

## 腸音の発生機序と腸管運動について

川崎医科大学 消化器外科  
 遠藤 正三郎\*, 佐野 開三  
 川崎医科大学 生理学教室  
 内藤 富夫\*\*

(昭和57年7月24日受付)

### Relationship between Intestinal Movement and its Sounds

Seisaburo Endo\* and Kaiso Sano  
 Division of Gastroenterological Surgery, Department of Surgery  
 Kawasaki Medical School  
 Tomio Naito\*\*  
 Department of Physiology, Kawasaki Medical School

(Accepted on July 24, 1982)

1902年に Cannon が腸音の数量的測定を試みて以来、腸音の重要性が指摘されてきた。しかしながら、腸管運動そのものが、腹腔内でのみ良く保たれるという限られた条件があるため、腸管筋電図、腸管内圧、腸音の相互関係を同時に記録、観察することは困難であり、今日までこれに成功したという報告はなく、これが基本的な腸音の解析が遅れた原因と考えられる。本研究では、特殊な腸音専用の実験箱を考案し、初めて腸管運動における上記3者を同時に測定記録し、これらの相互関係を生理学的に実証することに成功した。この腸音専用実験箱(Naito, Endo, Shimotomai の共同研究により考案された実験箱、以後NES型実験箱と略す)は、径13.0 cm、高さ4.0 cm、厚さ0.5 cmで上蓋中央に厚さ0.2 mm、径3.5 cmの塩化ビニール製の腸音導出用の窓があり、これにTK 211 S型マイクロフォンが装着してある。筋電図用の導線は、箱の両側から外に導かれる。内腔は保温と乾燥防止の目的で流動パラフィンを充満する。この実験箱を家兔の腹壁に密着固定する。新しいNES型実験箱による経時的観察の結果、腸音は単に腸管の蠕動運動や腸管内ガスの存在では発生せず、これに腸管の内圧変動が加わって発生することが判明した。さらに、腸音の基本となる単位音は腸音の生理的屈曲による内圧変動によって発生し、連続音は、非生理的腸管狭窄によって起こる内圧変動から発生することがわかった。

In 1902, Cannon made a series of quantitative studies of intestinal sounds, reporting that the gastrointestinal sounds were produced by movement of gas within the alimentary tract. This concept, however, has not been proven physiologically. In the present study, the mechanism of production of the intestinal sounds was made clear by investigating their relationship to electromyograms of

\* 現在 岡山市神崎町1913-8, 遠藤外科診療所

\*\* 現在 島根医科大学 生物学教室

the bowel and intraluminal pressures. A special cylindrical box of synthetic resin (13×4.0 cm) was designed. In the center of the lid, an opening with a 0.2 mm vinyl chloride membrane was fixed, to which a NIHON KODEN TK-211-S-type microphone was attached. Leads for electromyography were wired through the side of the box. With this box, the intestinal sounds, electromyography and pressures were recorded simultaneously. Conclusion of the study may be summarized as follows:

(1) Peristalsis was chiefly activated by an increase in intestinal pressures. The peristalsis forced gas and fluid in the canal to move through narrow and physiologically curved segments. This was accompanied by the intestinal sounds. This physiological relationship was recorded for the first time.

(2) With intestinophonography, simple spikes were recorded from the physiologically curved segments. Continuous spikes were recorded from abnormally narrowed parts of the intestine.

This is the first report of a successful attempt to clarify these patterns.

## 緒 言

1905年に Cannon<sup>1)</sup>は腸音の発生条件について検討し、腸音と腸管運動の関連性を初めて示唆した。その後1955年、Farrar & Ingelfinger<sup>2)</sup>等によって、客観的な記録が行われた結果、“腸管運動が存在しても腸管内にガスがなければ腸音は発生しない”ことが強調された。本邦においては、田北<sup>3)</sup>、緒方<sup>4)</sup>等の研究の結果、腸音が比較的容易に分析されるようになった。しかしながら、腸音研究の基礎とも言うべき“腸音発生機序”については、いまだ解明されていないのが実状である。Cannonは、腸音の発生条件として、(1)腸管内腔にガスが存在すること、(2)腸管運動が存在すること、(3)ガス及び液体が腸管内で移動攪拌されることの3つをあげているが、Cannon自身、これを生理学的立場から実証し得たわけではなかった。その後の研究によってもこの点は今日に至るまで、依然として推測の域を脱していないのである。“腸音の発生機序と腸管運動”という基本的関係が解明されなかった事が、腸音図を臨床的に応用しようとする試みの遅れた原因のように思われる。そこで今回、新しい腸音実験法を考案し、観血的に腸管の観察を行いながら、腸音、腸管内圧及び腸管筋電図の

3つを記録することに初めて成功した。これによって、いまだ実証されていない“腸音の発生と腸管運動”の関係を生理学的立場から明らかにすることができたのでここに報告する。

## 実験方法

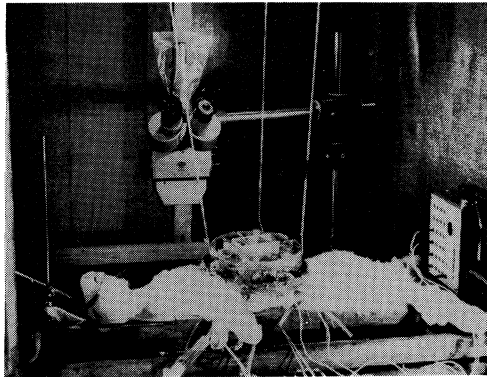
### (a) 筋電図の導出

微小電極筋電図誘導法については、荒川<sup>5)</sup>、小野<sup>6)</sup>、河合<sup>7)</sup>等によって報告されているが、本研究では Hubel<sup>8)</sup>、中山<sup>9)</sup>等の方法を参考にし、尖端が約1μ、長さ7~8mmの2本のタングステン電極を作製して導出した。この2本の電極を、小腸の横軸方向に約2mmはなして並べ、縦走筋を貫いて輪状筋に達するまで刺入した。電極の基部にはコイル状にした太さ100μの銀線を取りつけ、これを介して体外に筋電図を導き出した。電極や銀線の表面は絶縁していないが、腹腔には後述のように流動パラフィンで封じこんでおり、電極や途中の導線は、組織にふれないかぎり十分に絶縁状態に保たれる。

### (b) 多用途腸管実験箱(NES型)の製作

腸管運動を直接に観察できる腹窓法は、1913年 Katsch<sup>10)</sup>により開発され、1953年福原<sup>11)</sup>により本邦に紹介された。1955年藤原<sup>12)</sup>は腸

音実験にこれを応用し、その後も、腹窓法により消化管の運動を観察しながら、同時にその消化管から筋電図を導出する実験が近藤<sup>13)</sup>、大倉<sup>14)</sup>等によって盛んに行われた。腹窓法と筋電図の導出を併用しただけのこれらの実験方法では、腸音の導出が却って困難となり、腸音の生理学的発生機序は解明できない。そこで、彼らの方法をさらに改良し、腸管筋電図、腸管内圧、腸音を同時に導出しようと試み、このための特殊な実験箱を製作した。この(NES型)実験箱は、**Fig. 1**に示すごとく直径13.0 cm、



**Fig. 1** A rabbit under experiment of intestinal phonograph

高さ4.0 cm、厚さ0.5 cmの円筒形アクリル樹脂できている。上蓋中央には厚さ0.2 mmの塩化ビニール膜をはさんでマイクロフォンを固定できるようになっており、このマイクロフォンを通して腸音を記録する。また、側壁には0.3 A、2.5 Vの電球4個をとりつけ、実験箱内の照明及び保温に用いた。腸管運動と腸音との関係を調べるために、味木<sup>15)</sup>、Goodall<sup>16)</sup>、及びTempelton<sup>17)</sup>、Foulk<sup>18)</sup>、大塚<sup>19)</sup>、井上<sup>20)</sup>等の報告を参考にし、体重3.2~4.0 kgの家兎20羽を用いて、次のような実験を行った。まず、実験前の24時間は飽和ブドウ糖液のみ与え、家兎腸管内を空虚にしておく、次にこの家兎に25%ウレタン水溶液4 mg/kgを皮下注射して麻酔し、渡辺<sup>21)</sup>等の皮膚圧迫と腸管運動の関係を考慮して30分後に実験を開始した。家兎の固定及び実験箱の装着方法は**Fig. 1**に

示すごとく、実験台に家兎を背臥位にて固定した後、腹部を正中切開にて開腹し、腹膜、腹壁皮膚に(NES型)実験箱を木綿糸で結紮固定した。実験に不必要な腸管部分は互いに結紮固定することにより除外した。さらに37.5°Cに保温された流動パラフィン約500 mlを(NES型)実験箱内に注入し、腹腔から完全に空気を排除した状態で密封した。上蓋には、腸音採録のためにマイクロフォン(日本光電製心音マイクロフォンTK 211 S)を固定し、密閉した実験箱で発生する腸音を記録した。他方、側方より家兎腹壁に貫通させた直径1.0 cmのガラス管を、幽門より1.5 cm肛門側の腸管内腔に挿入し、結紮固定した。ガラス管挿入部より口側は3-0絹糸にて結紮閉鎖した。また、このガラス管挿入部より5.0 cm肛門側の腸管壁には、2本のタングステン電極を約2 mmはなして刺入し、さらに肛門側6 mmの部に、トランスジューサーの圧端子につながる直径3 mmの硬質プラスチック管の開口部がくるようにし、電極近くの小腸内圧を記録した。この圧端子固定部より、さらに2.0 cm肛門側には実験に応じて狭窄輪を形成した。狭窄径は、自然腸管の約1/2径となるようにした。腸管圧、筋電図及び腸音の信号は、各々ペン書きオシログラフ(日本光電、RM-85)を用いて紙上に記録した。なお、筋電図は時定数0.03または0.003で、腸音は時定数0.003でともにRC増幅器(日本光電生体用電気ブリアンプRB-5)を用いて記録した。また、マイクロフォンを介して記録された波形が消化管に発生した音であることは、聴診器を腹壁にあてて音を聴診しながら消化管の運動を観察すると、音の発生と消化管の収縮が一致することから推察同定した。

### 実験成績

腸音の発生条件を生理学的に検討する要点として、(a)腸管は運動しているが、腸管内腔にガスがない場合の腸音の有無、また、(b)内腔にガスがあれば、腸管の形状にかかわらず運動にともなって音が発生するかどうか、(c)生理的な屈曲を伴う場合ではどうか、さ

らに、(d) 腸管に異常狭窄を伴う場合ではどうか、(e) 腸管が完全に閉塞された場合、これら5つの事項に関して実験を行った。以下は各項目についての結果である。

(a) 腸管運動は認められるが腸管内にはガスが存在しないとき

Fig. 2 に示すごとく、腸管筋電図では2秒に1回の規則的な活動電位を記録したが、腸音は記録されなかった。また、口側より腸管内腔に3~5 ml の温 Tyrode 液を注入すると、腸管内

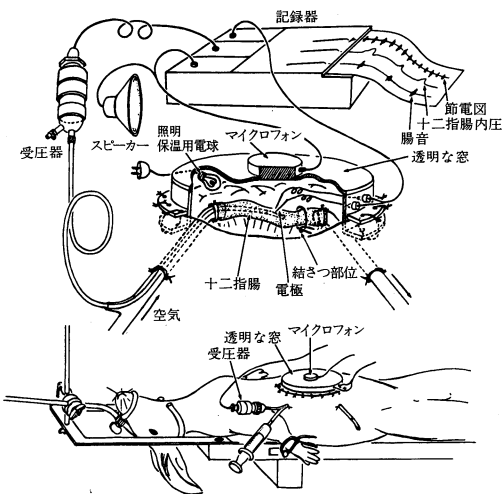


Fig. 2. 筋電図(上), 十二指腸内圧(中), 腸音(下)の関係。以下の図においても同様であるが、圧の記録にみられる小波は呼吸に、音の記録にみられる小さい振れは心臓拍動に由来する。

腔の上昇に伴って運動が強化され、強い収縮波が下行して Tyrode 液を尾側に排出した。しかし、この場合にも腸音の発生は認められなかった。

(b) 腸管運動が認められ、かつ腸管内にガスが存在するとき

屈曲のない小腸では、Fig. 3 に示すごとく、腸管内に空気 3 ml を注入すると直視下にも腸管運動の亢進がみられ、はじめには  $200 \mu V$  の活動電位であった筋電図が、さらに大きな振幅の筋電図に変化した。しかしながら、腸音の発生は全く認められなかった。

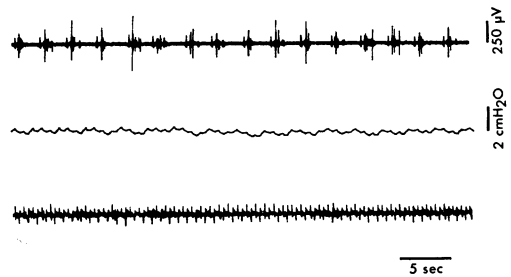


Fig. 3 上: 筋電図, 中: 十二指腸内圧, 下: 腸音。

(c) 生理的に屈曲した腸管で腸管運動が認められるとともに、腸管内にガスが存在する場合

生理的に屈曲した腸管の屈曲点の直前に電極を刺入しておいて、腸管内に空気 3 ml を注入すると Fig. 4 にみるごとく、注入とともに腸

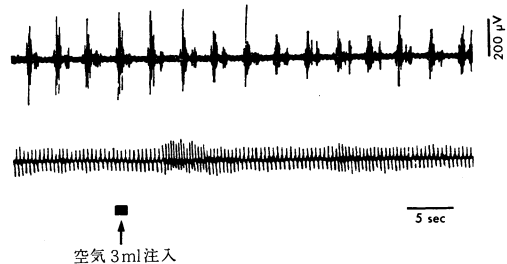


Fig. 4 上: 筋電図, 下: 腸音. 矢印は空気 3ml の注入時を示す。

管の運動が強化され、 $300 \mu V$  におよぶ非常に大きな振幅の筋電図が得られた。観察によれば、筋電図上の burst spike は強い下行波、いわゆる蠕動が電極の位置に達したときに発生した。他方、下行する収縮が電極の存在するあたりに達する時期に同調して内圧が急激に減少し、それと期を同じくして腸音の発生するのが記録された。

(d) 狭窄のある腸管で腸管運動が認められるとともに腸管内にガスが存在するとき

2-0 木綿糸にて腸管の途中を1カ所かるくしぼり、腸管の内径が 3 mm (正常腸管の約 1/2 径) となるようにした。この場合には、Fig. 5 に示すごとく、空気 3 ml の腸管内注入と同時に、腸管はいったん拡張してくるが、空気の注入後 10 秒経過したのち、非常に強い下行波が

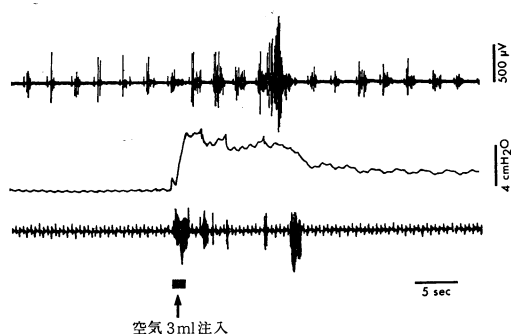


Fig. 5 上: 筋電図, 中: 十二指腸内圧, 下: 腸音. 矢印は空気 3 ml の注入時を示す.

あらわれ,  $400 \mu\text{V}$  以上の振幅を有し持続時間が 2 秒にも達する大きな活動電位が発生した. 他方, この大きな筋電図の発生に同期して腸音が記録された.

(e) 腸管運動は認められ, かつ腸管内腔にはガスが存在する状態で腸管が完全に閉塞された場合

腸管の途中 1 カ所を 2-0 木綿糸で結紮して完

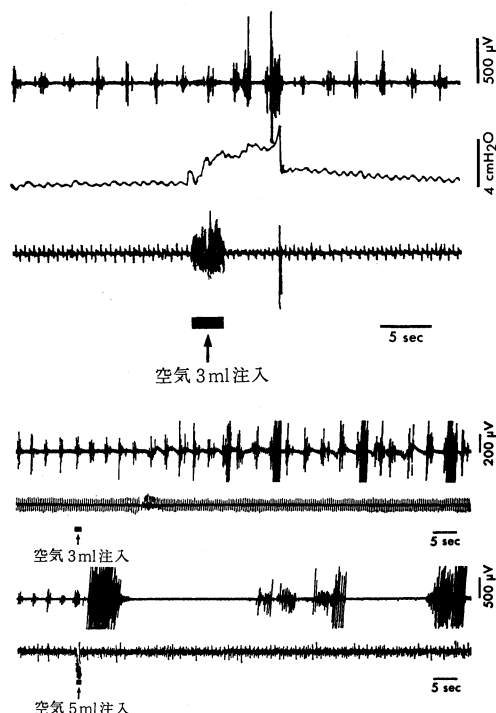


Fig. 6 空気 3 ml (上段) または, 5 ml (下段) の注入. 各段の上: 筋電図, 下: 腸音. 矢印は空気の注入時を示す. 上段, 下段ともに結果は同一標品による.

全に内腔を閉塞したのち, 空気 3 ml を結紮部の口側腸管内腔に注入した. この場合にも消化管は, 空気で伸展されるとともに一時運動が強化され, Fig. 6 にみるごとく  $400 \mu\text{V}$  以上の振幅の大きな筋電図が得られた. しかしながら, 空気注入後しばらくすると運動はむしろ減弱し, 消化管はふくらんだままの状態になった. いずれにしても腸音の発生は全く認められなかった.

## 考 案

腸音の発生が腸管運動と密接な関係をもつてあろうことは, 古くから経験的に知られていたが, 本格的に研究が行われる端緒となったのは 1905 年の Cannon の報告である. Cannon は, 腸管に関する最初の非観血的観察を行い, 腸管内に液状内容物とガスが存在し, これが腸管運動によって複雑に移動攪拌されるときに, 腸音が発生するという基本的な仮説を提唱した. そして, 腸管運動の非観血的観察法の 1 つとして, 腸管がその指標となりうることを示唆した. これ以後, ネコにおける Cannon の観察 (1905) 以外には, この考え方の正否を決める確証はないまま, 今日まで行われた研究は全てこの概念を基礎に進められてきたように思われる. 腸音の記録法については, Cannon は従来の聴診器を腸音の記録分析の手段として用いたが, 1955 年 Farrar はマイクロフォンを使用することにより, 初めて機械による記録装置を開発した. その後, 記録紙に現れた腸音から腸管の状態を分析する試みが行われるようになったが, いまだ, この腸音図から腸管の機能を類推できる段階には至っていない. その理由として, 腸音が合成音であり, 心音と違って腸音が単純な発音体からでないために, 記録された腸音は一見, 律動性を思わせない不可解, 無意味な spike の集合として記録されたためであり, したがってこれらの記録された腸音図が消化管の状態と如何なる関係にあるかについては, 全く不明であった. 本邦においては, 田北<sup>3)</sup>, 緒方<sup>4)</sup>, 大塚<sup>19)</sup> らが腸音図と腸管運動との間の

関連性を指摘している。大塚<sup>19)</sup>らは、家兎を用いて腸音の記録分析を重ねた結果、300~1000 cps からなる単位音が腸音の基本的な構成音であるという説を提唱した。しかしながら、実際の消化管の運動状態の解析や内容の有無、とくにガスが含まれる必要があるかどうかなど、Cannon が示した腸音発生のための基本的な条件については、いぜんとして十分に検討されているとは言えない。それ故、まず、この基本的な問題を明らかにする必要性に着目し本実験を行った。これまで、基礎的研究がおくれた理由は、実験に用いる麻酔や開腹という操作に影響されて、腸管運動が減弱すること、腸管運動を観察するためには開腹術が不可欠であるが、もし開腹すれば腸音の記録が困難となるなど、適確な実験法が発見できなかった点にあると思う。そこで本研究では、諸種の子備実験を重ねた結果、次の方法により実験上の困難を解決した。すなわち、家兎をウレタン麻酔(25%ウレタン溶液を4 ml/kgの割合で皮下に注射)の後に開腹し、**Fig. 1**にみるごとく、NES型腸管実験箱を腹壁に装着した。箱の内腔には流動パラフィン約500 mlを充満したのち、上蓋をかぶせて腹腔を密閉した。これは腸管表面からの水分蒸発を防ぐもので、また、実験腸管の温度を保持するための加温照明用電球及び筋電図電極との電氣的短絡を防ぐためである。さらに、家兎の外側腹壁より十二指腸空腸係蹄に直接ガラス管を固定し、この内腔へ圧端子を挿入し消化管圧を測定した。他方、運動の指標として腸管の筋電図を導出し、実験箱の窓を通して運動を観察するとともに、腸管内圧の変化、蓋の上にとりつけたマイクロフォンを介して記録される腸音、筋電図の関係を調べた。なお、箱全体を上方へ牽引することにより、腸管は流動パラフィンの圧を受けることなく、ほぼ平常の腹腔内圧の状態に運動できるように工夫した。

#### (a) 腸管内にガスが存在しない場合

腸管内にガスが全く存在しない状態において腸音及び腸管筋電図を記録してみると、筋電図上2秒に1回の律動性を有し、約200  $\mu$ Vの一

定した振幅の spike が認められたが、腸音の発生は記録されなかった。腸管運動としては、口側から肛門側に向かう浅い下行波がみられたのみである。また、Tyrode液を注入して腸管内圧をたかめると下行波は増強されるが、やはり腸音の発生は認められなかった。

#### (b) 腸管内にガスが存在し、腸管が生理的屈曲を有する場合

(1)と同様の条件下において、腸管内に空気3 mlを送ると、腸管内圧は20 cm H<sub>2</sub>Oに上昇するとともに口側から肛門側に向って強い収縮輪を有する明らかな蠕動運動が出現し、これに伴い腸管筋電図には300  $\mu$ Vの振幅を有するburst spikeを認めた。しかも、それと同期して腸音の発生を認めた。腸管内圧に関しては1971年に徳永<sup>22)</sup>の記載があり、これによれば、腹窓法作成直後より小腸の振子運動、浅蠕動、分節運動がみられるが、極めて弱いために内圧変動としてはほとんど現れず、たとえ記録されてもせいぜい5 mm Hg程度であったと述べている。さらに腸管運動が著明になると内圧もこれに対応して上昇して最大10 mmHgを示し、波は群をなし間歇的に出現するようになる」と報告している。筋電図の変化に関しては、1963年の田中<sup>23)</sup>の実験から、burst spikeの多くは局所の収縮運動に先行することが知られている。従って、腸管内にガスが存在した場合には、当然腸管内圧は上昇し、腸管内圧の上昇が福原<sup>24)</sup>らの主張した粘膜内反射を惹起し、強振幅を有する特異なburst spikeが筋電図上にみられ、この時期に内容移送可能な蠕動運動に伴って腸音が発生したと解釈される。つまり、生理学的屈曲時における腸音発生機序が臨床上の単位音に相当することが判明した。

#### (c) 腸管に狭窄を有する場合

口側腸管より空気3 mlをガラス管を通して送ると、腸管内圧はいったん6 cm H<sub>2</sub>Oに上昇した。この時の腸管筋電図においては、burst spike出現の律動性に顕著な変化はない。しかし、粘膜内反射の結果と思われる運動の亢進のために、500  $\mu$ V以上の強振幅の spike が認め

られた。非常に強い収縮が現れると、腸管内圧はさらに上昇し 25 cmH<sub>2</sub>O に達したが、この直後に多数の spike からなる腸音が記録され、それに応じて腸管内圧が減少した。この時に発生する一連の音が、実は記録上の連続波形 (continuous spike) に他ならない。臨床上経験される continuous spike は経験的に腸管の異常狭窄性病変に関連すると推測されてきたが、この推測の正しいことが、本実験により実証されたといえる。

### 結 語

腸音がいかなる機序で発生するかを明らかにしたいという企図のもとに、運動の指標となる腸管筋電図、腸管内圧、腸音の相互関係を検討した。

〔I〕 研究には、新しく開発した NES 型腸管実験箱を使用することにより、腸管筋電図、腸管内圧、腸音を同時に測定記録することを可能にした。

〔II〕 内圧上昇により顕著な蠕動があらわれるが、内腔にガスが満たされており、かつ腸管が屈曲していたり、あるいは、人為的に狭窄をつくっておいた場合には、蠕動の進行に呼応して音が発生した。これは、ガスが消化管の運動によって内腔のせばまったところを移動するときに、音が発生しやすいことを示している。

〔III〕 腸管の生理的な屈曲では、持続時間の長い連続波形となる音は記録されないが、狭窄をつくった腸管では持続時間の長い連続波形となった。このことから、臨床上記録される単位音は、腸管の正常な蠕動運動を意味するものであり、連続波形 (continuous spike) は腸管の異常狭窄により生ずるものであることが示唆される。

(稿を終わるに臨み、医用工学教室下斗米敬博士の御支援、並びに関係各センター員、さらに教室技術員各位の御協力に感謝致します。) なお、本論文の要旨は、1980年第22回日本平滑筋学会総会にて発表した。

### 文 献

- 1) Cannon, W. B.: Auscultation of the rhythmic sounds produced by the stomach and intestine. *Am. J. Physiol.* 14: 339, 1905
- 2) Farrar, J. J. and Ingelfinger, F. J.: Gastrointestinal motility as revealed by study of abdominal sounds. *Gastroenterology* 29: 789, 1955
- 3) 田北周平: 腸閉塞時における腹部聴診音の意義. *最新医学* 4: 713, 1949
- 4) 緒方芳郎: 人体腸運動の一新観察法とその生理学的並びに臨床的応用. *京都府立医誌* 53: 840, 1953
- 5) 荒川広太郎: 吸引電極法による消化管平滑筋筋電図の研究. *日消化機誌* 59: 181, 1962
- 6) 小野慶一: 人体消化管活動電位の導出について. *最新医学* 19: 1562, 1964
- 7) 河合逸郎: 超微小電極法による結腸組細胞内電位の臨床的並びに実験的研究. *日消化機誌* 56: 539, 1959
- 8) Hubel, D. H.: Tungsten Microelectrode for Recording from single units. *Science* 125: 549, 1957
- 9) 中山昭雄: 信号の検出, *医学エレクトロニクス入門* 2: 98, 1971
- 10) Katsch, G. und Brochers, E.: Beitrage zum studium der Darmbewegungen—Das experimentelle Bauchfenster. *Z. experiment Pathol. Therap.* 12: 225, 1913
- 11) 福原 武: 消化管運動の生理, *総合医学新書* 30. 医学書院 東京, 1953
- 12) 藤原郁夫: 腸音記録装置及び家兎記録腸音について. *米子医学雑誌* 6: 93, 1955
- 13) 近藤芳夫: 腹窓法を用いた無麻酔犬の消化管筋電図. *日平滑筋誌抄録* 2: 149, 1966
- 14) 大倉 透: 筋電図を中心とした腸管の病態生理学的研究. *日外会誌* 66: 812, 1965
- 15) 味木福孫: 家兎盲腸及び虫垂運動に関する研究. *日本生理誌* 6: 464, 1941
- 16) Goodall, P.: Early gastroduodenal motility following operation. *Brit. J. Surg.* 51: 864, 1964

- 17) Templeton, R. D.: Studies in the motor activity of the large intestine. Am. J. Physiol. 96: 667, 1931
- 18) Foulk, W. T.: A study of the motility patterns and the basic rhythm in the duodenum and upper part of the jejunum of human beings. Gastroenterology 26: 601, 1954
- 19) 大塚為和：腸雑音の性質と考え方. 日消会誌 61: 67, 1964
- 20) 井上 繁：腸雑音に関する研究. 日外会誌 59: 569, 1958
- 21) 渡辺澄男：家兔の胃運動に及ぼす皮膚圧迫の影響について. 新潟医学会誌 69: 760, 1955
- 22) 徳永欽吾：所謂開腹術後腸管麻痺の実験的並びに臨床的考察. 日外会誌 72: 655, 1971
- 23) 田中太平：外科と消化管筋電図. 治療 44: 471, 1963