

膀胱外括約筋の筋電図に関する研究：第3報

膀胱外括約筋の筋電図に影響をおよぼす因子についての動物実験成績

大阪大学医学部泌尿器科学教室（主任：園田孝夫教授）

中新井 邦 夫

AN ELECTROMYOGRAPHIC STUDY ON THE ACTIVITY OF
EXTERNAL VESICAL SPHINCTER, THE THIRD REPORT:
AN EXPERIMENTAL STUDY ON FACTORS AFFECTING
ON EMG OF BULBOCAVERNOSUS MUSCLE

Kunio NAKAARAI

*From the Department of Urology, Medical School, Osaka University**(Chairman: Prof. T. Sonoda, M. D.)*

Several factors affecting EMG of bulbocavernosus muscle were studied on male rabbit. Affecting factors such as tensions of the bladder wall induced by variable pressures exerted on the bladder, rhythmic activity of the urinary bladder, electric stimulation of the pelvic nerve and the hypogastric nerve and stimulations to different portions of the bladder mucosa were studied by means of EMG of the bulbocavernosus muscle. EMG of vas deferens was also studied in occasion of electric stimulation of the pelvic nerve and the hypogastric nerve.

The following results were obtained.

- (1) The activity of bulbocavernosus muscle had the closest relation to the tension of the bladder wall but had no relation to the rhythmic activity of the bladder itself.
- (2) Electric stimulations of the pelvic nerve as well as the hypogastric nerve revealed inhibiting effects on the activity of the bulbocavernosus muscle. This inhibiting effects were much more prominent in electric stimulation of the hypogastric nerve than that of the pelvic nerve. But no complete inhibition was seen in contraction of bulbocavernosus muscle produced by bulbocavernosus reflex.
- (3) Stimulations on the mucosa of the bladder neck produced prompt and effective contractions of the bulbocavernosus muscle reflectively.
- (4) Reactive spike discharge in EMG of bulbocavernosus muscle was brought immediately after the electric stimulation on the glans penis. But there was a latent time between the reactive spike discharge in EMG of bulbocavernosus muscle and the electric stimulation on the mucosa of the bladder neck.

膀胱外括約筋の筋電図について、正常者と神経損傷患者について、それぞれ特徴的所見を明らかにしてきたが（中新井ほか1968, 1969, 1970, 1971）、この報告では、膀胱外括約筋の筋電図に影響をおよぼす因子について、とくに膀胱の収縮運動、膀胱粘膜の相異なる部位の刺

激、骨盤神経および下腹神経の刺激などが、膀胱外括約筋の筋電図にどのような影響をおよぼすかを、動物実験によって検討したので報告する。

実 験 方 法

- (1) 実験材料および麻酔：体重 2 kg 以上の雄性成

熟家兎を用い、体重当り 0.4 cc の 50 mg/ml ネンブ
 タール静注による全身麻酔のもとに実験をおこな
 った。実験は総計20羽の家兎について、全例背臥位でお
 こなった。

(2) 電極の装着：電極としては、球海綿筋には市販
 の 20 mm, 1/4 の双心針電極を刺入した。

この刺入は経皮的におこない、実験中は刺入部を変
 えず、実験の終りに解剖して、電極の刺入部が球海綿
 筋であることを確かめた。神経刺激用の電極としては
 脳波用の電極を切断し、細い導線1本のみを露出し、
 他の導線部分は切り離し、断端に厚くエナメルを塗布
 しその上を絶縁テープで被覆したものをを用い、細い導
 線を神経に引っかけ、極間距離約 3 mm の双極とし
 た。下腹神経は、大動脈分岐部の下で上から交感神経
 幹をたどって見だし、大動脈分岐部の下方で
 電極を装着した。骨盤神経は、直腸を圧排して、仙骨
 前面より膀胱壁にいたる神経束を確認のうえ、その神
 経束に電極を装着した。このいずれの神経についても
 切断することなく実験をおこなった。これとは別に魚
 釣のハス釣用の釣針の先をよくとぎ、釣針の返しの部
 分をとき去り、先をさらに鋭くしたものに、脳波用の
 導線をハンダづけしたものをを作り、釣針の先端部を残
 してエナメルで絶縁したもの2本を、膀胱三角部の膀
 胱壁に漿膜側から全層を貫通して刺入し、極間距離
 5 mm の双極として、これは膀胱壁の筋電図を記録す
 るためのものとした。

さらに骨盤内の精管に、市販の 20 mm, 1/4 の双心
 電極を筋層に刺入して、精管の筋電図を記録した。

電気刺激をおこなう場合には、電圧5ボルト、持続
 1 msec でおこなった。

(3) 手術の順序：まず球海綿筋に市販の双心針電極
 を刺入したのち、筋電図を記録し、そのご膀胱内の尿
 はそのまま腹壁を開き、膀胱壁の緊張性と球海綿筋
 の筋電図との関係をしらべたあと、下腹神経、骨盤神
 経、膀胱三角部の膀胱壁、骨盤内の精管に電極を挿入
 した。それぞれ実験をおこない、最後に膀胱を開い
 て、膀胱粘膜面の触刺激・電気刺激などをおこな
 った。膀胱内の尿量は適宜尿道内に4号ネラトンカテ
 テルを挿入して調節した。

(4) 検討した事項：腹壁の緊張を除いた膀胱の弛緩
 状態、膀胱壁に外から圧力を加えた場合、膀胱内の尿
 量に変化する場合などのそれぞれの場合に筋電図的な
 膀胱の律動的収縮の状態が変化するが、それぞれの状
 態に対応する外括約筋の筋電図の変化について検討し
 た。

つぎに下腹神経および骨盤神経の電気刺激をおこな

って、その電気刺激に対応する膀胱、膀胱外括約筋お
 よび精管の運動状態とを対比して検討した。

さらに、膀胱を開いて、膀胱頸部とその他の部位に
 粘膜側から触刺激および電気刺激を加えた場合の外括
 約筋の電気的活動の変化について検討した。

実験結果

1. 膀胱壁の緊張性と膀胱外括約筋の筋電図

膀胱内に尿が充満しているとき、球海綿筋の筋電
 図には連続するスパイク発射が認められるが (Fig. 1
 上)、この状態のときに腹壁を開いて膀胱壁に対する
 腹筋の圧迫を去り、緊張性の影響が膀胱壁におよば
 ないようにするとき、さきにもみられたスパイク発射の頻
 度はいちじるしく減少する (Fig. 1 下)。

つぎに膀胱内の尿量を約 50 cc とすれば、球海綿筋
 の筋電図はスパイク発射がまったく認められず電気
 的静止状態となるが、そのとき膀胱に軽く手圧を加え
 ると、球海綿筋の筋電図には、ただちに反応する連続
 するスパイク発射が認められる (Fig. 2)。

膀胱の筋電図に認められる律動的収縮運動の頻度が
 少ない場合でも、膀胱内に尿の充満状態がある場合
 (Fig. 3 上) や膀胱に外から圧力が加わる場合 (Fig. 2
 下) などには、いちじるしく頻回のスパイク発射が認
 められた。さらに骨盤神経電気刺激後などで、膀胱に
 強縮状態がみられ、膀胱がかたく収縮している状態
 でも、膀胱内の尿量が少ない場合は、球海綿筋に認め
 られるスパイク発射の頻度はあまり高くない (Fig. 3
 下)。

2. 神経刺激と筋電図

骨盤神経の電気刺激をおこなうと、球海綿筋の筋電
 図に刺激前認められたスパイク発射はいちじるしくそ
 の頻度を減ずるが、1秒間1回の電気刺激では、その
 筋電図にみられる自発的スパイクを完全に抑制するこ
 とができない場合もあった。またこのさいは、膀胱の
 筋電図の電気的活動は著明に増加することが認められ
 た (Fig. 4)。またしばしば尿道から尿が流出するこ
 とが認められた。

下腹神経の電気刺激では、刺激前に球海綿筋に認め
 られるスパイク発射は、著明に抑制され、その抑制の
 効果は、骨盤神経の電気刺激の場合よりも著明であ
 った (Fig. 5)。また膀胱の筋電図にみられる電気的活
 動も著明に抑制されることが認められた (Fig. 5)。

球海綿筋の収縮運動に対して下腹神経電気刺激の抑
 制効果がどの程度のものであるかを検討する目的で、
 球海綿反射に対する抑制効果を検討した。陰茎龜頭部
 に刺激を加える場合、触刺激を加えたとき、触刺激を

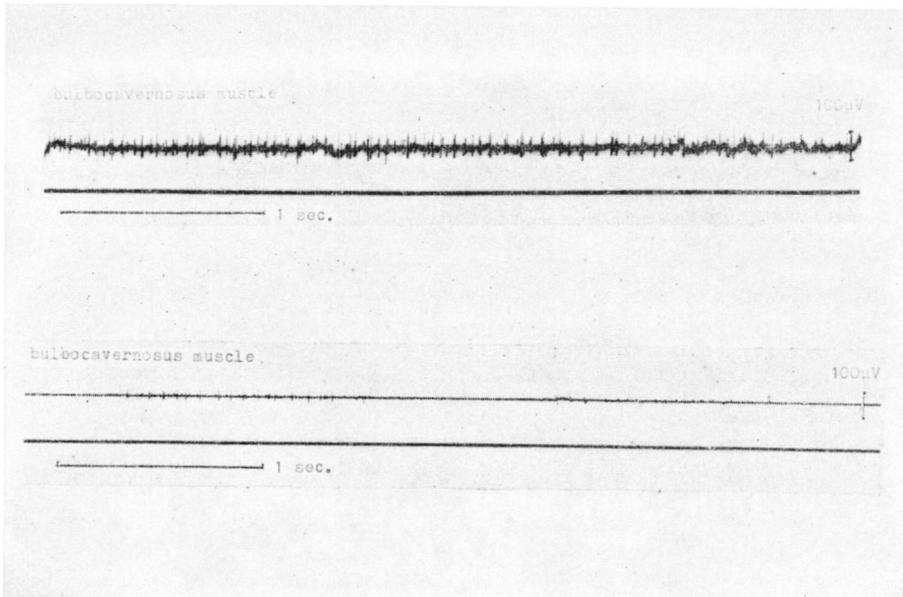


Fig. 1.

上段：膀胱内に尿が充滿しているとき，球海綿筋の筋電図に連続するスパイク発射が認められる。

下段：このとき腹壁を開いて，膀胱壁に対する腹筋の圧迫を去るときスパイク発射の頻度はいちじるしく減少する。

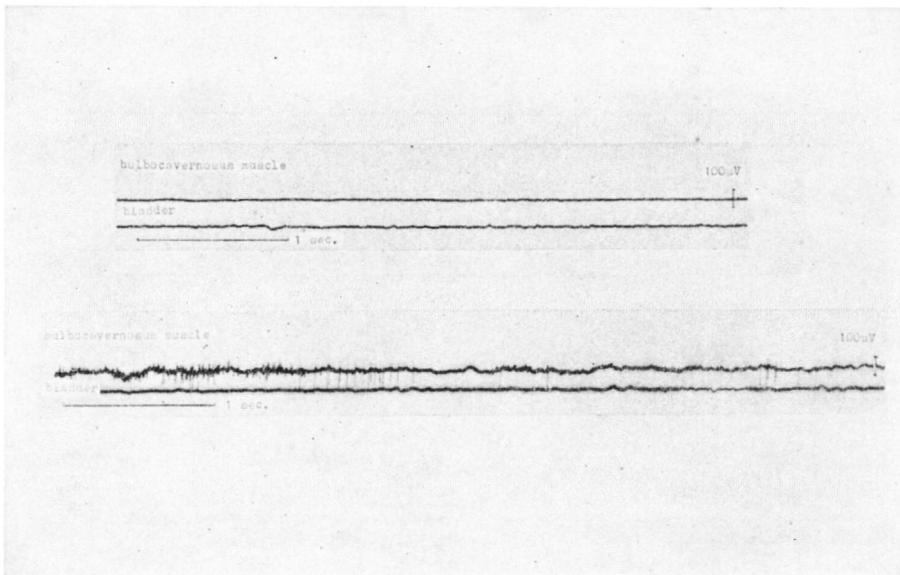


Fig. 2 各段とも上は球海綿筋の筋電図，下は膀胱壁の筋電図。

上段：腹壁を開いた状態で，膀胱内の尿量 50 cc，球海綿筋の筋電図は電氣的静止状態。

下段：そのとき膀胱壁に軽く手圧を加えると，球海綿筋の筋電図には連続するスパイク発射が認められる。

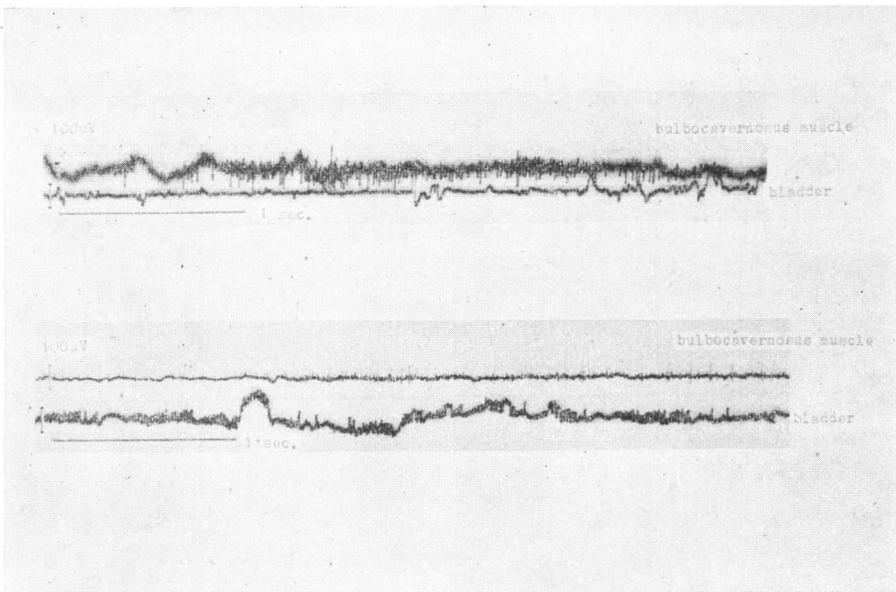


Fig. 3.

上段：膀胱に尿が充滿しているとき、球海綿筋の筋電図と膀胱壁の筋電図。
 下段：骨盤神経電気刺激後で膀胱に強縮状態がみられるが、膀胱内の尿量が少ないときの球海綿筋の筋電図と膀胱壁の筋電図。

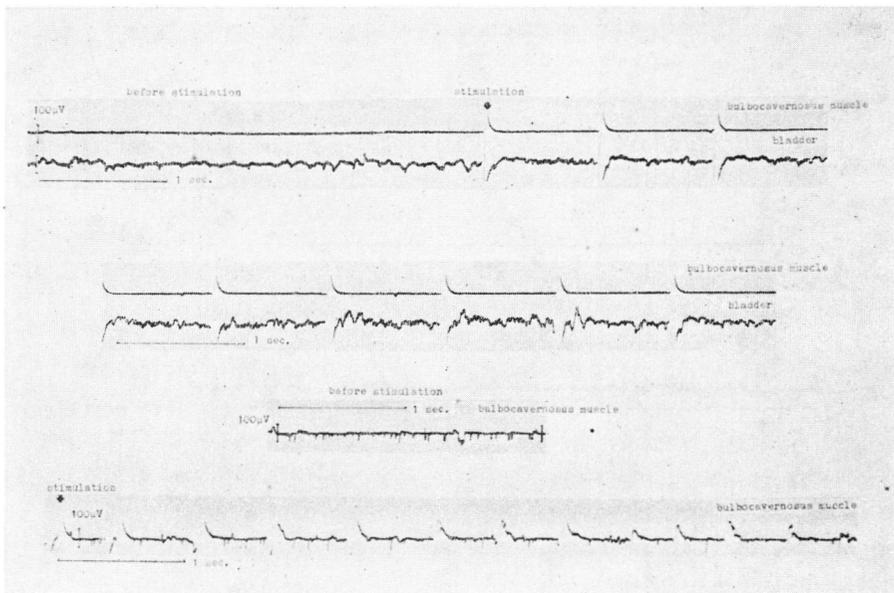


Fig. 4. 骨盤神経の電気刺激と球海綿筋および膀胱壁の筋電図。

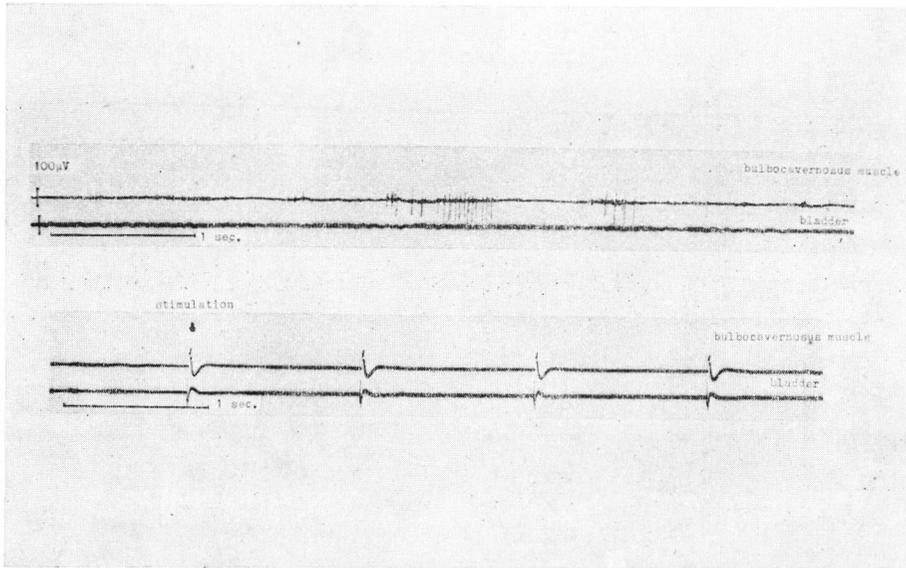


Fig. 5. 下腹神経の電気刺激と球海綿筋および膀胱壁の筋電図.

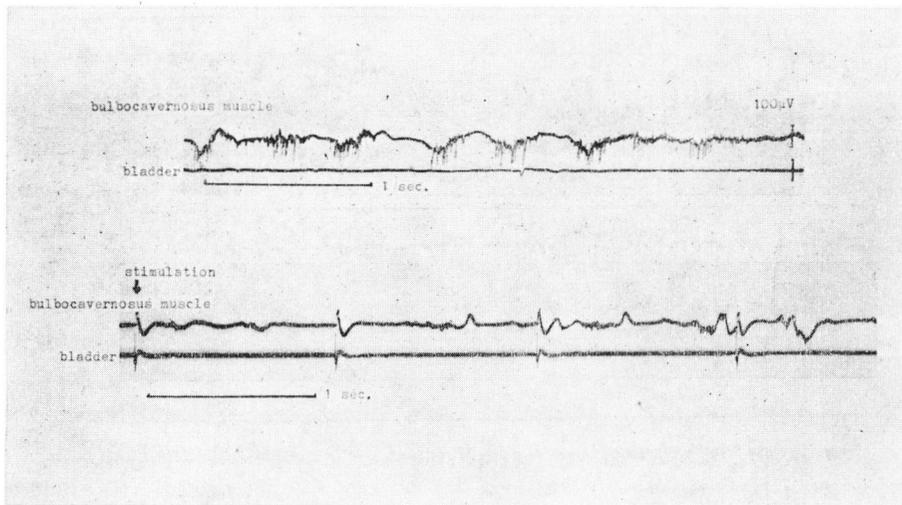


Fig. 6. 球海綿反射と下腹神経電気刺激。
上段：陰茎龟头触刺激のさい，球海綿筋に群化した放電が認められる。
下段：その状態で下腹神経を電気刺激。

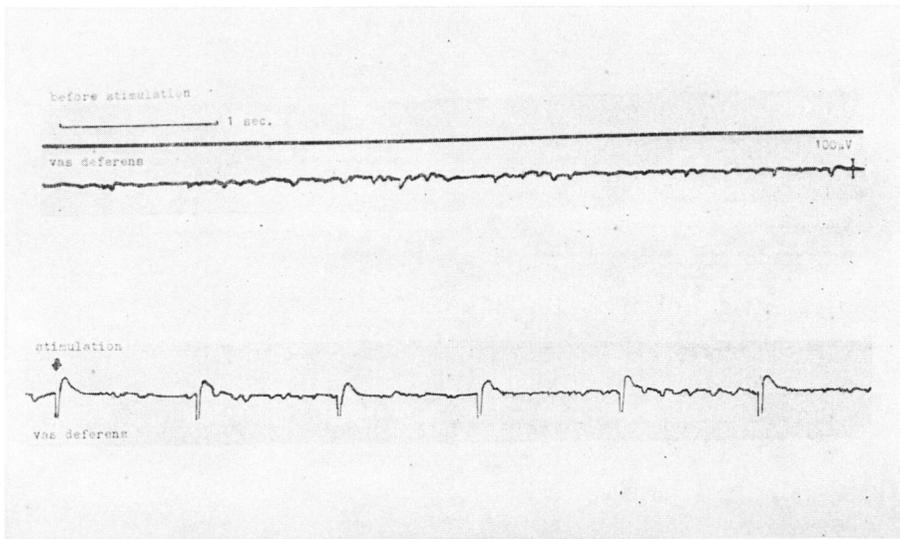


Fig. 7. 骨盤神経の電気刺激と精管の筋電図.

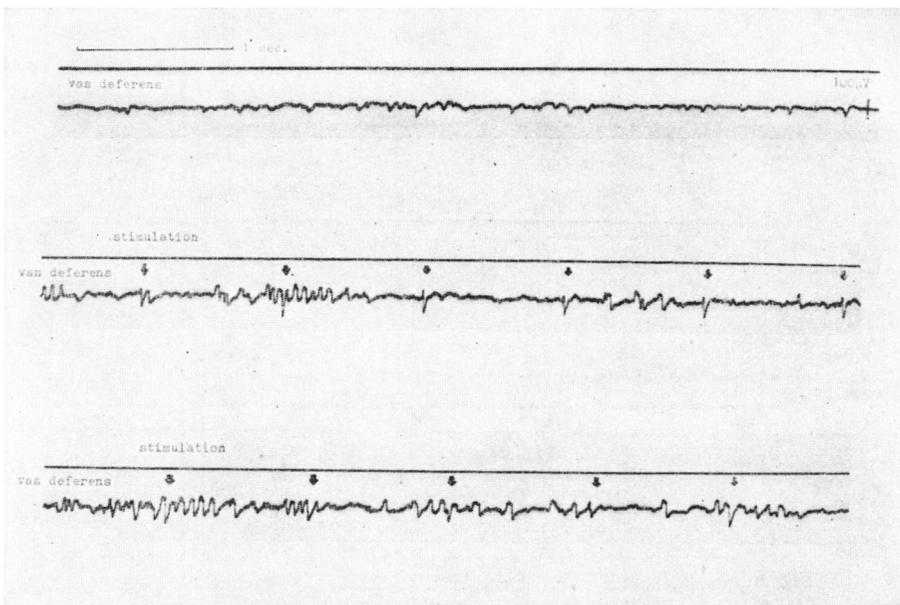


Fig. 8. 下腹神経の電気刺激と精管の筋電図.

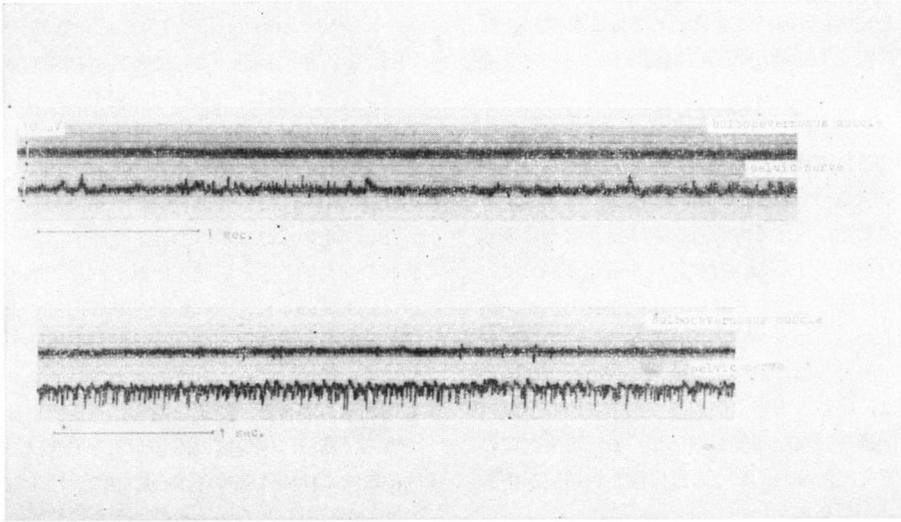


Fig. 9. 膀胱粘膜面の触刺激と、球海綿筋および骨盤神経の活動電位。
上段は膀胱頂部の粘膜面の触刺激、下段は膀胱頸部の粘膜面の触刺激。

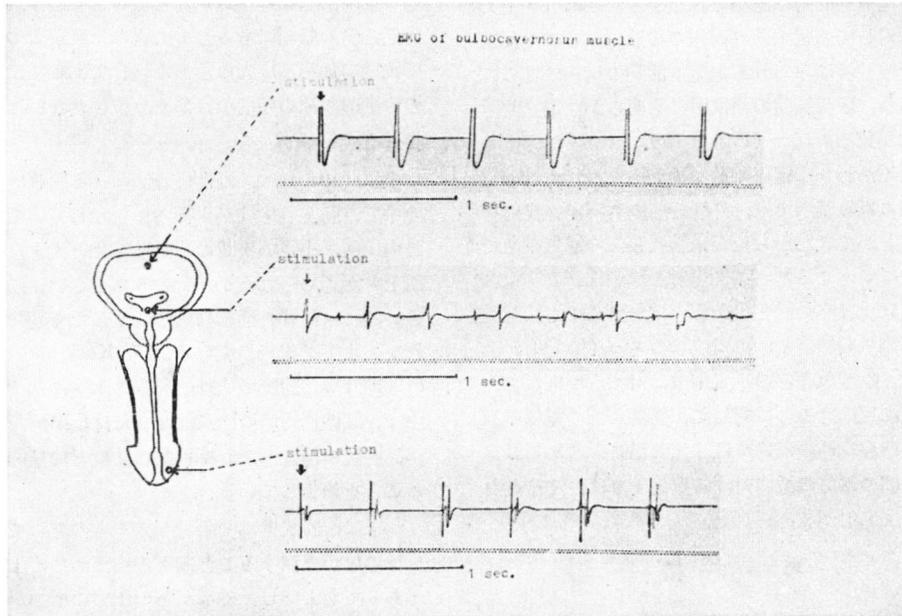


Fig. 10. 膀胱頂部，膀胱頸部，陰茎亀頭部の電気刺激と球海綿筋の活動電位。

去るさいに球海綿筋にいちじるしい収縮状態が認められ、筋電図的には著明な群化した放電が認められる (Fig. 6 上). 下腹神経の電気刺激をおこなうと、この高頻度の電氣的活動が著明に抑制され、スパイク発射の頻度は減少し、またスパイクの振幅はいちじるしく低電位となるが、この抑制効果はスパイク発射を完全に抑制するほど強力ではない。群化した放電の傾向も依然として認められる (Fig. 6 下).

精管の運動性に対する骨盤神経および下腹神経電気刺激の影響を検討すると、骨盤神経の電気刺激では、精管の筋電図的な運動状態はほとんど不変であるか、やや抑制的であることが認められるが (Fig. 7), これに対して下腹神経の電気刺激では、精管の筋電図的な運動状態は、いちじるしく促進的である (Fig. 8).

単位時間当りの収縮頻度が増加し、また単位収縮の振幅も高電位となった。しばしば尿道から精液が排泄されることが認められた。

3. 膀胱粘膜面への刺激と球海綿筋の筋電図

膀胱を開いて粘膜面を露出し、ゾンデの先端で膀胱頂部と膀胱頸部の粘膜面に接触刺激を加えた。この刺激に伴って、骨盤神経には電氣的活動の増加が認められたが、膀胱外括約筋の筋電図はまったく静止状態であって、電氣的活動は認められなかった (Fig. 9 上).

これに対して膀胱頸部に同様の接触刺激を加えた場合は、骨盤神経にみられる電氣的活動の増加はさらに著明であり、球海綿筋の筋電図にも明らかな電氣的活動の増加が認められた (Fig. 9 下).

触刺激のかわりに電気刺激を用いると (Fig. 10), 膀胱頂部の電気刺激では、外括約筋にスパイク発射を認めることができなかったが、膀胱頸部の電気刺激では、刺激に対応するスパイク発射が球海綿筋の筋電図に認められた。また陰茎亀頭部の電気刺激でも膀胱頸部の電気刺激同様、刺激に対応するスパイク発射が認められた。陰茎亀頭部の電気刺激に対する反応がきわめて迅速に反応するのに対して、膀胱頸部の電気刺激に対する球海綿筋の反応には一定の潜時が認められ、陰茎亀頭部の電気刺激に対する反応よりは、やや遅れてスパイク発射が認められた。

考 察

(1) 膀胱壁の緊張性と球海綿筋の筋電図

われわれの実験結果からは、球海綿筋の筋電図的活動は、膀胱壁の緊張性に関係し、膀胱自身の律動的収縮運動の頻度とはむしろ関係がないことが結論できる。この事実は、筋電図を用いない研究では、すでに1940年に小川によって報告されている。

膀胱内容の増加に伴う外括約筋の反射的収縮活動の増加については、従来からよく知られている (Garry et al., 1959; Franksson and Petersén, 1955; Newman, 1949; 中新井, 1968). このような外括約筋運動の性質を規制するものは、この反射系の中で、骨盤神経の求心性線維における興奮性が、大きな役割を演ずるものと考えられる実験成績がある (Iggo, 1955). すなわち Iggo (1955) は、骨盤神経叢で単一の求心性線維を見だし、その求心性線維における電氣的活動の変化を、膀胱の受動的拡張と膀胱の能動的収縮運動のそれぞれについて検討した。その結果、膀胱内容が少ない場合は、膀胱の律動的収縮に伴う骨盤神経求心性線維の電氣的活動の増加は認められず、この電氣的活動がもっとも増加する場合は、膀胱の内容が急速に増加する場合である。膀胱に中等度の内容がある場合は、膀胱の律動的収縮に伴い骨盤神経求心性線維における電氣的活動の増加が認められるが、その場合も連続的に電氣的活動が認められるのではなく、律動的収縮のうち、膀胱内圧の上昇期にのみ認められ、膀胱内圧の下降状態および律動的収縮相互の間で内圧変動のない時期には電氣的活動は認められない。

このような骨盤神経求心性線維の活動が、膀胱外括約筋の反射的収縮のひきかえとなるものとすれば、膀胱外括約筋の収縮にもっとも大きな影響をもつものは、膀胱壁に加わる圧力の急激な変化であって、膀胱自身の律動的収縮の頻度にはあまり関係がないことが推定される。

小川 (1940) は、慢性瘻管法による膀胱機能の研究の中で、膀胱利尿筋が平衡内圧を示している場合、膀胱内圧には小さい不断の律動性変化と大きな突発的内圧上昇が認められるが、そのうち小さい律動的収縮のさいには、膀胱外括約筋緊張にまったく変化が認められない事実を報告している。また Kock and Pompeius (1963) は、膀胱の律動的収縮の本態に関する研究の中で、肛門括約筋の随意的なまたは反射的な収縮運動が、膀胱の律動的な収縮運動の頻度とは無関係に起こることを報告している。

つぎに、膀胱壁に緊張を与えるものとしては、膀胱自体に尿が充満することによる内部からの圧力の増加があってもよいし、外部からの圧力の増加があってもよく、それぞれの状態に応じて、球海綿筋の筋電図に電氣的活動の増加が認められる。そして腹壁を開いて膀胱がその拡張に対して外部からの抵抗を受けない状態は、球海綿筋を含めて膀胱外括約筋群の収縮が起こりがたい状態にある。日常の生理的な運動状態では、尿の充満に伴う膀胱壁の伸展と、拡張した膀胱に加わ

る腹筋の抵抗の増加とがあいまって、膀胱外括約筋の反射的収縮が出現するものと考えられる。この反射的外括約筋収縮は、膀胱自身の律動的収縮の頻度とは無関係に出現する。

(2) 神経刺激と球海綿筋の筋電図

(a) 下腹神経の電気刺激に関して

下腹神経の電気刺激が、膀胱に対して一過性の収縮効果のあとに著明な弛緩効果をもたらすことは、古くから知られている (Elliott, 1907; Langley and Anderson, 1895, 1896; Sherrington, 1892; Stewart, 1899; Edmund and Roth, 1920)。また三角部と内尿道口の緊張亢進、前立腺・精囊腺・精管の筋肉の収縮、三角部の血管の収縮などが知られている (Learmonth, 1931)。さらに、下腹神経の電気刺激は、前立腺の分泌液を増加させる (Eckhard, 1863; Mislavsky and Bormann, 1898; Farrell and Lyman, 1937; Lebeaux and Smith, 1966; Smith and Lebeaux, 1970) などの報告がある。しかし下腹神経の電気刺激と外括約筋との関係について検討した報告はない。

われわれの実験成績では、下腹神経の電気刺激も骨盤神経の電気刺激も、ともに球海綿筋の収縮に対して抑制的に作用することを認めたが、その効果は、下腹神経の電気刺激のほうが強いように考えられた。しかし、その抑制効果も、球海綿反射にみられる球海綿筋の反射的収縮を完全に抑制することはできなかった。しかし下腹神経の電気刺激が球海綿筋におよぼす抑制効果は、一義的に下腹神経刺激の効果のみとは限らない。なぜなら、この刺激効果もつ膀胱の収縮運動に対する抑制および膀胱壁の緊張亢進に対する抑制作用が、ともに外括約筋の収縮に対して抑制的に作用することが考えられるからである。

精管の運動状態は、下腹神経の電気刺激でいちじるしく促進されている。刺激前に比して収縮活動の頻度も増加し、また収縮活動も増加し、尿道からの精液の排出も認められた。これに対し、骨盤神経の電気刺激では、精管の運動状態はほとんど影響されないか、わずかに抑制されている。

実際の射精のさいの外括約筋の筋電図では、射精の直前に数秒続く著明な収縮状態が泌尿生殖器隔膜に認められ、射精に伴って、尿道膜様部の括約筋は律動的な収縮と電氣的静止状態とが相混じて認められる (Kollberg, Petersén and Stener, 1962)。実際の射精の場合は、龟头部などに刺激が加わっていること、つまり常に球海綿反射を生起する刺激が加わっている事実を考えてみると、むしろ律動的収縮と解釈される筋電図上の群放電と群放電の間の電氣的静止状態は、下

腹神経の興奮状態がもたらす外括約筋の反応であると考えられる。

下腹神経の電気刺激は、外括約筋の収縮状態に対して抑制的ではあるが、球海綿筋反射によってひき起こされる外括約筋の収縮状態を完全に抑制するほど強力ではないというわれわれの実験成績は、さきにした点で Kollberg ら (1962) の実験成績と矛盾するものではないと考える。

(b) 骨盤神経の電気刺激に関して

骨盤神経の電気刺激も、下腹神経の電気刺激同様、膀胱外括約筋の収縮に対して抑制的に作用するが、下腹神経の電気刺激の抑制効果に比較して、それほど強い抑制効果ではなかった。しかし、この点については骨盤神経の電気刺激がひき起こす膀胱壁の緊張亢進や、膀胱自体の収縮による内圧の上昇などが反射的に球海綿筋におよんで、球海綿筋の完全な弛緩をひき起こすことができなかった場合も考えなければならない。われわれの実験では、骨盤神経を切断することなくおこなった実験であるので、このような副次的な因子を除外することができなかったが、骨盤神経を切断してその中心側を刺激した実験では、骨盤底筋肉群の著明な抑制効果が得られている (Kuru, 1965)。骨盤神経切断後、その中心側断端の電気刺激により、腹筋と横隔膜の収縮と骨盤底筋肉群の弛緩が見られるとするもので、久留はこの現象を一括して pelvico-abdomino-perineal reflex と呼び、この反射の中核が延髄の側核にありとし、その輸入路は pelvic sensory vagus と sacrobulbar tract を通ると述べている。

(3) 膀胱粘膜面への刺激と球海綿筋の筋電図

膀胱粘膜面への刺激が、球海綿筋の収縮をひき起こす効果については、上記の実験結果から膀胱頸部に加えられる刺激が、もっとも球海綿筋の収縮をひき起こす効果が大きいことがわかる。膀胱頂部に加えられる刺激では、外括約筋にほとんど収縮効果をひき起こすことがない。この所見は、それぞれの触刺激で骨盤神経内にひき起こされる電氣的活動の状態についても同様であって、膀胱頸部に加えられる刺激がもっとも骨盤神経の興奮をひき起こすものであることがわかる。また膀胱頸部に加えられた電気刺激と陰茎龟头部に加えられた電気刺激が、それぞれ外括約筋に反応性収縮をひき起こすまでの時間に相違があることは興味のある点で、それぞれの刺激の伝導経路や、伝導速度などについて今後研究する必要がある。

結 語

膀胱外括約筋の筋電図に影響を与える因子を

研究する目的で、成熟雄性家兎を用い、膀胱外括約筋として球海綿筋を選び、動物実験をおこなった。膀胱壁の伸展刺激および膀胱の律動的収縮と外括約筋の収縮状態、骨盤神経および下腹神経の電気刺激が膀胱外括約筋の筋電図ならびに精管の筋電図におよぼす影響、膀胱粘膜面の異なった部位の刺激が膀胱外括約筋の筋電図におよぼす影響などを検討して報告した。その結果、球海綿筋の収縮活動は、

(1) 膀胱壁の緊張性に大きな影響を受け、膀胱の律動的収縮の頻度とは無関係であること、

(2) 骨盤神経および下腹神経の電気刺激は、ともに球海綿筋の収縮活動を抑制するが、下腹神経の電気刺激のほうが抑制効果が大きいこと、

(3) 膀胱粘膜面の刺激では、膀胱頸部の刺激がもっとも球海綿筋の収縮をひきおこしやすいこと、

(4) 膀胱頸部の電気刺激が球海綿筋に収縮をひき起こす反応には、一定の潜時があること、などを報告した。

参 考 文 献

- 1) Eckhard, C.: Beitr. Anat. Physiol., 3: 123, 1863.
- 2) Edmund, C. W. and Roth, G. B.: J. Pharm. Exp. Therap., 15: 189, 1920.
- 3) Elliot, T. R.: J. Physiol., 35: 367, 1907.
- 4) Farrell, J. I. and Lyman, Y.: Amer. J. Physiol., 64: 118, 1937.
- 5) Franksson, C. and Petersén, I.: Brit. J. Urol., 27: 154, 1955.
- 6) Garry, R. C., Roberts, T. D. M. and Todd, J. K.: J. Physiol., 149: 653, 1959.
- 7) 小川敏夫: 日泌尿会誌, 29: 1027, 1940.
- 8) Iggo, A.: J. Physiol., 128: 593, 1955.
- 9) Kock, N. G. and Pompeius, R.: Invest. Urol., 1: 253, 1963.
- 10) Kollberg, S., Petersén, I. and Stener, I.: Acta Chir. Scand., 123: 478, 1962.
- 11) Kuru, M.: Physiological Reviews, 45: 425, 1965.
- 12) Langley, J. N. and Anderson, H. K.: J. Physiol., 19: 71, 1895.
- 13) Langley, J. N. and Anderson, H. K.: J. Physiol., 20: 372, 1896.
- 14) Learmonth, J. R.: Brain, 54: 147, 1931.
- 15) Lebeaux, M. I. and Smith, E. R.: Invest. Urol., 3: 625, 1966.
- 16) Mislawsky, N. and Bormann, W.: Zbl. Physiol., 12: 181, 1898.
- 17) 中新井邦夫: 臨床脳波, 10: 357, 1968.
- 18) 中新井邦夫・竹内正文・桜井島・栗田孝・高橋香司: 泌尿紀要, 15: 611, 1969.
- 19) 中新井邦夫・桜井島・竹内正文・栗田孝: 泌尿紀要, 16: 141, 1970.
- 20) 中新井邦夫: 臨床脳波, 13: 346, 1971.
- 21) Newman, H. F.: Arch. Neurol. Psychiat., 61: 445, 1949.
- 22) Smith, E. R. and Lebeaux, M. I.: Invest. Urol., 7: 313, 1970.
- 23) Stewart, C.: Amer. Journ. Physiol., 2: 182, 1899.

(1972年1月19日受付)