男子横紋筋性尿道括約筋の筋電図学的研究

—Turns Amplitude Diagram による検討—

東北大学医学部泌尿器科学教室 (主任: 折笠精一教授)

浪 間 孝 重

ELECTROMYOGRAPHIC STUDY ON THE STRIATED URETHRAL SPHINCTER OF THE MALE An Analysis with Turns Amplitude Diagram

Takashige Namima

Department of Urology, Tohoku University School of Medicine

(Director: Prof. S. Orikasa)

The aim of this study is to clarify the physiology and pathophysiology of two striated urethral sphincters, the periurethral striated sphincter (PUS) and the external urethral sphincter (EUS), in the voiding cycle, using a selective and semi-quantitative electromyographic technique.

Under ultrasonic guidance, two needle-electrodes were inserted into the two sphincters of 31 males (7 neurologically normal, 13 with nuclear and/or infranuclear lesions, 11 with supranuclear lesions), and EMGs recorded during the whole cystometric course were analysed by the aid of Turns-Amplitude Diagram (TAD). The results obtained were as follows:

1) In neurologically normal cases, the increment of turns as well as amplitudes in EMGs of both the sphincters were observed with the bladder filling, and they were completely diminished at the onset of than voiding.

2) The increment of turns were more obvious than that of amplitudes in EMGs of both the sphincters.

3) More voluntary function could be assumed on EUS than PUS.

4) The functional sphincteric responsibility corresponding to the voiding cycle could be expressed by the direction and the length of the vectors obtained from TAD.

5) In neurogenic bladder cases, various abnormal sphincteric responsibility, such as the shortening and/or abnormal directions of the vectors, were found.

With the results described above, this semi-quantitative assessment of sphincter EMG was thought to be useful to evaluate the abnormal activity of the urethral sphincter in neurogenic bladder cases.

Key words: external urethral sphincter, neurogenic bladder, turns-amplitude diagram

要旨: 男子31例 (神経学的正常群7例, 核・核下障害群13例, 核上障害群11例) を対象として, 骨盤底筋に内蔵される外尿道括約筋 (EUS) とその中枢側尿道周囲に独立して存在する尿道周囲横紋筋性括約筋 (PUS) の2種類の横紋筋性尿道括約筋の筋電図反応について, 振れ回数・振幅図 (TAD) 解析を用いて排尿サイクルに対応した括約筋特性の比較を行うとともに, 神経因性膀胱症例における両括約筋の障害様式を半定量的に検討した。

神経学的正常群では, 両括約筋ともに膀胱充満に伴う振れ回数・振幅の増加と, 排尿開始時の筋電図活動の消失を認めた。また, 両括約筋とも振れ回数の増加が振幅の増加に比較して大きく, PUSはEUSより膀胱充満に対応した振れ回数の強い増加がみられたが, 随意運動性はEUSの方が高かった。一方, 振れ回数と振幅の変化を2次元ベクトル表示すると, 両括約筋の機能は括約増強反応 (右上向きのベクトル) と括約解除反応 (左下向きのベクトル) で表現することができた。神経因性膀胱症例の括約筋反応性の障害様式は, 基本的にはベクトルの方向と長さの異常として表現されたが, 両群に多少の違いが認められた。

キーワード: 外尿道括約筋, 神経因性膀胱, 振れ回数・振幅図

緒 言

正常な尿道機能とは、蓄尿期の括約機能の増強（以下、括約増強反応）と、排尿期の速やかな括約機能の解除（以下、括約解除反応）ならびにその維持である。括約機能を持つ尿道の構造は、膀胱頸部にある輪状平滑筋の内尿道括約筋と、後部尿道周囲の横紋筋である外尿道括約筋に大別される¹⁾。

従来、外尿道括約筋(External Urethral Sphincter, 以下 EUS と仮称)は尿生殖裂孔の部分で尿道周囲を取り囲む深会陰横筋の一部が輪状の括約構造を形成したものと考えられていたが²⁾、近年、EUS より中枢側の尿道周囲に骨盤底筋群とは独立した尿道固有の横紋筋性括約筋(Periurethral Striated Sphincter, 以下 PUS と仮称)の存在が明らかとなり、その括約機能への関与が強調されている^{3)~6)}。

臨床的に尿道括約筋の機能を知る方法として筋電図検査があるが、会陰部表面電極や肛門電極などを用いて記録した筋電図から尿道括約筋の機能を間接的に推定することが多く、各尿道括約筋機能の直接的かつ定量的な検討は^{7)~11)}、未だ充分にはなされていない。

そこで今回は、超音波ガイド下に PUS と EUS に針電極を刺入して筋電図を記録し、筋電図干渉波の定量的解析法の一つである振れ回数・振幅図 (Turns Amplitude Diagram, 以下 TAD) 解析法を応用し、膀胱内圧測定に同期させた全排尿サイクルでの上記 2 種の尿道括約筋の特性の選択的かつ半定量的な評価を試み、両括約筋の特性を比較するとともに、神経因性膀胱症例における両括約筋反応の障害様式の検討を行った。

対象と方法

当科を受診した男子 31 例を対象とした。年齢は 14 歳から 75 歳 (平均 43.2 歳) であった。臨床神経学的に正常と考えられた 7 例を神経学的正常群 (以下正常群) とした。また、神経因性膀胱症例 24 例では、臨床神経学的に腰仙髄・馬尾神経以下に障害を有する 13 例を核および核下障害群 (以下核・核下群)、胸髄以上に障害を有する 11 例を核上障害群 (以下核上群) とした (表 1)。

選択的尿道括約筋筋電図の記録は、以下の方法に従った。即ち、切石位で、超音波探査子 (アロカ UST-664, 7.5Mz) を経直腸的に挿入し、矢状断にて前立腺尖部および尿道に留置したカテーテルを同定しながら、同芯単極針電極 (日本光電 NM-150T) を会陰部より PUS と EUS に選択的に刺入した (図 1)。同時にオシロスコープモニターで原波形を監視して、それぞれ非同期性の運動単位活動電位 (motor unit action

表 1 対象 31 例の内訳

〔神経学的正常群〕	
膀胱腫瘍	(術前) 3
前立腺肥大症	(術前) 1
膀胱尿管逆流症	(術前) 1
性的ノイローゼ	1
慢性前立腺炎	1
〔核・核下障害群〕	
二分脊椎	(術後) 5
脊髄損傷	
仙髄	1
馬尾	2
腰部椎間板ヘルニア	(術後) 3
馬尾腫瘍	(術後) 1
慢性脊髄根神経炎	1
〔核上障害群〕	
脊髄損傷	
頸髄	(術後) 2
胸髄	(術後) 1
多発性硬化症	3
脊椎カリエス	(術後) 1
神経ペーチェット病	1
正常圧水頭症	1
頭部外傷	1
脳幹梗塞	1

potential, 以下 MUAP) が出現することを確認した。各括約筋筋電図は、感度 50~100 μ V/DIV, 周波数 50~1,000Hz, 掃引時間 20msec/DIV, の条件で膀胱内圧測定と同期させて観察し、さらに FM-tape 記録した (図 2)。

1) TAD による各尿道括約筋の特性解析

TAD 解析には、Neuropack 4 (日本光電 MEB-4104) の内蔵プログラムを使用した。即ち、FM-tape 記録した各括約筋筋電図の原波形を外部入力して、サンプリング時間 20 μ sec, 解析時間 400msec で、3 点比較法によりピークを同定し、得られたピーク間の振幅を計測して、1 秒間の振れ回数・平均振幅に換算して 2 次元表示した。

基準観察点は、排尿サイクルの指標となる膀胱空虚時 (以下 REST), 最小尿意 (First desire to void, 以下 FDV) 出現時, 自発尿意 (Normal desire to void, 以下 NDV) 出現時, 最大尿意 (Maximum desire to void, 以下 MDV), 排尿開始時 (Start on voiding, 以下 S-VOID), 排尿終了時 (以下 POST) の 6 点 (図 2) とし、各観察点付近での筋電図についてそれぞれ 5 回の解析を行った。さらに、正常群では REST 時に骨盤底筋随意収縮 (Voluntary contraction, 以下 VC) を行わせた時の解析を加えた。

なお、尿線の形成をもって排尿開始としたが、尿線

図1 超音波ガイド下の選択的針電極刺入

NEEDLE 1: EUS に刺入した針電極, NEEDLE 2: PUS に刺入した針電極, P: 前立腺, U.C: 尿道留置カテーテル

図2 神経学的正常例の各観察点での筋電図原波形

REST では識別可能な MUP も, MDV ではほぼ干渉波となり, S-VOID では両括約筋ともに筋電図活動は完全に消失した

形成のない症例では, 被験者の排尿企图を排尿開始とした。また, 残尿のある症例では, 導尿後を POST とし, 尿意形成に障害のある症例では, カテーテル周囲から尿流出を認めた時点を MDV とし, FDV および NDV は, 正常群の平均値からそれぞれ MDV の45%, 80%時とした。

また, 膀胱の無抑制収縮を認めた9症例(核・核下群の2例, 核上群の7例)では, 基準観察点は無抑制収縮の起こる前とし, 無抑制収縮中の解析を併せて行った。

正常群の個々の症例毎の振れ回数と振幅の変化を参考として, 正常群の平均振れ回数(mean Turns, 以下 m-T)と平均振幅(mean Amplitude, 以下 m-A)から, 排尿サイクルにおける両括約筋の特性を比較するとともに, 神経因性膀胱各群の平均値とその対比を行った。

2) TAD を用いた括約筋反応性の半定量化

正常群を対照として, 神経因性膀胱各群の括約筋反応性の障害様式の検討を行った。即ち, TAD 上の REST, MDV, VOID の3点をその順序に従って直線で結び, それぞれの直線の方向性と長さを各括約筋の機能を半定量的に表示するベクトルと認識して, 個々の症例について検討した。

まず蓄尿期(REST ⇒ MDV)のベクトルに関しては, 右上向きで, $(\text{振れ回数}^2 + \text{振幅}^2)^{1/2}$ と規定したベクトル長が, 正常群の平均 ± 2 標準偏差以内を括約増強反応正常, それ以外のベクトルを括約増強反応異常と判定した。さらに, 後者の中で MDV における振れ回数の変化が REST における値より有意に増加しているものを括約増強反応低下, 有意に増加しないものを括約増強反応消失と判定することにした。

さらに, 排尿開始時(MDV ⇒ S-VOID)のベクトルに関しては, 左下向きで原点に回帰するものを括約解

除反応正常，同方向でも原点まで達しないものを括約解除反応低下，MDV から殆ど変動しないものを括約解除反応消失，右上向きのものを括約反応異常増強と判定することにした。

得られた結果は，Non-paired の t-検定および χ^2 検定を用いて統計学的処理を行った。

結 果

1) TAD による各尿道括約筋の特性解析

正常群での蓄尿期では，PUS の m-T は MDV で REST の10倍に増加したが，m-A の増加は有意差(p<0.01)はあるものの1.3倍程度で，m-T に比べて増加率は低かった。また，m-T は7例中6例で各観察点間で増加傾向がみられ，有意差が認められた(図3，表2-1)。

EUS では，MDV での m-T は約8倍に増加したが，m-A の増加は1.4倍程度で，PUS と同様な傾向が認められた。また，m-T では REST と FDV 間に殆ど増加はみられなかった(図3，表2-2)。

また，PUS と EUS を比較した場合，m-A は各観察点で有意差を認めなかったが，m-T は REST では差がないものの，7例中6例で蓄尿期の各相で PUS のほうが EUS より多く，有意差がみられた(p<0.01)(図3，表2-1，2)。

一方，図4にVC時とRESTおよびMDVでの比較を示した。両括約筋ともVC時にm-T，m-Aの著明な増加(p<0.001)を認めた。また，VC時のPUSとEUSを比較すると，m-Tは7例中6例でEUSが多く，有意差がみられた(p<0.01)，さらに，VC時とMDVを比

較すると，PUSではm-T，m-Aともに有意差がないのに対し，EUSではm-TがVC時に有意に増加していた(p<0.01)。

S-VOIDでは，正常群の全例で両括約筋のm-T，m-Aとも検出されず，筋電図活動の完全な抑制を認めた。さらに，POSTのm-T，m-Aは，両括約筋ともに

図3 神経学的正常群の蓄尿期での各括約筋の平均振れ回数・平均振幅の変化

各観察点間の有意差検定 **: p<0.01, *** : p<0.001, ns : 有意差なし

表2-1 TAD 解析の結果 (1) 神経学的正常群
PUS

		(平均±標準偏差)						
症 例		膀胱空虚	最小尿意	自発尿意	最大尿意	排尿開始	排尿終了	随意収縮
1	振れ(秒 ⁻¹)	30±3.5	36±3.7	58±10.4	83±18.6	0	29±7.4	179±19.8
	振幅(μV)	169±20.0	163±18.7	180±8.3	191±14.2	0	163±18.4	194±6.7
2	振れ(秒 ⁻¹)	20±8.7	91±12.9	104±25.1	244±35.6	0	24±6.5	64±9.6
	振幅(μV)	190±27.3	211±13.7	197±10.6	200±10.3	0	206±32.2	147±34.9
3	振れ(秒 ⁻¹)	18±7.6	67±21.4	160±18.4	243±76.1	0	21±4.2	110±17.7
	振幅(μV)	96±18.4	138±4.0	148±4.1	147±2.3	0	118±8.8	127±4.8
4	振れ(秒 ⁻¹)	12±7.6	19±7.4	58±21.1	111±26.3	0	20±6.1	29±14.9
	振幅(μV)	134±47.0	141±21.6	156±36.0	180±13.1	0	143±29.6	140±32.9
5	振れ(秒 ⁻¹)	13±4.5	24±9.6	22±6.7	195±41.4	0	23±9.1	242±86.6
	振幅(μV)	102±24.1	119±12.9	111±23.5	140±6.2	0	105±29.6	196±17.3
6	振れ(秒 ⁻¹)	5±0	5±0	13±4.5	113±50.9	0	8.0±4.5	40±41.8
	振幅(μV)	144±3.3	117±1.1	126±13.0	176±13.7	0	88±29.7	114±24.3
7	振れ(秒 ⁻¹)	114±6.5	28±2.7	74±12.4	135±15.4	0	20±6.1	237±26.6
	振幅(μV)	166±50.0	154±40.3	177±28.7	226±9.7	0	154±57.6	229±3.0
PUS	振れ(秒 ⁻¹)	16±9.2	39±30.2	70±49.2	160±73.0	0	21±8.4	129±92.4
(平均)	振幅(μV)	138±46.5	148±45.9	156±34.5	180±29.6	0	140±48.8	164±44.2

表2-2 TAD 解析の結果 (1) 神経学的正常群
EUS

		(平均±標準偏差)						
症 例		膀胱空虚	最小尿意	自発尿意	最大尿意	排尿開始	排尿終了	随意収縮
1	振れ(秒 ⁻¹)	20±3.5	16±11.4	53±13.5	136±24.8	0	17±4.5	209±86.1
	振幅(μV)	125±21.3	133±30.9	145±23.9	178±8.0	0	167±25.8	192±6.9
2	振れ(秒 ⁻¹)	9±4.2	8±4.5	21±21.9	100±7.9	0	14±2.2	316±50.5
	振幅(μV)	148±40.9	177±56.3	190±52.1	179±14.5	0	128±24.9	172±6.6
3	振れ(秒 ⁻¹)	35±11.2	36±18.5	80±14.6	139±49.5	0	38±5.7	183±34.0
	振幅(μV)	150±11.0	149±12.0	157±2.1	173±11.5	0	145±17.0	182±10.7
4	振れ(秒 ⁻¹)	9±4.2	16±13.9	15±14.6	45±10.6	0	8±2.7	287±57.0
	振幅(μV)	160±55.7	154±55.3	134±39.8	163±14.9	0	203±49.6	194±5.8
5	振れ(秒 ⁻¹)	5±0	6±2.2	33±19.9	89±34.9	0	9±5.5	261±24.1
	振幅(μV)	112±25.5	113±24.2	145±32.9	137±9.0	0	81±29.1	152±21.2
6	振れ(秒 ⁻¹)	5±0	7±2.7	16±4.5	142±47.1	0	17±13.0	181±71.4
	振幅(μV)	130±19.8	73.2±25.2	94±17.8	189±13.1	0	127±21.9	181±6.7
7	振れ(秒 ⁻¹)	8±6.7	12±2.7	61±7.4	59±50.5	0	23±10.4	131±7.4
	振幅(μV)	100±18.3	184±29.6	215±20.2	251±21.3	0	94±38.7	220±4.0
EUS (平均)	振れ(秒 ⁻¹)	13±12.0	14±12.9	40±27.7	101±50.4	0	18±14.5	222±77.2
	振幅(μV)	132±37.0	140±52.9	154±49.7	181±37.2	0	132±48.6	185±22.0

REST とほぼ同じ値に復した。

核・核下群の蓄尿期についてみると、PUS の m-T は、MDV で REST の 2.4 倍 (p<0.01) の増加、EUS では、1.9 倍 (p<0.05) の増加に留まり、m-A には両括約筋とも有意の変化はみられなかった (表 3)。

正常群と比較すると、両括約筋とも REST では差がないものの、MDV では、m-T、m-A ともに明らかな低下が認められた (p<0.01)。

S-VOID で筋電図活動が残存した例は、PUS 10 例 (83.8%)、EUS 8 例 (66.7%) で、これらの症例の m-T、m-A は両括約筋ともに、MDV に比べて変化は認めなかった (表 3)。

核上群の蓄尿期についてみると、PUS の m-T は、MDV で REST の 2.5 倍 (p<0.05) の増加、EUS では 6 倍 (p<0.01) の増加をみたが、m-A には両括約筋ともに有意の変化は認められなかった (表 4)。

正常群と比較すると、PUS では m-T は REST で上昇 (p<0.01) しているにも拘わらず、MDV では逆に低下 (p<0.01) していた。EUS では、m-T、m-A ともに有意の変化はみられなかった。

S-VOID で筋電図活動が残存したのは、PUS 7 例 (63.6%)、EUS 7 例 (63.6%) で、MDV に比べ EUS で m-T の増加傾向がみられたが、いずれも有意差は認めなかった (表 4)。

2) TAD を用いた括約筋反応性の半定量化

図 5 は正常群の平均値をプロットしたものであるが、両括約筋の反応性は蓄尿期には右上向きの、排尿開始時には左下向きの原点に回帰するベクトルで表現

図 4 神経学的正常群の骨盤底筋随意収縮時 (VC) での平均振れ回数・平均振幅と膀胱空虚時 (REST) および最大尿意時 (MDV) との比較

各観察点間の有意差検定 ***: p<0.01, **: p<0.001, ns: 有意差なし

された。

表 5、図 6 は各群での蓄尿期の括約増強反応の判定結果である。核・核下群では、括約増強反応正常例は

表3 TADの結果(2) 核・核下障害群

(平均±標準偏差)

	膀胱空虚	最小尿意	自発尿意	最大尿意	排尿開始	排尿終了
PUS	N=13	N=13	N=13	N=13	N=9	N=13
	振れ(秒 ⁻¹) 振幅(μV)	17±12.1 144±50.1	32±34.3 145±44.2	37±38.6 143±41.6	40±32.3 133±59.6	37±38.2 146±47.0
EUS	N=13	N=13	N=13	N=13	N=8	N=13
	振れ(秒 ⁻¹) 振幅(μV)	11±9.2 133±37.6	11±10.1 129±48.3	12±11.2 142±39.3	21±33.1 143±43.2	29±35.0 136±36.1

但し：排尿時は括約解除反応の障害を認めた症例の平均±標準偏差

表4 TADの結果(3) 核上障害群

(平均±標準偏差)

	膀胱空虚	最小尿意	自発尿意	最大尿意	排尿開始	排尿終了
PUS	N=11	N=11	N=11	N=11	N=7	N=11
	振れ(秒 ⁻¹) 振幅(μV)	34±26.1 118±47.0	24±21.2 112±45.7	50±43.9 120±53.1	85±96.6 151±96.4	59±50.7 140±43.6
EUS	N=11	N=11	N=11	N=11	N=6	N=11
	振れ(秒 ⁻¹) 振幅(μV)	18±9.0 155±53.0	18±8.7 146±54.6	49±48.2 159±58.7	108±96.3 170±52.8	153±146.8 150±57.0

但し：排尿時は括約解除反応の障害を認めた症例の平均±標準偏差

PUS 2例(15.4%), EUS 1例(7.7%)であるのに対し, 核上群では, 6例(54.5%), 5例(45.4%)であった。また, 核・核下群では, 両括約筋の蓄尿期の反応性に解離があった例が7例(53.8%)で, 核上群では6例(54.5%)であった。

神経因性膀胱症例各群の平均ベクトル長を正常群と比較すると, 核・核下群ではPUS・EUSともに有意な短縮がみられたが(PUS: $p < 0.001$, EUS: $p < 0.01$), 核上群ではPUSのみに有意な短縮がみられ, EUSには有意差は認められなかった(PUS: $p < 0.05$)(表5)。

無抑制収縮陽性時の変化をみると, PUSでは11例中10例(90.1%), EUSでは11例中9例(81.8%)で, 括約増強反応がみられた。このうち症例*は, 基準観察点では増強反応消失例であった。また症例#では, 無抑制収縮に伴って逆方向への変化(括約解除反応)がみられた(表5, 図7)。

図8に排尿開始時の括約解除反応の異常を示した症例の括約筋別の結果を示した。これらを纏めると表6の如く分類され, 排尿開始時の括約解除反応の異常パターンに, 神経障害群間で有意差が認められた。即ち, 括約反応異常増強は核・核下群ではPUS 1例(8.3%), EUS 3例(25%), 核上群では3例(27.2%)に両括約筋で同時にみられた。括約解除反応消失は, 核・核下群ではPUS 8例(66.7%), EUS 5例(41.7%)と高率であったのに対し, 核上群では1例もみられなかった。括約解除反応低下は核・核下群ではEUSに1例(8.3%)のみであったのに対し, 核上群では, PUS,

図5 神経学的正常群の排尿サイクルにおける括約筋反応性の2次元ベクトル表示

EUSそれぞれ4例(36.4%)にみられた。

また, 両括約筋で排尿開始時の筋電図活動に解離を認めた症例は, 核・核下群では4例(32.3%)で, 核上群でも4例(36.4%)であった。

さらに, 対象例の括約解除反応の平均ベクトル長は, 神経因性膀胱各群で両括約筋ともに正常群に対し有意

表5 対象例での蓄尿期の括約筋増強反応の判定と平均ベクトル長

		正 常	低 下	消 失	解 離	ベクトル長
正 常 群	PUS N=7	7(100%)	0	0	0	147.6±61.9
	EUS	7(100%)	0	0		108.1±43.7
核・核下群	PUS N=13	2(15.4%)	6(46.1%) 「2」	5(38.5%)	7(53.8%)	40.8±26.5***
	EUS	3(23.1%)	2(15.4%)	8(61.5%) 「2」		32.1±35.0**
核 上 群	PUS N=11	6(54.5%) 「4」	1(9.1%) 「1」	4(36.4%) 「2」	6(54.5%)	66.0±63.5*
	EUS	6(54.5%) 「2」	3(27.3%) 「2」	2(18.2%) 「1」 「1」		98.0±103.3

- 1) 「 」内は、無抑制収縮時に括約筋増強反応を認めた症例数
『 』内は、無抑制収縮時に括約筋解除反応を認めた症例数
2) 正常群に対するベクトル長の比較 ***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05
(ベクトル長は、平均±標準偏差)

図6 神経障害例の蓄尿期での括約筋反応性の2次元ベクトル表示

●：核・核下障害群，×：核上障害群

図7 無抑制収縮陽性例での収縮直前と収縮出現時の括約筋反応性の2次元ベクトル表示

●：核・核下障害群，×：核上障害群，註：*例は蓄尿期基準観察点では増強反応消失と判定された。#例は括約筋解除反応がみられた

な短縮が認められた(表6)。

考 察

尿道括約筋機能に関与する横紋筋からなる括約筋としては、近年 PUS と EUS の 2 種類があると報告されている³⁾⁴⁾⁵⁾。

このうち、EUS は従来から成書に記述されているが、PUS は1967に Hutch ら³⁾が、Paraurethral striated muscle としてはじめて記載したもので、各称もいまだ確立されていない⁹⁾。今回は、Bissada ら⁴⁾の名称に準じて、骨盤底筋群に内蔵された括約筋を外尿道括約筋(External urethral sphincter, EUS)、後部尿道周囲に独立して存在する尿道固有横紋筋を尿道周囲横紋筋性括約筋(Periurethral striated sphincter, PUS)と仮称することにした。

Gosling ら⁵⁾は、ヒトの PUS は Type 1 の遅筋線維のみから構成されていると報告しているが、徳中ら⁶⁾は平均66%が遅筋線維であり、種特異性を認めたとして

おり、PUS の構成については議論が多い。そこで今回は、筋電図学的に両括約筋の特性を選択的に明らかにするとともに、神経因性膀胱症例における両括約筋の障害様式の比較検討を試みた。

尿道括約筋の機能的構造には多少の性差がみられる。即ち、男性では PUS はその遠位端が最も厚く近位では前立腺の内外側に薄く広がるとされているが、女性では中央部が最も厚いとされている³⁾⁴⁾。また、男性尿道では尿路と精路を兼用するのに対し、女性では尿路のみに利用されている。従って、括約筋の機能にも性差が存在する可能性は否定できない。そこで、今回は対象を男性に統一して検討を行った。

一方、解剖学的にかなり近い位置に存在する両括約筋に選択的に針電極を刺入するために、今回は経直腸超音波ガイドによる針電極の位置の決定とオシロスコープモニターによる MUAP の確認により、PUS と

図8 排尿開始時の括約解除反応障害例での括約筋反応性の2次元ベクトル表示

●：核・核下障害群，×：核上障害群

表6 対象例での排尿開始時の括約解除反応の判定と平均ベクトル長

	正 常	増 強	低 下	消 失	解 離	ベクトル長
正 常 群 PUS N=7	7(100%)	0	0	0	0	247.0±41.7
EUS	7(100%)	0	0	0		211.6±37.7
核・核下群 PUS N=12	2(16.2%)	1(8.3%)	1(8.3%)	8(66.6%)	4(33.3%)	61.9±54.9***
EUS	4(33.3%)	3(25%)	0	5(41.7%)		75.4±72.8***
核 上 群 PUS N=11	4(36.4%)	3(27.2%)	4(36.4%)	0	4(36.4%)	129.6±78.6**
EUS	4(36.4%)	3(27.2%)	4(36.4%)	0		132.2±67.9**

1) 核・核下群と核上群の括約解除反応の障害パターンに有意差を認める。(χ²-検定)

PUS: p<0.01

EUS: p<0.05

2) 正常群に対するベクトル長の比較 ***p<0.001 **p<0.01 *p<0.05

(但しベクトル長は、平均±標準偏差)

EUS とを正確に識別する方法を採った。これにより、全例で同期性のない MUAP が確認され、ほぼ目的の筋電図を記録できたと考えられる。

TAD は、Stalberg ら¹²⁾などにより筋電図干渉波の定量的分析法の一つとして確立された。今回得られた PUS, EUS の筋電図反応は、REST では MUPA が明瞭に識別できたが、一部の症例を除き MDV に至ると両括約筋ともいわゆる干渉波に近い波形を示し、MUPA の識別は困難であった(図2)。従って、全排尿サイクルでの両括約筋筋電図活動を比較するために、筋電図反応の連続性を仮定して、得られた全ての測定領域でその直線性が保証される TAD 解析を干渉波以外にも応用して半定量的な解析を試みた。

正常群では全例で膀胱充満に伴う PUS, EUS の

m-T, m-A の有意な上昇を認め括約増強反応がみられた。その特徴として、m-A の増加に比べ m-T の増加が大きく、尿道括約筋では、四肢筋でみられる様な m-T と m-A 増加の正の相関¹²⁾は認められなかった。しかし、Aanestad ら¹³⁾は、外肛門括約筋と恥骨直腸筋を随意収縮させた際の検討から今回と同様の結果を報告し、これらの筋線維が均一でかつ四肢筋に比べ直径、長さともに小さいことから、各運動単位が低振幅で持続時間が短いため、振幅の増加が少なくなると推論している。

PUS と EUS の m-T の変化を比較すると、REST では両括約筋に差がみられないのに対し、蓄尿期の各相では PUS の m-T 増加が EUS に比べて有意に大きかった。これに対し骨盤底筋の随意収縮時では、逆に

EUS の m-T, m-A が有意に大きかった。また、随意収縮時と MDV の比較では、PUS が随意収縮とほぼ同じであったのに対し、EUS では随意収縮時の m-T が有意に増加していた。さらに、PUS では尿意を殆ど自覚しない FDV ですでに REST との間に m-T の有意な増加が認められていた。

排尿開始に際しては、両括約筋ともに、正常群の全例で筋電図活動の抑制がみられ、速やかな括約解除反応が認められた。また、POST では、REST 同様の m-T, m-A の分布を示し、排尿終了後は速やかに括約増強反応が再開されると考えられた。

以上から円滑な排尿には、両括約筋ともに正常な括約機能を持つことが必要で、蓄尿期では PUS は主として不随意的な括約増強反応に、EUS は主として随意的な括約増強反応に関与し、排尿開始時には両括約筋ともその活動が速やかに抑制されるものと考えられた。なお、排尿中の括約解除反応の維持についての検討は今回行わなかった。

八竹⁹⁾は、TAD 解析から蓄尿期を REST および FDV から MDV へ至るベクトルで表現できるとし、排尿異常症例の新しい評価法として、その有用性を強調している。

一方、このベクトルの方向性と長さは、括約機能の増強と解除を半定量的に表現しているとも考えられる。即ち、右上向きのベクトルは括約機能の増強反応を、逆に左下向きのベクトルは括約機能の解除反応を表し、長さはその強さを示していると思われる。

蓄尿期の異常についてみると、正常な括約筋増強反応がみられたものは、核・核下群では、PUS, EUS それぞれ 15.4%, 23.1% に過ぎず、両括約筋ともに正常と考えられたのは 1 例のみであった。またこの群の平均ベクトル長は、正常群に比べ短縮しており、括約増強反応の減弱傾向がみられた。一方核上群で正常な括約増強反応がみられたものは、PUS, EUS それぞれ 54.5%, 45.4% で、さらにこの群の平均ベクトル長はやや短縮しているものの、その程度は核・核下群よりも保存されており、核・核下群では蓄尿期の反応がより障害され易い傾向がみられた。

また、無抑制収縮陽性例で収縮開始前後での反応をみると、各神経障害群に共通して括約増強(右上方向)反応がみられたが、括約解除(左下方向)反応も 1 例に認められた。この症例は臨床上尿失禁を伴い、いわゆる無抑制括約筋弛緩に対応すると考えられた。

尿道括約筋を支配する神経反射経路としては、膀胱の充満に伴い括約筋が収縮する尿禁制反射¹⁴⁾や、近位尿道の刺激に対応して括約筋が収縮する防御反射¹⁴⁾、

また膀胱収縮に伴って括約筋が弛緩する排尿反射(Barrington の第 5 反射)¹⁵⁾などが知られている。ベクトルでみた括約増強反応は主に尿禁制反射や防御反射を、また括約解除反応は主に排尿反射を、半定量化しているかも知れない。このように仮定すれば、増強反応低下や、無抑制収縮時にみられた増強反応は、尿禁制反射や防御反射の低下または亢進、無抑制括約筋弛緩と考えられた解除反応は、排尿反射の異常出現に相当するものと思われた。

これまで尿禁制反射や防御反射は仙髄を中心とする短ループ反射系、排尿反射は脳幹を中心とする長ループ反射系により支配されると考えられてきた¹⁶⁾。しかし最近、Giffiths ら¹⁷⁾は、ネコの脳幹橋被蓋部の電気刺激および破壊結果から、L-野が仙髄オヌフ核と直接の線維連絡を持ち、尿禁制反射を促進すると報告しており、括約増強反応も正常では長ループ反射系による上位中枢からの抑制を受けていると考えられてきている¹⁸⁾。核上群にみられた蓄尿期の括約増強反応消失と無抑制収縮出現時の増強反応亢進の混在などは、これら括約増強反応に関与する長ループ反射系のバランスの崩れによるものかも知れない。

排尿開始時にみられた括約解除反応の障害としては、まず排尿括約筋協調不全(DSD)の問題を考えなければならない。ICS(1988)¹⁹⁾の定義では、排尿筋収縮に同期して起こる括約筋収縮(筋電図学的には括約筋活動の増加)を認める場合としているが、安田ら¹⁰⁾や信野¹¹⁾は、排尿に際して括約筋筋電図活動の消失を認めないものは、臨床的に広義の DSD として捉えるべきであるとしている。今回の S-VOID 時に原点に戻らないベクトルを持つもの、即ち排尿開始時の括約解除反応の障害は、この広義の DSD を表し、この内括約反応異常増強型が、狭義の DSD を意味するものと考えられる。

今回の検討で特徴的であったことは、核・核下群では、約 4 割以上に S-VOID 時に括約反応が消失した症例がみられたのに対し、核上群では、何らかの反応が残存したことが挙げられる。この結果を神経反射経路にあてはめるとすれば、排尿期の括約解除反応を開始するには、短ループ反射系の維持が前提であるとともに、正常な括約反応の保持には、長ループ反射系からの正常な制御が必要であることを表しているかも知れない。

今回、括約筋反応性の指標としてベクトル長を用いたが、神経因性膀胱症例における括約筋反応性の障害様式は、両群ともに基本的にはベクトル長の短縮として表現された。これは膀胱状態に対応する尿道括約筋

の正常な応答の低下によるものと考えられるが、括約筋反応性のより正確な定量化とその神経機構の解明には、各種薬剤負荷のベクトル長への影響などをさらに検討する必要があると思われる。

また今回の検討では、神経因性膀胱症例では両群ともに PUS と EUS の活動性に解離を示したものが認められた。Vereecken ら⁷⁾は神経因性膀胱症例での PUS や EUS を含めた骨盤底を形成する各種の筋の活動性の解離を報告し、Blaivas ら⁸⁾は、肛門括約筋筋電図活動が必ずしも尿道括約筋活動を反映しないことを指摘している。このような解離の原因については不明であり、今後は各括約筋の選択的な誘発筋電図反応や脊髄・大脳誘発電位などの支配神経に関するより精密な検討が必要と考えられた。

結 果

排尿サイクルに対応した尿道周囲横紋筋性括約筋 (PUS) と外尿道括約筋 (EUS) の選択的かつ半定量的な機能評価により、両括約筋の特性および神経因性膀胱症例での反応性の障害様式を検討するため、男子31例 (神経学的正常群7例、核・核下障害群13例、核上障害群11例) を対象に、超音波ガイド下に両括約筋に刺入した針電極により記録した筋電図の振れ回数・振幅図 (TAD) 解析を行い、以下の結果を得た。

1. 神経学的正常群では、PUS、EUS ともに膀胱充満に伴う振れ回数・振幅の増加と排尿開始時の消失を認めた。

2. 両括約筋とも、振れ回数の増加が振幅の増加より大きかった。

3. EUS は PUS に比べてより随意運動性が高かった。

4. 両括約筋の排尿サイクルに対応する機能は、括約増強反応 (右上向きのベクトル) と括約解除反応 (左下向きのベクトル) で表現することができ、ベクトルの方向と長さの変化から反応性の障害が推定できた。

5. 神経因性膀胱症例では、原則的にはベクトル長の短縮を含む種々の異常反応が認められ、TAD による括約筋機能の半定量的な診断が可能であると思われる。

稿を終えるにあたり、御校閲を賜りました折笠精一教授に謝意を表します。また、直接御指導、御助言を頂いた今林健一講師ならびに東北大学医学部鳴子分院の録木 健氏に深く感謝します。

文 献

- 1) 土田正義：排尿の神経支配。日泌尿会誌，80，1257—1277，1989。
- 2) 佐藤達夫，佐藤健次，高橋睦子：骨盤底の筋と神経支配。臨泌，43，25—34，1989。

- 3) Hutch, J.A.: A new theory of the anatomy of the internal urinary sphincter and the physiology of micturition. *J. Urol.*, 97, 705—712, 1967.
- 4) Bissada, N.K., Finkbeiner, A.E. and Welch, L. T.: Lower urinary tract pharmacology I. Anatomical considerations. *Urology*, 9, 107—113, 1977.
- 5) Gosling, J.A.: A comparative study of the human external sphincter and perineal levator ani muscles. *Brit. J. Urol.*, 53, 35—41, 1981.
- 6) 徳中莊平，藤井敬三，岡村廉晴，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。
- 7) Vereecken, R.L. and Verduyn, H.: The electrical activity of the paraurethral and perineal muscles in normal and pathological conditions. *Brit. J. Urol.*, 42, 457—463, 1970.
- 8) Blaivas, J.G., Labib, K.L., Bauer, S.B. and Retik, A.B.: A new approach to electromyography of the external urethral sphincter. *J. Urol.*, 117, 773—777, 1977.
- 9) 八竹 直：外尿道括約筋。日泌尿会誌，80，1855—1865，1989。
- 10) 安田耕作，浜 年樹，中山朝行，香村衡一，山城豊，島崎 淳，服部孝道，平山恵造：Detrusor Sphincter Dyssynergia—脊損以外の各種排尿障害患者における発現頻度と外括約筋々電図所見一。日泌尿会誌，73，988—995，1982。
- 11) 信野祐一郎：神経因性膀胱における排尿筋括約筋協調不全の検討。第1報。Type分類とmotor unitsの解析。日泌尿会誌，80，1436—1442，1989。
- 12) Stålberg, E., Chu, J., Bril, V., Nandedkar, S., Stålberg, S. and Ericsson, M.: Autonomic analysis of the EMG interference pattern. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 56, 672—681, 1983.
- 13) Aanestad, O., Flink, R. and Stålberg, E.: Interference pattern in perineal muscles: I. A quantitative electromyographic study in normal subjects. *Neurourol. Urodyn.*, 8, 1—9, 1989.
- 14) Kuru, M.: Nervous control of micturition. *Physiol. Rev.*, 45, 425, 1965.
- 15) Barrington, F.J.F.: The nervous mechanism of micturition. *Quart. J. Exp. Physiol.*, 8, 33—71, 1914.
- 16) Bradley, W.E.: Physiology of the urinary bladder, in Campbell's Urology, (5th Ed.) ed., by Walsh, P.C., Gittes, R.F., Perlmutter, A.D. and Stamey, T.A., p. 129—185, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1986.
- 17) Griffiths, D., Holstage, G., Dalm, E. and de Wall, H.: Control and coordination of bladder and urethral function in the brainstem of the cat. *Neurourol. Urodyn.*, 9, 63—82, 1990.
- 18) de Groat, W.C.: Nervous control of the urinary bladder of the cat. *Brain Res.*, 87, 201—211, 1975.
- 19) Abrams, P., Blaivas, J.G., Stanton, S.L. and Andersen, J.T.: Standardisation of terminology of lower urinary tract function. *Neurourol. Urodyn.*, 7, 403—427, 1988.

(1992年2月13日受理)