直腸肛門反射の構成因子に 関する実験的研究

総合太田病院小児外科

難波 貞夫*

東海大学医学部 第一生理学教室

高比良 英輔

ELEMENTARY COMPONENTS OF RECTO-ANAL REFLEX
OBSERVED IN DECEREBRATE DOGS AND CATS.

Sadao NAMBA*

*Department of Pediatric Surgery,
Ohta General Hospital, Ohta, Gunma, 373*

Hidesuke TAKAHIRA

*Department of Physiology 1, Tokai University School
of Medicine, Isehara, Kanagawa, 259-11*

The electrical activities of three peri-anal muscles; internal anal sphincters, external anal sphincters and anal longitudinal muscles in decerebrate dogs and cats, were recorded by single, bipolar, macro-electrodes with identical methods, as those described by Ihara & Takahira (1984) and by Tamura & Takahira (1985). The overwhelming activity could vary in different experiments, however, the activity of internal sphincters-slow spikes, was mostly revealing in majority of experiments.

The waxing and waning amplitudes of internal sphincter-slow spikes were seen in almost all records, but their waxing cycles were not synchronized between different recording foci in single animals. Further, such alteration of spike size did not directly correlate with detectable change of anal canal pressure. Rather, the waxing and waning of slow spikes seem to be due to a 'beating' of pacemaker waves, originated from multiple generators in internal sphincters. Intravenous injection of 'somatic' neuro-muscular blocking agent; suxamethonium chloride, did not cause any alteration of pressure level and of internal sphincter-slow spike rate, indicating that the anal canal pressure was primarily dependent on sustained activity of internal sphincters, not on tonic discharge of external sphincters.

The graded increase of distension volume in rectum brought about progressive lengthening of inhibition of internal sphincters, in turn, causing prolongation of falling phase of pressure in the recto-anal reflex. Although the tonic discharge of external sphincters in decerebrate animals was also completely inhibited by rectal distension, this silence did not induce any significant change in anal canal pressure. It is concluded that the external

* 現 東海大学医学部第一生理学教室

sphincter is not a tonic pressure-yielding element except a transient squeeze of anal canal, instead, it is a resistive element against complete relaxation of tonic pressure-yielding internal sphincter.

I. 緒 言

直腸肛門反射は、直腸伸展によって肛門内圧が下降する現象である。この際に観察される肛門内圧の静的水準および動的变化は、内(肛門)括約筋に依存するという一元説と、内括約筋のほか、横紋筋である外(肛門)括約筋、恥骨直腸筋も関与するという多元説があり(田村と高比良; 1985), 主に小児外科領域で論議されて来た(Stephens & Smith, 1971; 鈴木, 1971; 勝俣ら, 1976; 長寄, 1975; 葛西ら編, 1979, 1983)。

これまでの直腸肛門反射に関する研究は、主に肛門内圧測定を中心になされたものであり、一方生理学の分野では、外括約筋筋電図がいち早く同定され、外括約筋の研究に应用されていたにもかかわらず(Floyd & Walls, 1953; Kawakami, 1954; Bishop ら, 1956), 内括約筋

電気活動の同定は極めて遅く(Howard ら, 1968; Wankling ら, 1968; Kerremans, 1968; Bouvier & Gonella, 1981), その分析も不十分で、両括約筋の電気活動が同時に記録検討されたことはなかった(猪原と高比良, 1984; 田村と高比良, 1985 参照)。

著者らは本研究において、実験動物の肛門管内圧および内・外括約筋の電気活動を同時に記録し、内括約筋活動の自発性変動(高比良ら, 1985), 神経刺激による誘発性変動および筋弛緩剤の投与による外括約筋活動の影響等について観察した。また反射の入力である直腸伸展を定量化したとき、内括約筋及び外括約筋にかなる出力を生ずるかについて検討し、本反射の一元説, 多元説に関して、明確な結論をえようと試みたので報告する。

II. 実 験 方 法

実験対象は1978年から1979年にかけて行った雑種成犬36頭と成猫9匹および1983年に行った成犬13頭と成猫8匹で、その他に1980~1982年にかけて行った115例(成犬48頭, 生

後3カ月までの仔犬32頭, 成猫35匹)の実験のうち、本論文の主題に関係あるものを選んで参考とした。成犬の平均体重は10 kg, 仔犬は4 kg, 成猫は3 kgであった。

図1. 実験方法および直腸肛門管周囲の略図。直腸伸展用バルーン、内圧プローベ、双極電極の刺入部位などを示す。EAS: 外肛門括約筋, IAS: 内肛門括約筋, LAC: 肛門縦走筋, transducer-2によって直腸伸展の時間経過を記録(図5)。猪原ら(1984), 田村ら(1985)参照。

実験に用いた動物は、すべてラボナール (15 mg/kg) またはネンブタール (20 mg/kg) の麻酔下に気管切開、両側総頸動脈の結紮を行い、その後開頭し、前四丘体断位で吸引除脳後、約3時間を経た脱麻酔の状態にあった(猪原ら, 1984)。

仙骨神経刺激実験には除脳後、腰仙部の椎骨切除を行い、仙骨神経を露出し、さらに両側の大腿神経、坐骨神経を結紮切断した標本を用いた。

図1に肛門周囲筋と記録電極、直腸伸展用バ

ルーンおよび圧センサーの配置を示した。肛門管内圧はK-Y式直腸肛門内圧測定装置を用い、低圧用トランスデューサー(LPU-01A, 日本光電)に接続した。記録電極は0.3 mm径のステンレススティール製で、極間2 mm、尖端の絶縁ニスを1 mm剥離した双極針電極を用いた。基本的には3時と9時部位の肛門縁皮膚より内括約筋部に記録電極を刺入したが、時に6時部位にも、針が約1.5 mm皮下に刺入するように改良した画鋲製双極表面電極を装着し、括約筋

図2. 除脳犬(ネンブタール, ラボナールの併用麻酔で手術後4時間, 8.4 kg)の肛門管内圧, 内括約筋の自発性変動。Aは中速記録(2.5 mm/sec), Bは低速記録(0.5 mm/sec)。A,Bとも上より時標, 肛門管内圧, 左, 右, 6時の内肛門括約筋電気活動。Aの23~26の数字は、縦線で区分した1分間のリップルおよび内括約筋スパイク頻度。B右の矢印は、内括約筋スパイク抑制とそれに一致する内圧の下降を示す。

の3点から電気活動を導出した。

直腸伸展は、時標軸上に、直腸バルーンへの空気注入時間を手動スイッチにより印加したが、図5においては、直腸内バルーンへの空気注入管に三方括栓をおき(図1参照)、圧トランスデューサーに導いて、バルーン拡張の時間経過を同時記録した。

仙骨神経刺激実験には、電気刺激装置(SEN-3101, 日本光電)を用いて種々のパルスレインをつくり、それを双極白金電極によって、一侧の第1または第2仙骨神経前根の切断末梢端

に与えた。実験は、まづ外括約筋収縮(収縮の検出は圧センサーでの昇圧および肉眼による)の閾値(前根のAα線維閾値)をもとめ、この値を基準として他の刺激条件を設定した。

針電極で導出した電気活動は全て生体電気アンプ(AB601G, 日本光電)によって記録した。内括約筋の電気活動頻度は呼吸頻度に近いいため、原則として呼吸曲線を同時記録して、呼吸運動の混入によるアーチファクトの可能性を検討した。

III. 実験成績

A. 自発性変動の特徴

1. 内括約筋スパイクと内圧水準およびリップルとの関係

図2は、除脳犬から導出した肛門管内圧曲線、左および右内肛門括約筋のろスパイク(slow spike)、肛門縁6時部位の表面電極から得られたのろスパイクで、Aは2.5 mm/secの紙送り速度での記録、Bは振巾増減の特徴をさらに明確にするため、紙送り速度を0.5 mm/secに落としたときの記録である。この記録は、サクシニールコリン投与前のものであるから、A最下段ののろスパイクには外括約筋活動が重なっており、スパイクの基線が太くみえる。のろスパイク振巾の漸増漸減(Waxing and Waning)に

ついては、Bで明らかなように、増減周期は3つの各記録部位ごとに異なっている。スパイク頻度は、Aに示したように各部位ではほぼ等しく、 25 ± 1 /分の範囲にあるが、各点の間では同期するスパイクはない。内圧リップルの振巾にも増減を認める(図2A, 2Bの最上段)。リップルの振巾は、内圧水準の高低、スパイク振巾の変化の位相とは相関しなかった。のろスパイクと内圧変化の相関についてみると、図2Aおよび2B右側を除いた記録にあるように、各導出部位のスパイク頻度がほぼ同一である場合には、スパイク振巾の大小にかかわらず内圧水準には変動を認めないが、図2B右端矢印に示したように、内圧水準が下降する場合には、各導

図3. 除脳犬の肛門管内圧、内・外括約筋に対するサクシニールコリン(SCC20 mg)静注(時標のチャネルに示す)の効果。各チャネルの活動は図2と同じ。図2と同一の除脳犬による実験、破線の間で、のろスパイク頻度減少と対応する内圧下降がみられるが、外約筋の線維束性収縮とは時相がずれている。

出部位の1つ以上又は全てのスパイク振巾が強く抑制された。内圧が回復する過程では、スパイク頻度と振巾も回復した。各導出部位でのスパイク頻度の抑制が強い程、内圧は著明に下降した。

図4. 直腸・内括約筋抑制反射の入出力関係。伸展時間を一定(5秒)にして、伸展量を次第に増大したときの効果。ラボナール麻酔による除脳犬(7.5 kg)。A, B, Cとも上より時標(伸展のサイン), 肛門管内圧, 左内括約筋, 右内括約筋の電気活動。

2. 神経筋伝達ブロックの効果

横紋筋である外括約筋が、どの程度肛門内圧の産生と維持に関与するかを神経筋伝達ブロックを行って検討した。図3にその実験記録を示した。図2と同じ実験犬を用い、サクシニール

図5. 直腸・内括約筋抑制反射の入出力関係。伸展量(25 ml)を一定にして、伸展時間を次第に延長したときの効果。ラボナール麻酔による除脳犬(10.5 kg)。A, B, Cとも、上より時標、伸展の経過(図1の transducer-2による記録), 左, 右の内括約筋からの記録。

コリン 20 mg (2.4 mg/kg) を静注した。約 10 秒後から最下段の表面電極により、のろスパイクに重畳した速いスパイクとして横紋筋活動の亢進が認められ、ついで明瞭な線維束性収縮電圧 (fasciculation voltage) が大振巾のスパイクとして現れた。この収縮は、内圧曲線上に小さい

棘性変化として記録されたが、圧水準そのものの上昇はみなかった。約 30 秒後収縮は消失したが、各導出部位で内括約筋はやスパイクの頻度が減少し、これに対応して内圧は徐々に下降した (二つの破線に挟まれた期間)。約 60 秒後、のろスパイクはすべての導出部位で頻度と振巾を回復し、内圧水準も回復した。

B. 直腸内括約筋反射

1. 内括約筋抑制反射

a. 直腸伸展量増大効果

直腸への空気注入持続時間を 5 秒に一定して、注入量を漸増した結果を図 4 にしめた。図 4A では 10 ml 注入により、短持続 (3.5 秒) ののろスパイクの完全抑制が生じた。以後 12.5 ml 注入 (図 4B)、1.5 ml 注入 (図 4C) により次第に抑制の持続時間が 7 秒および 16.5 秒へと延長し、内圧曲線は底部のある下降波形を示した。15 ml よりさらに注入量を増しても、抑制の持続時間は延長しなかった。

b. 伸展時間延長効果

一般に体重 10 kg 前後の除脳犬では内括約筋スパイクを完全に抑制する直腸伸展量は 10 ml 前後のことが多いが、最大抑制時間をきたす伸展量とその絶対値は、標本によって相違があった。図 5 に示した記録は、直腸伸展用バルーンへの空気注入量を、反射を引き起こすのに十分な量 (25 ml) に固定して、注入時間を 3, 5, 20 秒と漸次延長したとき、対応する反射にいかなる変化が現れるかを検討したものである。図 5A で 3 秒、図 5B で 5 秒の直腸伸展を与えると、内括約筋スパイクの完全抑制時間はわずかに増して、3.5 秒から 4 秒となり、それに対応して内圧下降の持続が延長した。しかし図 5C で注入時間を 20 秒に延長しても、抑制時間は図 5B と同じ 4 秒より延長していない。図 4 と比較するとスパイクの完全抑制時間の最大値は極めて短い。ただし図 5B と図 5C では、反射の回復過程が異なっており、直腸伸展持続中には、のろスパイクの頻度が減少し、同時に内圧の回復が抑制された。

c. 仙骨神経前根刺激の強度増大と延長の効果

図 6. 左第二仙骨神経 (S_2) 前根切断末梢の電気刺激効果。各チャネルの活動は図 4 に同じ。刺激パルスは持続 0.1 ms、頻度 10 Hz、刺激時間 1 秒。刺激強度はそれぞれ A, B, C に示す。ラボナール麻酔による除脳犬 (7.5 kg) からの記録。

仙骨神経前根刺激の強度と刺激時間を定量的に変化させた時の、内・外括約筋活動の変化を検討した。

図6の実験では、外括約筋への神経・筋伝達ブロックはせず、左 S_2 前根切断末梢端を電気刺激した。図6Aは、0.2Vの強度で、 $A\alpha$ 運動ニューロンはすでに極大値に達しているが、外括約筋の強縮後さらに1秒の潜時をおいて、両側内括約筋に持続3秒の完全抑制が生じ、それ

に対応した内圧下降と、回復がみられた。刺激強度を0.3V(図6B)、0.4V(図6C)と漸増すると、そのスパイクの抑制時間はそれぞれ5秒、10秒とほぼ倍増した。図4で直腸伸展量を漸増した場合と同様の抑制過程の延長を認めた。刺激強度を0.5Vよりさらに増大しても、抑制時間はそれ以上延長しなかった。

図7は横紋筋への神経伝達をブロックした標本で、内括約筋抑制神経(副交感神経節前線維)

図7. 右第二仙骨神経(S_2)前根切断末梢端の電気刺激効果。刺激パルスの強度は一定(0.2V)、パルスの持続0.1ms、頻度20Hz。刺激時間はA:1秒、B:2秒、C:75秒。ラボナール麻酔による除脳犬(10.5kg)からの記録。ガラミンおよびサクシニールコリンにより非動化した標本。

の閾値に刺激のパラメーター(強度 0.2 V, パルス持続 0.1 ms, パルス頻度 20 Hz)を固定し, 刺激時間を 1 秒(図 7A), 2 秒(図 7B), 75 秒(図 7C)と延長して, 内括約筋の抑制効果を検討した結果である. 刺激部位は右第二仙骨神経前根切断末梢端である. 図 7A から B への刺激時間

を 2 倍にすると, 抑制時間は 5 秒から 12 秒に延長した. 刺激時間の延長(1 秒から 2 秒)は, 刺激パルスの総数を倍増(総数 20 パルスから 40 パルス)することになるが, 出力は単なる加算ではなく, 壁内神経節における時間的加重の効果も加わって, 抑制時間は倍以上になった(5 秒から 12 秒)ものと考えられる. また, この延長効果には限界があり, 図 7C に示したように同じパラメーターの刺激を与え続けても, のろスパイクの完全抑制は 24 秒までであり, 以後内括約筋スパイクは次第に出現し, 回復した. 回復過程は図 5C と同様で, スパイク振巾と頻度の完全な回復は, 電気刺激オフ後はじめて生じている.

2. 初期昇圧成分と筋電気活動

図 8 の実験では, 直腸肛門反射の初期昇圧成分を担う筋活動について検討した. 除脳猫の実験で, 直腸伸展に対し, 時に昇圧のみの応答と, それに対応する短潜時の内括約筋および肛門縦走筋の促進を観察した. 前者を直腸内括約筋促進反射とよぶと, 内圧変化上, 図 8A に示したような, 昇圧成分だけから成るものと, 図 8B, C のように抑制反射を伴う昇圧—降圧の 2 相性成分から成るものがあつた. 図 8C は促進反射だけのように見えるが, 矢印で示した部位では内圧水準の低下があり, それに対応した内括約筋スパイク頻度の減少が認められた. 図 8A はネブタール麻酔下で除脳した猫からの記録で, 直腸伸展前には内括約筋の自発活動が低下しており, 内圧水準も低く, 直腸伸展刺激後, 短潜時, 短持続, 高振巾の内括約筋スパイクバーストが両側に出現し, これに対応して内圧リップルの振巾の増大が明瞭に認められた. 同時に縦走筋バーストも誘発されているが, 内圧上昇とは時間的なずれがあつた. 図 8B では直腸伸展前に内括約筋の持続活動があり, 伸展後の初発の高振巾, 短持続スパイクに続く, スパイク頻度の増加が著明であつた. 図 8C では, 内圧曲線の上昇に比較し, 内括約筋スパイクの頻度増加は明らかではないが, 伸展後の初発スパイクの持続の短縮は両側に認められた.

図 8. 初期昇圧相に対応する内括約筋活動の促進. A: ネブタール麻酔による除脳猫(3.9 kg). 直腸伸展量 20 ml. B: ラボナール麻酔による除脳猫(4.0 kg). 直腸伸展量 40 ml. C: ラボナール麻酔による除脳猫(4.8 kg). 直腸伸展量 15 ml. C の矢印は内圧下降相を示す.

C. 直腸外括約筋反射

直腸伸展に対する外括約筋の応答について検討した。

1. 1次抑制反射 (Bishop-type)

除脳脱麻酔状態で、肛門内圧の記録と、内括約筋のろスパイクの上に、外括約筋の極めて活発な持続性発射を示すはやスパイク (スパイクの持続数ミリ秒) が重畳している状態の記録を図9に示した。外括約筋の活動が亢進している

ため、その線維束性収縮が、内圧曲線上に小さい棘性の変化としてリップルとは別に記録された。図9A, Bでそれぞれ12 ml, 15 mlの直腸伸展により外括約筋はやスパイクが抑制された。この反射の特徴は、内括約筋反射に比し、潜時が短いこと、入力量に比例して抑制の量と持続が増加することであった。図9Aに斜矢印で示した点で、右側(下段)外括約筋に一過性のスパイク発射が生じ、内圧にも対応する棘性の昇

図9. 直腸・内括約筋抑制反射および直腸・外括約筋抑制反射の同時記録。Aの斜矢印は外括約筋の防御反射とそれによる一過性の内圧上昇を示す。内圧曲線の三角印は、レベルを手動で変えたことを示す。ラボナール麻酔による除脳猫(3.8 kg)からの記録。

圧がみられるが、これは直腸バルーンへの空気注入の際、測定器の基部が動いたために生じた、一種の肛門反射(anal reflex)ないしは防御反射(guarding reflex)であろうと考えられる。しかし、図9Bで直腸注入量を増したにもかかわらず、この反射は出現しなかった。

一方同一入力によって生じた内括約筋の抑制は、外括約筋の抑制に比べて潜時が長く、入力量の増大(12 ml → 15 ml)は抑制時間の延長と

して現れている。図9A, Bの両者ともに、外括約筋の抑制が生じているにもかかわらず、内括約筋のろスパイクが維持されている間は、内圧は下降していない(左破線の部分に注意)。また外括約筋スパイクが抑制から回復して活発なろスパイク発射を生じてても、内圧には棘性の短い昇圧しか現れず、内圧水準の回復および回復相リップルは、内括約筋のろスパイクの再現に対応していた(Aの右破線より右の部分に注

図10. A・B: ラボナール麻酔による除脳犬(8.0 kg)からの記録。C・D: ラボナール麻酔による除脳猫(4.8 kg)からの記録。A, Cはサクシニールコリンによる外括約筋弛緩前、B, Dは弛緩後の反射。A, Cにおける*印は、外括約筋の遅延発射による内圧上昇を示す。

図11. 直腸肛門反射の入力・出力関係を示す略図。Aに直腸・内括約筋抑制反射を、Bに直腸・外括約筋抑制反射と遅延発射の時間経過を示す。内括約筋の活動として破線で示した部分は、初期昇圧に対応する促進現象。Eは筋活動の促進を、Iはその抑制を示し、内括約筋(A)の場合は、そのままEが昇圧、Iが降圧を示すと考えてよいが、外括約筋(B)の場合は、E, Iはただちに内圧の変化としては現われない。

意)。従って肛門管内圧は、直腸肛門反射において、内括約筋の変化のみに依存していて、外括約筋にはほとんど依存していないといえる。

2. 2次促進反射(遅延発射)

図10はサクシニールコリン作用前後の直腸肛門反射を比較して、外括約筋の役割を再検討した実験で、A, Cは横紋筋弛緩剤投与前の、B, Dは投与後の記録である。投与後は投与前に比し、それぞれ内圧の下降振巾が増大したのが明瞭である。内括約筋のろスパイクの抑制には差

がみられないから、投与前(A, C)には、内括約筋の弛緩に一種の抵抗が存在していたと考えられる。またA, Cでは、丘陵部(ハンプ)もしくは、一種の“底上げ”(A, Cの*印)とよぶべき部分が、内圧の下降底部に存在し、対応する時相に外括約筋の発射亢進が認められる。ハンプと対応する外括約筋の遅延発射は、勿論、横紋筋弛緩剤作用後は消失し、内圧曲線は通常の回復リップルのみとなっている(B, D)。

IV. 考

本研究において、肛門管内圧測定と同時に内・外肛門括約筋の電気活動を記録するという、これまで行われたことのない方法によって、内・外括約筋のもつ特性が明らかになった。図2に示された内括約筋のろスパイクの自発性変動の観察から、これらスパイクの漸増漸減は、脳波の同期波のような神経機構によるものではなく、末梢機構によって形成されていることが判明した。図2Aの上段の記録に、1峰性のスパイクと2峰性のそれが繰り返して現れるのは、この部分の電極が、2つのペースメーカーからの電気活動を同時に導出し、2つが同期している間は1峰性となり、ずれて非同期となると2峰性になるためと思われる。

つまり、内括約筋内部に多数のペースメーカーがあり、その自発頻度は多少異なっているが近似的なので、ビートを生じて、このような漸増漸減波形を作るものと考えられる。また、内括約筋スパイク頻度の減少または消失に一致して、肛門管内圧の下降を認めたことにより、内括約筋自発活動は肛門管内圧を維持していると結論される。一方内圧リップルにも振巾の増減があり、その振巾は内圧水準の高低や、のろスパイク振巾の変化の位相とは相関しなかったことから、リップル振巾増減の原因は、内圧測定装置の受圧面(長さ8mm)に接する、高圧帯内での機械的なビートによると考えられる。

図3, 9の結果から、外括約筋の線維束性収縮は内圧の水準には認むべき変化を及ぼさず、また外括約筋が非動化されても内圧下降をきたさ

察

ないことが判明し、同様の結果は多数の実験犬、猫において、繰り返して観察された。従って、除脳動物のすでに姿勢を固定した状態においては、肛門管静止圧の横紋筋依存成分は存在しないといえる。

図4, 5の実験では直腸肛門反射を定量的に観察した(Takahira *et al.* 1986)。この反射性圧下降は直腸・内括約筋抑制反射が本態であることは疑いないが、本反射で、内括約筋の完全抑制に有効なのは、入力(直腸伸展)の初期相成分(initial phasic component)であり、その振巾(注入量)の増大は、抑制の持続時間に反映し、抑制からの回復は、主として、内括約筋の自己回復性にゆだねられること、また入力 of 持続を著しく延長すると、付加的な抑制の作用していることが認められ、入力 of 持続性成分(tonic component)も存在することが判明した。しかしこの持続性成分は、初期相成分による基本的パターンを左右する程強力ではない。図6, 7の実験では仙骨神経前根に電気刺激を与えたところ、直腸伸展(図4, 5)と同様の効果を出力筋にもたらし、刺激実験によっても、内括約筋抑制に有効な入力に初期相成分と持続性成分の2つのあることが明らかとなった。

図8の実験では直腸肛門反射の際の初期昇圧成分について検討した。直腸肛門反射について最初に記載したGowers(1877)は、この反射のシーケンスを、初期昇圧(initial rise)、後続下降(subsequent fall)、そして時に次の後続上昇(subsequent rise)の2相性ないし3相性の

系列としてとらえ、これらすべてが内括約筋依存性と考えていた。しかし Gaston(1948)以来、2連ないし3連の直列多窓性圧センサーが使われだしてから、初期昇圧が内圧測定によってとらえられ (Gaston, 1948a と b; Ustach ら, 1970; Ihre, 1974; Frenckner & Euler, 1975; 勝俣ら, 1975; Meunier & Mollard, 1977; 天野, 1980; 黒田, 1984), 臨床の領域では, Schuster ら (1965) の解釈にしたがって、初期昇圧は外括約筋収縮によるものと解釈している論者が多い。著者らは実験の初期に (難波ら, 1979, 1981), 犬で単窓式圧センサーにより初期昇圧をしばしば記録したが、対応する筋活動を同定することはできなかった。しかし、その後の実験 (除脳猫) で、直腸伸展に対し、時に昇圧のみの応答、それに対応する短潜時の内括約筋の促進を観察した。その事実にもとづいて図 8 が構成されているが、直腸内括約筋促進反射は、潜時が非常に短く、また促進の最も特異的なサインは、初発スパイクの持続の短縮であることが判明した。またこの促進反射は、抑制反射のように必ずしも両側に等しく生じなかった。従って除脳猫で観察された初期昇圧は、Gaston 以来の外括約筋反射によるものではなく、むしろ Gowers の提唱した内括約筋促進反射の現われであると結論される。

直腸肛門反射における外括約筋の役割については、現在なお大きな矛盾が残っている。それは、実験動物で示された抑制応答 (Bishop ら, 1956) と、臨床的に成人および小児で記録された促進応答 (Gaston, 1948a と b; Schuster ら, 1965; Alva ら, 1967; Ustach ら, 1970; Varma & Stephens, 1972; Ihre, 1974; Frenckner & Euler, 1975; Duthie, 1975; Meunier ら, 1976; Meunier & Mollard, 1977) という全く正反対の報告が共存し、統一的な見解が示されていないからである。また例えば Bishop らの記録は、筋電図上では明確であるが、内圧は測定されておらず、また上記の臨床的研究の約半数は圧測定のみであり、筋活動の記録は部分的にすぎない。この他、大量の空気を直腸に注入して、“分”のオーダーで観察した

Porter (1962) や Melzak & Porter (1964) の報告もあるが、要するに、内・外両括約筋の電気活動と肛門内圧を同時記録した報告がなかったのが事実である。

Gaston 以来の肛門内圧—横紋筋関与説のひとつの特徴は、測定された“内圧”をすべて等質のものとみなしている点にある。この論者の研究は、多連式オープンチップによる測定が多いが、内圧上昇または下降の動作特性はあまり考慮せず、主として圧センサーのおかれた位置から、肛門縁で感知すれば外括約筋の、肛門管内部で感知すれば内括約筋の圧産生であるという単純な論理によって解されている。この内圧についての“固定観念”を明確に批判したのが Harris と Pope II ら (1964, 1966) であった。彼らは、測定された内圧がそのまま括約機能を現わすという考えを批判し、括約機能は、圧縮 (squeeze) と開腔に対する抵抗 (resistance) にわけて考えるべきことを提唱した。ただし彼らはその着想を生かすために部分的な実験をしたにすぎず、括約筋の内・外は区別されておらず、肛門管における、圧縮と抵抗の担い手が明らかになっているのではない。

図 11 は、本論文の実験結果をまとめた概略図で、内括約筋の関与する反射 (A) と、外括約筋の関与する反射 (B) を分けて示した。内括約筋では、入力量の増大 (1 → 3) は出力において抑制時間の延長 (1 → 3) に転化され、それはそのまま内圧下降時間の延長として表現される (図 4, 6)。一方、外括約筋においては、入力量と時間がほぼ忠実に抑制の量と時間に反映する。しかしこの抑制は内圧の変化としては表現されない (図 9)。

内・外括約筋の電気活動と内圧の同時記録という本研究の方法により明らかになった今ひとつの事実は、周波数特性の良い圧センサー・トランスデューサー系 (難波, 横山ら; 1978) をもって測定すれば、内圧変化の動作特性から、内括約筋の関与する圧産生と、外括約筋の関与するそれを、識別できることであった。つまり常にリップルをとめない、変化の時定数が数秒を要するものは前者であり (図 2-10), リップルと

特定の関連がなく、内圧上にスパイク状のはやい変動として示されるものは後者であった(図 3, 9, 10A)。図 10 が示した、外括約筋弛緩剤投与後に反射下降圧の振巾が増大する現象は、初期の実験でもすでに観察されているが(高比良ら; 1981)、二次的な遅延発射の出現(図 10)は、動的な抵抗増大の機構をさらに明確にするものである。このようにして、外括約筋の括約機能が、内括約筋を通じて表現される機構が明らかとなったので、かつて考えられたようにこの筋

が単独で、“もれの抵抗”(anti-leak mechanism, Nixon, 1984)の役割を演ずることはありえないと思われる。本研究とは別の観点からではあるが、Duthie & Watts (1965) が、外括約筋は静的な肛門管内圧に寄与するところ少なく、糞塊 bolus が肛門管内に存在するときのみ内圧に寄与すると述べたのは、その要旨において、本論文の結論と一致するところがあるといえよう。

V. 結

語

除脳・脱麻酔状態の成犬および成猫から、肛門管内圧と同時に、内・外肛門括約筋、肛門縦走筋の電気活動を記録し、直腸肛門反射の入力・出力関係をもとめ、次の結論を得た。

1. 内括約筋のろスパイク振巾の漸増漸減は、壁内に存在する多数のペースメーカーのビートによるもので、内圧水準やリップル振巾には直接反映しない。

2. 直腸肛門反射において、内括約筋の完全抑制が生じた後は、入力量の増大が、抑制時間の段階的延長を来し、それが内圧の下降パターンとして表出された。

3. サクシニールコリン静注による(体性)神経(横紋)筋伝達ブロックは、内圧水準に認むべき変化を来さない。ブロック前の直腸伸展は、外括約筋にも抑制を生ずるが、この抑制は、内圧には反映しない。

4. しかし、外括約筋のブロックは、直腸肛門反射の内圧降下量を増大させることが判明した。おそらく外括約筋は、内括約筋抑制による肛門管の弛緩に動的抵抗として働き、遅延発射はその効果を増強するようにみえる。

5. 反射の“初期昇圧”に対応する筋活動は局所的に作動する内括約筋の促進であった。

稿を終えるにあたり、本研究の機会を与えて下さいました慶応義塾大学医学部外科学教室阿部令彦教授、東海大学医学部第二外科学教室三富利夫教授に深く感謝いたします。また本研究の遂行にたえざる御指導と御鞭撻を頂きました慶応義塾大学医学部外科学教室勝俣慶三助教授、横山稔太郎講師に深謝いたします。東海大学における研究に御協力いただいた、第二外科学教室横山清七助教授と、第一生理学教室の皆様には謝意を表します。終わりに本研究の完成の機会を与えて下さいました総合太田病院長新原博之博士に深謝いたします。

文

献

- 天野信一(1980). 小児排便異常における直腸肛門管内圧および直腸コンプライアンスに関する臨床的研究. 日小外会誌 16: 715-730. 1980.
- Alva, J., Mendeloff, A.I. and Schuster, M.M. (1967). Reflex and electromyographic abnormalities associated with fecal incontinence. *Gastroenterology* 53: 101-106.
- Bishop, B. et al. (1956). Control of the external sphincter of the anus in the cat. *J. Physiol.* 134: 229-240.
- Bouvier, M. and Gonella, J. (1981). Electrical activity from smooth muscle of the anal sphincteric area of the cat. *J. Physiol.* 310: 445-456.
- Duthie, H.L. (1975). Dynamics of the rectum and anus. *Clinics in Gastroenterology* 4: 467-477.
- Duthie, H.L. and Watts, J.M. (1965). Contribution of the external anal sphincter to the pressure zone in the anal canal. *Gut* 6: 64-68.
- Floyd, W.F. and Walls, E.W. (1953). Electromyography of the sphincter ani externus in man. *J.*

- Physiol.* **122**: 599-609.
- Frenckner, B. and Euler, V. (1975). Influence of pudendal block on the function of the anal sphincters. *Gut* **16**: 482-489.
- Gaston, E.A. (1948a). The physiology of fecal continence. *Surg. Gynec. & Obst.* **87**: 280-290.
- Gaston, E.A. (1948b). Fecal continence following resections of various portions of the rectum with preservation of the anal sphincters. *Surg. Gynec. & Obst.* **87**: 669-678.
- Gowers, W.R. (1877). The automatic action of the sphincter ani. *Proc. Roy. Soc. London.* **26**: 77-84.
- Harris, L.D. and Pope II, C.E. (1964). "Squeeze" vs. resistance: An evaluation of the mechanism of sphincter competence. *J. Clinical Investigation* **43**: 2272-2278.
- Harris, L.D., Winans, C.S. and Pope II, C.E. (1966). Determination of yield pressures: A method for measuring anal sphincter competence. *Gastroenterology* **50**: 754-760.
- Howard, E.,R. and Nixon, H.H. (1968). Internal anal sphincter: Observations on development and mechanism of inhibitory responses in premature infants and children with Hirschsprung's disease. *Arch. Dis. Childh.* **43**: 569-578.
- 猪原則行, 高比良英輔(1984). 内括約筋の電気活動からみた肛門内圧の制御機構. 日本平滑筋誌 **20**: 123-135.
- Ihre, T. (1974). Studies on anal function in continent and incontinent patients. *Scand. J. Gastroent. Suppl.* **25**: 1-64.
- 葛西森夫ら(1983). 消化管内圧測定法. 医学書院, 東京.
- 勝俣慶三ら(1975). Hirschsprung 病の診断. 外科 **37**: 1413-1424.
- Kawakami, M. (1954). Electro-myographic investigation on the human external sphincter muscle of anus. *Jap. J. Physiol.* **4**: 196-204.
- Kerremans, R. (1968). Electrical activity and motility of the internal anal sphincter. An (in vivo) electro-physiological study in man. *Acta Gastro-Enterologica Belgica XXXI*, 465-482.
- 黒田道夫(1984). 新生児, とくに低出生体重児および早産児における直腸肛門機能の成熟過程に関する臨床的研究. 日小外会誌 **20**: 771-785.
- Melzak, J. and Porter, N.H. (1964). Studies of the reflex activity of the external sphincter ani in spinal man. *Paraplegia* **1**: 277-296.
- Meunier, P., Mollard, P. and Jaubert de Beaujeu, M. (1976). Manometric studies of anorectal disorders in infancy and childhood: an investigation of the physiopathology of continence and defaecation. *Br J. Surg.* **63**: 402-407.
- Meunier, P. and Mollard, P. (1977). Control of the internal anal sphincter (manometric study with human subject). *Pflugers Arch.* **370**: 233-239.
- 長寄 彰(1979). Hirschsprung 病の排便機能に関する内圧学的, レ線学的研究. 日小外会誌 **15**: 13-40.
- 難波貞夫ら(1978). 直腸肛門内圧測定法の基礎的ならびに臨床的検討. 小児外科 **10**: 159-166.
- 難波貞夫ら(1979). 直腸肛門反射における結腸, 内・外肛門括約筋の作用に関する実験的研究. 日本平滑筋誌 **15**: 189-190.
- 難波貞夫ら(1981). 排便における内・外肛門括約筋の役割. 小児外科 **13**: 279-283.
- Nixon H.H. (1984). Review of anorectal anomalies. *J. Royal Society Medicine* **77**: 27-29.
- Porter, N.H. (1962). A physiological study of the pelvic floor in rectal prolapse. *Ann. R. Coll. Surg. Engl.* **31**: 379-404.
- Schuster, M.M. et al. (1965). Simultaneous manometric recording of internal and external anal sphincteric reflexes. *Bull. Johns Hopkins Hosp.* **116**: 79-88.
- Stephens, F.D. and Smith, E.D. (1971). *Anorectal malformations in children*. Yearbook Medical, Chicago.
- 鈴木宏志(1971). ヒルシュスブルグ病の生理学的診断. 臨床外科 **26**: 1713-1718.
- 鈴木宏志(1976). 直腸肛門管内圧からみた Hirschsprung 病. 外科 **38**: 226-231.
- 高比良英輔ら(1981). 肛門括約筋活動の生体内同定. 日本平滑筋誌 **17**: 162-165.

- 高比良英輔ら (1985). 肛門周囲三筋の活動パラメーターについて. *日本平滑筋誌* **21**: 223-226.
- Takahira, H. *et al.* (1986). Gradational nature of recto-anal reflex in decerebrate dogs. *J. Aut. Nerv. Syst. Suppl.* 495-499.
- 田村謙二, 高比良英輔 (1985). 肛門管壁における内括約筋と縦走筋の機能的相関に関する研究. *日本平滑筋誌* **21**: 439-453.
- Ustach, T.J. *et al.* (1970). Electrophysiological aspects of human sphincter function. *J. Clinical Investigation* **49**: 41-48.
- Varma, K.K. and Stephens, D. (1972). Neuromuscular reflexes of rectal continence. *Australian and New Zealand Journal of Surgery* **41**: 263-272.
- Wankling, W.J. *et al.* (1968). Basal electrical activity in the anal canal in man. *Gut* **9**: 457-460.

(1987年1月9日受付)