道括約筋筋電図の活動 を10秒間導出し、その間に出現する MUP のパラメー ターの測定結果を経時的に比較した。筋電図針は同芯 針電極（0.07mm² record area, 40mm long, 0.5mm diameter)を用いた。筋電計は Nicolet 社製 Viking 筋 電計を用い、雑音は high-pass filter 10Hz, low-pass filter 5kHz でカットした。振幅はピークからピークま でを測定し、100μV 以下のものは削除した。持続時間 の計測にあたっては感度を100μV/div, 速度を5msec/ cm に設定し、基線より最初のフレから基線への最終 的復帰までの時間を測定した²⁾。位相数が 4 種以上の ものを多相性電位とした。有意差検定は t 検定を用い た。

Fig. 1 ADEMG analysis on an external urethral sphincter at the maximum desire to void recorded on a 21-old-year man. Detailed explanations see the text.

結 果

膀胱内圧測定の結果は正常型で排尿反射を認め、筋電図上排尿筋括約筋協調不全は認めなかった。膀胱内圧測定時の各時期で導出された MUP は筋電計のブラウン管上に Fig. 1 のように表示される。

1. 膀胱内圧測定における MUP の出現とその変化
代表例として55歳膀胱腫瘍の症例を提示する。膀胱内圧測定の結果 (Fig. 2) と各時期で記録した MUP を経時的に示した (Fig. 3)。

本症例の場合、安静時には MUP が同定されなかったが、膀胱注入量の増加に伴い、MUP の出現数が増加し、一度出現した MUP は最大尿意出現後まで持続的に出現した。膀胱内圧測定中各時期で測定した各々の MUP の振幅・持続時間・発射頻度の変化を示した (Fig. 4)。振幅は MUP によって増加するものもあれば低下するものもありばらつきがみられた。

持続時間はいずれの時期においても比較的安定した

測定結果を示した。発射頻度はいずれの MUP も膀胱内注入量の増加に伴い増加した。

健常者 6 例の膀胱内圧測定中における MUP 数の変化を Fig. 5 に示した。安静時に解析した 6 例において MUP が認められたのは 5 例で、2 例は 1 種類、1 例は 3 種類、1 例は 4 種類の MUP が出現した。全例膀胱内注入量の増加に伴い MUP の出現数は増加し、初発尿意出現時に比べて最大尿意出現時において解析できた MUP は増加していた (1 例は安静時のみの解析であった)。これらの MUP は排尿反射出現時には全て消失した。

2. MUP のパラメーターの変化

各症例の膀胱内圧測定各時期で出現した MUP の振幅、発射頻度の動きを Fig. 6, 7 に示した。振幅の平均値は最大尿意出現時までにはほとんど増加も低下も認めなかったが、最大尿意時以降に増加する傾向にあった。発射頻度の平均値は膀胱内注入量の増加に伴い増加す

Fig. 2 An ADEMG record of external urethral sphincter and of cystometry on a 55-year-old man. Analysis was carried out in each 10 second-epoch during the bladder filling. Details refer the METHODS.

Fig. 3 Examples of MUPs of external urethral sphincter displayed in relation to the level of the bladder filling. MUPs presented in a column were recorded on the same unit. Note the sequential change of the potential pattern in relation to the bladder volume.

Fig. 4 Changes in the amplitude, the duration and the firing rate of individual MUP during the bladder filling. FDV : first desire to void. MDV : maximum desire to void.

Fig. 5 Increase in the number of MUPs during bladder filling recorded on 6 normal subjects. Abbreviations refer the legend in Fig. 3.

Fig. 6 Mean amplitude changes in MUPs during bladder filling recorded on 6 normal subjects.

Fig. 7 Mean firing rate changes in MUPs during bladder filling recorded on 6 normal subjects.

る傾向にあった。

Table 1 に各症例の膀胱内圧測定各時期で出現した MUP の振幅、持続時間、発射頻度の平均値を安静時、初発尿意時、最大尿意時の 3 群別に供覧した。持続時間については ADEMG による自動解析値と生波形からの手動による解析値とを比較した (Fig. 8)。振幅の平均値は安静時、初発尿意時、最大尿意時で有意な差はなかったが、振幅の最大値は各時期でそれぞれ $373\mu\text{V}$ 、 $770\mu\text{V}$ 、 $987\mu\text{V}$ であった。持続時間の平均値も安静時、初発尿意時、最大尿意時間で自動解析値、手動解析値とも有意な差はなく、また各時期の自動解析値、手動解析値間でも有意な差はなかった。持続時間の各時期でのヒストグラムでは 3.8msec から 20msec

Table 1 Statistical analysis. Mean values and standard errors for the amplitude, the duration and the firing rate of MUPs at rest, first desire to void and maximum desire to void, respectively, on 6 normal subjects.

	REST (N=9)	FDV (N=21)	MDV (N=32)
AMP (μ V)	206 $\pm$ 89	246 $\pm$ 166	277 $\pm$ 193
	NS NS NS		
DUR (msec)			
Automatic	8.3 $\pm$ 2.5	9.7 $\pm$ 3.4	9.7 $\pm$ 3.6
	NS NS NS		
Manual	8.5 $\pm$ 3.0	9.1 $\pm$ 2.5	9.5 $\pm$ 3.6
	NS NS NS		
FR (Hz)	5.4 $\pm$ 1.6	7.3 $\pm$ 1.8	7.2 $\pm$ 1.4
	P<0.05 P<0.05 NS		

mean $\pm$ SD, NS = not significant

Fig. 8 Correlative relationship between ADEMG and manual measurement on the duration in 76 MUPs.

まで広範囲に分布がみられたが8msecから10msecまでのMUPが最も多く認められた (Fig. 9). 多相性電

位の出現率は安静時, 初発尿意時, 最大尿意時の各時期でそれぞれ0%, 14%, 13%であった。発射頻度の平均値は安静時に比べて初発尿意時, 最大尿意時で有意の増加が認められた。

考 察

外尿道括約筋を支配する下位運動ニューロンは第2～4仙髄前角に位置するOnuf核に細胞体を有し, 神経支配は古典的に陰部神経とされているが³⁾⁴⁾, 末梢では副交感神経・交感神経も関与しているとの報告もあり異論が多い⁴⁾。排尿の生理において膀胱の充満によっておこる外尿道括約筋の緊張と膀胱の収縮におけるその緊張解除はBarringtonの第5反射として有名であり⁶⁾, 蓄尿期の尿の禁制維持に外尿道括約筋が関与していることは周知の事実である。外尿道括約筋は他の横紋筋と同様に遅筋と速筋によって構成されており, これらはそれぞれ生化学的・組織化学的にType 1 fiber, Type 2 fiberであることが証明されている⁷⁾。外尿道括約筋の活動が膀胱の充満の程度に関係していることは知られており⁸⁾, 今回我々は膀胱空虚時, 膀胱充満時にどのようなMUPが活動をしているかを定量的に解析した。

従来, 筋電図の定量解析はオシロスコープから撮影した写真フィルム上から手動的に行われてきたが, 膨大な時間を要するだけでなく検者の主観的判断が入るとされてきた¹⁾。さらに干渉波形の解析は非常に困難であった。それらの欠点を補うために最新のコンピュータ技術の発達に伴い自動プログラムが開発されてきた。今回使用したADEMG systemもその一つであり, その有用性は認められている⁹⁾。このシステムの概念の詳細はMcGillら¹⁰⁾の文献にゆずるが, 簡単に, 1) 棘波のデジタル化, 2) 棘波の整列と分類, 3) 棘波の規則性の確認, 4) 認識したMUPの加算平均化, の4つのプロセスからなる。同システムは生波形

Fig. 9 Histograms of the MUP duration distributions at rest, at first desire to void, and at maximum desire to void in 6 normal subjects. Details refer the RESULTS.

を表示することが可能であるため、解析した76MUPsの持続時間について、ADEMGの結果と手動による測定結果とを比較した(Fig. 8)。両者の結果に相関は認められたが手動測定値に比べて自動測定値が高いMUPが少数であるが存在した。これは同システムがMUPの随伴電位を含めて計測したためであり、このようなMUPについては検者自身による補正の必要性がある。

過去に外尿道括約筋のMUPを定量的に解析した報告は測定条件や測定方法に違いはあれいくつか存在する。振幅に関してはその平均値は $500\mu\text{V}$ 以下であるとの報告が多い^{11)~13)}。我々の結果では安静時、初発尿意時、最大尿意時でそれぞれ $206\pm 89\mu\text{V}$ 、 $246\pm 166\mu\text{V}$ 、 $277\pm 193\mu\text{V}$ であり、その値はFanciullacciら¹³⁾の報告した最大随意収縮時の $256.1\pm 7.12\mu\text{V}$ に類似していた。筋電図針と筋線維との距離に余り関係なく安定しているとされる持続時間について比較するとVer-eeckenら¹¹⁾は $5.69\pm 1.73\text{msec}$ 、Sadanoriら¹²⁾は $5.5\pm 0.1\text{msec}$ 、Fowlerら¹⁴⁾は 2.8msec 、Fanciullacciら¹³⁾は $3.73\pm 0.07\text{msec}$ と述べており、安静時 $8.3\pm 2.5\text{msec}$ 、初発尿意時 $9.7\pm 3.4\text{msec}$ 、最大尿意時 $9.7\pm 3.6\text{msec}$ であった結果と大きな差が認められた。この原因はADEMGによる自動解析では加算平均化されたMUPからの測定であることと、補正をする際はMUPの波形をモニター上に拡大して計測したためと考えられる。多相性電位は末梢性運動神経が不完全にブロックされた時や、筋内を走る神経分枝に部分的病変がある場合に出現するといわれているが、正常筋からの記録中にも4相以上の多相性電位は約10%に認められるとされている¹⁵⁾。今回の検討では初発尿意時に14%、最大尿意時に13%の多相性電位が認められたが、Davisら¹⁶⁾も最大尿意時に10~15%以上の多相性電位が出現すると報告しており、会陰部刺入という電極針が不安定になりやすい記録条件を考えると約15%の多相性電位の出現は病的な意義はもたないと考えられる。

膀胱の充満によってもたらされる外尿道括約筋に対する刺激を膀胱内圧測定によって定量化し、外尿道括約筋筋電図の個々のMUPを経時的に検討したのは初めてである。この検討で明らかになった事実は、健常者では外尿道括約筋は膀胱の空虚時とか尿意の出現しない蓄尿の始めからMUPが存在し、膀胱の充満とか尿意の出現とともに新たなMUPが出現し、それら個々のMUPは蓄尿中消失することなく活動していたことである。また個々のMUPは膀胱の充満とともに

発射頻度が増加していった。Fig. 1は21歳男性の最大尿意時に出現した全MUPを示すが、No. 1のMUPは最大尿意に達するまで出現しなかったMUPであり、他のMUPに比較してその振幅は大きく発射頻度は少なかった。徳中ら⁷⁾はヒトの外尿道括約筋のほとんどは遅筋線維であるType 1 fiberであるが、速筋線維であるType 2A, 2B fiberも存在していることを証明しており、この症例のように最大尿意以後に出現する緩慢ではあるが大きな振幅を有する新たなMUPはType 2A, 2B fiberの活動であり、それまでに活動するMUPはType 1 fiberの活動ではないかと推察する。

本装置は筋電図の記録保存が可能であり、被検者の時間的負担が少なく、従来莫大な時間を要した個々のMUPの振幅、持続時間、発射頻度、位相数の定量解析が迅速に評価できるだけでなく、生波形も一時的に記憶するため再評価が可能である。膀胱充満時における外尿道括約筋筋電図にも十分応用可能であり、今後病的状態でのこれらパラメータを計測し、外尿道括約筋筋電図法の診断的有用性について検討したい。

結 語

健常者を対象に膀胱内圧測定を用いて蓄尿期における外尿道括約筋筋電図の活動を定量的に解析した。

1) 外尿道括約筋の活動は膀胱空虚時からみられ、尿意の出現にかかわらず膀胱容量の増加に伴いMUPの数が増加し、個々のMUPの発射頻度は増加した。

2) 最大尿意時を過ぎると新たに振幅の大きい、持続時間の長いMUPが出現した。

3) ADEMG systemは筋電図波形の迅速かつ正確な定量解析が可能であり、今後筋電図解析の有用な手段になると考えられる。

本論文の要旨は第30回神経因性膀胱研究会、第39回日本泌尿器科学会中部総会において報告した。

文 献

- 1) 藤原哲司：筋電図の自動分析、筋電図マニュアル、第1版、p. 40—46、金芳堂、京都、1985。
- 2) Stalberg, A., Andreassen, S., Falk, B., Lang, H., Rosenfalck, A. and Trojaborg, W.: Quantitative analysis of individual motor unit potentials: A proposition for standardized terminology and criteria for measurement. *J. Clin. Neurophysiol.*, 3, 313—348, 1986.
- 3) Fletcher, T.F. and Bradley, W.E.: Neuroanatomy of the bladder-urethra. *J. Urol.*, 119, 153—160, 1978.
- 4) Gosling, J.: The structure of the bladder and

- urethra in relation to function. *Urol. Clin. North. Am.*, 6, 31—38, 1979.
- 5) Elbadawi, A. and Schenk, E.A.: A new theory of the innervation of bladder musculature. Part 4. Innervation of the vesicourethral junction and external urethral sphincter. *J. Urol.*, 111, 613—615, 1974.
 - 6) Kuru, M.: Nervous control of micturition. *Physiol. Rev.*, 45, 425—494, 1965.
 - 7) 徳中荘平, 藤井敬三, 岡村兼晴, 宮田昌伸, 金子茂男, 八竹 直: ヒト外尿道括約筋の生化学的研究. *日泌尿会誌*, 79, 539—546, 1988.
 - 8) Dibenedetto, M. and Yalla, S.V.: Electrodiagnosis of striated urethral sphincter dysfunction. *J. Urol.*, 122, 361—365, 1979.
 - 9) McGill, K.C. and Dorfman, L.J.: Automatic decomposition electromyography (ADEMG): Validation and normative data in brachial biceps. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 61, 453—461, 1985.
 - 10) McGill, K.C., Cummins, K.L. and Dorfman, L.J.: Automatic decomposition of the clinical electromyogram. *I.E.E.E. Trans. Biomed. Eng.*, BME-32, 470—477, 1985.
 - 11) Vereecken, R.L., Derluyn, J. and Verduyn, H.: Electromyography of the perineal striated muscles during cystometry. *Urol. Int.*, 30, 92—98, 1975.
 - 12) Abe, S., Kawabe, K., Nijima, T. and Shimada, Y.: Electromyography of the external urethral sphincter in patients with prostatic hyperplasia. *J. Urol.*, 132, 510—512, 1984.
 - 13) Fanciullacci, F., Kokodoko, A., Garavaglia, P. F., Galli, M., Sandri, S. and Zanolo, A.: Comparative study of the motor unit potentials of the external urethral sphincter, anal sphincter, and bulbocavernosus muscle in normal men. *Neurourol. Urodynamics.*, 6, 65—69, 1987.
 - 14) 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. Psychiatry.*, 47, 637—641, 1984.
 - 15) Buchthal, F., Pinelli, P. and Rosenfalck, P.: Action potential parameters in normal human muscle and their physiological determinants. *Acta Physiol. Scand.*, 32, 219—229, 1954.
 - 16) Davis, L. and Khan, Z.: Significance of electromyographic changes in the external urinary sphincter. *Neurourol. Urodynamics.*, 5, 555—562, 1986.

(1992年10月23日受付, 1993年 3 月 1 日受理, 特別掲載)