消化管筋電図における SLOW WAVE の意義

東京大学医学部 分院外科

(指導 林田健男教授)

田中大平, 近藤芳夫, 荒川広太郎, 宇田東平

SLOW WAVES IN GASTRO-INTESTINAL ELECTROMYOGRAM

Taihei TANAKA, Yoshio KONDO,
Kotaro ARAKAWA and Tohei UDA,

Department of Surgery,
Tokyo University Branch Hospital
(Director: Prof. T. Hayashida)

It is well known that the action potentials of the gastrointestinal smooth muscles consist of two components; the spike and slow waves, and the spike waves usually superimpose on the slow waves.

Our studies were made of recording the E. M. G. from the gastrointestinal smooth muscles in dog, cat and guinea-pig, with suction electrode method and DC amplifier.

Significant differences of myographic patterns at various portions of the gastrointestinal tract were clearly demonstrated with configuration, amplitude and frequency of the slow waves, but not of the spike waves. Also the slow waves were extremely important in clarifying the response of the smooth muscles to various pathophysiologic stimuli such as local anesthesia, general hypothermia, denervation and reimplantation.

は し が き

平滑筋の筋電図学的研究は近年、基礎医学、臨床の両方面から多大の関心がよせられているが、骨格筋や心筋のそれに比し尚未解決の分野が多い。私どもも1957年以来、外科的疾患の病態生理研究の目的から消化管平滑筋の電気現象に着目し、この方面の開拓に努力を続けて来た。当初、文献として知り得たものはBrücke, Alvarez, Richterらの先駆者につづくBozlerの一連の研究が主なものであり、我国では丹生、市河、田北らによって問題は既にとり上げられていた。一方、超微小電極法による細胞内電位の研究は、その頃早や10年の歳月を経て、神経、心筋、骨格筋の電気生理に革命的な進歩をもたらし、消化管平滑筋についてもBülbring, Holmanらによって興味深い成績が続きつづきと報告されている頃であった。

臨床家の立場から私どもが消化管筋電図法に期待し、また期待されたことは本法を診断及び病態生理解明の手段として確立し、応用することであった。しかしながら、骨格筋々電図および心電図の知識を頼りに、手はじめに銀線電極を用いて行った動物実験では、この仕事が容易でないことを思い知らされた。ここで私どもは敢て超微小電極法を試みることにした。生理学教室の指導を受け、最初の一年は剔出したモルモット結腸紐を用い、

Bülbringの実験の追試を主な目標として、一応の成果を収めることが出来た。次で対象をin situのモルモット消化管に移しfloating ultramicroelectrodeを用いて、当時まだ手がつけられていなかったこの分野にいくつかの新知見を得た。超微小電極によって得られた成績は、一般の細胞外電極法のそれに比べ、遙かに実り多く、また、平滑筋の示す電気現象を理解する上に甚だ有力なものであったが、技術的な困難さと、実験条件の制約は非常に大きく、臨床家として前述の目標のためには早晚細胞外誘導に切換える必要が痛感された。ここに於いていろいろ電極を検討した結果、吸引電極をこの分野に応用することを思い立ち、近藤、荒川は極めて簡単な電極を創案して満足な記録を得るに到った。爾来、動物臓器を変え、実験条件を異にした一連の研究¹⁻⁴⁾を発表して今日に及んでいる。

以上の経過をかえりみて私どもが最も注意をはらい、努力を重ねた点は何が平滑筋筋電図の特徴であるかを知り、如何にしてそれを表現するかということであった。既に第4回日本平滑筋学会で「消化管筋電図誘導法の検討」と題し、消化管より活動電位を記録する上に必要と考えられる最低限の条件、殊にslow waveの重要性を

示して、従来の骨格筋々電図とは異った取扱いが必要であり、近い将来一定の規準が設けられるべきことを述べた⁵⁾。更に 1963 年には“外科と消化管筋電図”と云う小稿で臨床家としての考慮すべき問題点をあげ、私どもの考え方を明らかにした⁶⁾。

近時内外の基礎医学者により、slow wave の重要性を強調した論文⁷⁻¹⁹⁾ が散見されるのは誠に当然のことであるが、反面、臨床家の間では相変わらず slow wave を

消去して spike wave のみを強調した消化管筋電図を直接、臨床上の問題にむすびつけた論文が多数みられる傾向にある。必然的にその根拠となる筋電図そのものは相変わらず極めて単調であり、解釈にも大きな相異があつて客観的な説得力という点では不十分という外ない。ここに再び slow wave の問題をとり上げ数々の data から私どもの主張を繰返して同学の方々の御批判を仰ぎ度いと考える。

slow wave の意義

平滑筋の電気現象に spike wave と slow wave が認められることは、古く Ambache や Bozler により記載され、spike wave は筋原性のものであるが、slow wave についても Bozler は筋原性のもと考え、Ambache は平滑筋細胞をとりまく Cajal 神経網による神経原性の変化であると述べ、平滑筋の自動能をめぐって興味ある問題を提供している。その後、Bulbring, Holman, Burnstock, Prosser, Armstrong, Milton, Holaday, Daniel, Bortoff, 鈴木, 後藤, 丹生, 市川, 田北および著者らにより、slow wave は平滑筋固有の電位変動であることが確められ、その成因、意義、spike wave との関係などについて、電子顕微鏡を含む形態学的研究、あるいは細胞内電位変動を参照して説明が試みられて来た。

胃腸の種々な部位の平滑筋から超微小電極を用いて細胞内電位を導出してみるとその基本律動とも云うべきも

のは約 1 秒の周期で反復する 60 mV にもおよぶ spike wave であり、それに先行する数 mV のゆるやかな脱分極波 (pace-maker potential), または瘤状の隆起 (excitation transmission potential), spike potential につづく陰性および陽性の変動 (after-potential), 更に数秒～十数秒の周期で反復するゆるやかな膜電位のゆれなどの slow potential が伴っている。殊に in vivo の記録では slow potential の発現が目立ち、spike potential と共にある程度の規則性をもって脱落乃至休止を繰返し、この組合せの pattern によって部位的特殊性が認められる (図 1)。

平滑筋細胞の示すこれらの電氣的活動は、その運動機能である収縮、緊張と密接な関係にあることは充分証明されたことである。消化管運動に巧妙な合目的性があり、統一ある仕事が営まれている以上、局所的にみた平滑筋細胞という例えていえば労働者の集団が、心筋にみる様に一定の規律に従って synchronize していると考えられることも極めて当然であろう。細胞外誘導という、見晴らしの良い高所に立ってながめるとき、この規則正しい動きが目につかぬ筈はないであろう。殊に slow wave というゆるやかな全体的な動きが spike wave という個々の労働者の急激な動きよりも強調して現れると考えるのは間違いだらうか。この問題は後にもう少し厳密にとりあげることにし、実際、吸引電極を用い、直結増巾器に入れて単極誘導を行ってみると、部位によって様々な形の slow wave が規則正しく現れ、その発現は機械的な動きとは必ずしも一致しない。一方、spike wave は slow wave の一定の時相、多くは下行脚の途中に群をなしてあらわれ、肉眼的な、あるいは内圧曲線でみる機械的な動きに伴っていることが多い (図 2)。これら slow wave が前に述べた細胞内電位変動と密接な関連があるらしいことは図 1 と図 2 を比較して頂ければ明らかである。更に、これが電極のズレ、骨格筋筋電図や心電図など他の生体電気現象、呼吸、腸管内容移動などに伴う artifact でないことは、吸引電極、不関電極を強く振動させても記録に影響ないこと、独自の周期性を有すること、肉眼的な腸管の動きと必ずしも一致していないこと、などから明らかである。また若しこの様な artifact が混入

図 1. 細胞内電位

1. モルモットの結腸紐
2. モルモットの結腸膨起
3. モルモットの胃
4. モルモットの小腸
5. イヌの小腸

図 2. 活動電位 (吸引電極, 直流増巾器を用い, slow wave および spike wave を共に記録したもの)

1. モルモットの結腸紐 2. モルモットの結腸膨起
3. モルモットの胃 4. モルモットの小腸
5. イヌの小腸

するとすれば一般には spike wave よりも一層周波数の高い spike として出てくることが多い。若し, 筋電計, 脳波計などの増巾器を用い, C-R 結合の時定数を短かくし, 増巾度をあげて slow wave を除去し spike wave のみを安定した基線の上に記録しようとするれば, 骨格筋筋電図や心電図に慣れた私どもの目には一見優れた記録の見えるが却ってまぎらわしい artifact 混入の危険が増していることを知るべきである。図3は図2の各現象をこのような増巾器で記録したものであるが, ことさらに平滑筋筋電図の特性を失って, カラー写真を白黒に焼き

図 3. 活動電位 (吸引電極; C-R 増巾器, 時定数0.05秒のものを用い, spike wave のみを記録したもの)

1. モルモットの結腸紐 2. モルモットの結腸膨起
3. モルモットの胃 4. モルモットの小腸
5. イヌの小腸

直した様な味気なさを感じるといっては云いすぎであろうか。

基礎的な研究は別として, 少くも臨床応用を旨とした消化管筋電図においては, 増巾器は直結乃至時定数3秒以上のものを用い, slow wave を忠実に記録して, 混入のおそれのある artifact と区別し, 電気現象を全体として正しく観察すべきである。もし基線の異常なゆれのためこの様な方法がとれない時は恐らく電極そのものに不備があると考えられるのであって, 電極改善への努力が先決であろう。

消化管の部位による特異性

図2にもどって現在まで導出した吸引筋電図の動物差, 臓器差についてながめてみよう。結論を先にすれば, 得られた記録はモルモット, 家兎, 猫, 犬など少なくとも哺乳動物では, 動物差よりも寧ろ部位による波形の相異が著しい。これは逆に, 同一臓器の同一部位ならば, その波形は略々一定であると言う事を意味し, spike 成分の頻度や振巾のみによるものではなく, むしろ slow wave の発現状態によって決定される。従って slow wave の比較観察は, 消化管各臓器の運動様式を解明する重要な手段である。更に, その発現機序を調べることによって, 機能の上からみた各臓器の筋構造をある程度推察することが可能となる。

例えば, モルモットの摘出超生した幽門前庭部では,

肉眼的な蠕動と略々一致してまず緩やかな電位の上昇があらわれ, 3 mV 位に達すると振巾 3 mV 位の単相性の spike 放電が 6~8 個みられ, 続いて電位は徐々に低下して基線に戻る。全経過は 12~15 秒で, 略々 4~5 分の頻度で記録される。空腸では, この緩やかな脱分極は胃前庭部よりも経過が早く約 4 秒の周期で振巾 2 mV 前後の slow wave として記録される。spike wave はその頂点に 1~数個みられるが slow wave のみで spike がみられないこともある。この様な状態の腸は肉眼的には振子運動を主とし, 大小の蠕動波が電極附近に到った時は slow wave は周期, 振巾を減じて多数の spike wave が群生する。図4は同様な現象を犬で記録したものである。結腸では slow wave が不規則で且つ小さいが, spike

図 4. slow wave および spike wave の周期的変化 (イヌの空腸) 吸引電極, 直結増巾器により記録したもので slow wave の周期的な消長が目立つ。

放電は振幅が大きく 8 mV 前後, 時には burst を形成して連続的に発現する。更に屢々数十秒乃至数分の放電休止期があるのが特徴である。

幽門輪を境として胃と十二指腸とは波形が全く異なり, 筋構造の相違が, 放電形式の上からも明らかに指摘

できる (図 2)。また同一小腸に於いても, 空腸は回腸に較べて slow wave の周期が短かく, 十二指腸から回腸末端に近づくにつれて徐々にその経過が長くなる。このことは小腸に於ける興奮伝播の gradient によるものと思われる。

特に slow wave が問題となる現象

現在までの研究で我々は slow wave の意義を説明するような所見を随所に得ているが, そのうち興味ある 2, 3 をとり上げてみよう。モルモットの結腸膨起部から, 筋電図を誘導し, 電極先端の周囲に 2% キシロカイン溶液数滴を滴下してみる。滴下後数秒間で slow wave も spike 放電も急速に消失し, 略平坦な基線が現れる。しかし数十秒経過すると, oscillation 状の小さな波が連続的に現われるようになる。そして間もなく, この小さな波が段々と融合して大きな波となり, やがてもとの slow wave に回復し, その頂点に spike 放電がみられるようになって略々滴下前の状態にもどる。この現象は, slow wave が spike 放電発生の閾膜電位と何んらかの関係があることを暗示するものである。消化管平滑筋は個々の細胞が勝手に興奮しているのではなく, 市河の研究によれば約 70 個の細胞が集って一つの興奮単位を形成し, 電気的な一つの場の中で数ヶの細胞が交互に firing を繰返していると考ええる。そしてこの電気的な場の消長を, 近接した部位から単極誘導したものが私どものみる slow wave に他ならないと考える。キシロカイン滴下によって slow wave も spike wave も共に消失したことは, 細胞の電気的活性が一過性ではあるが全く消失したことを意味する。また, 回復の経過にあたって現れた基線の oscillation 状の動揺は, キシロカインによって障害された細胞膜が少しずつ電気的活性を取り戻して来ているが, なお正常の脱分極を繰返す状態には到っていないのであって, slow wave を記録してはじめて認め得る現象である。

モルモットの結腸膨起から自発放電を記録し, アドレナリンを筋注すると漸次 spike 放電は減少し, slow wave が負の方向に深く切れ込んでくる。これは細胞内誘導でみられる所謂アドレナリンによる hyperpolarization の

現象と関係し細胞が完全な脱分極に向って fire する所謂“閾膜電位”との巾が大きくなっている状態を細胞外から細胞群の動きとしてとらえているものと考えられる。

アセチルコリン, アトロピンによっても細胞内誘導と略々平行した記録が得られている。つぎに低体温にした生体モルモットの同一腸管から, 超微小電極による細胞内電位と, 吸引電極による筋電図の変化を記録すると, 体温低下に従って, 細胞内誘導では spike 周期の延長, spike の立ち上りの経過延長, abortive depolarization がみられるようになる。細胞外誘導では spike 頻度の減少, 振幅の短少, 経過の延長がみられ, 20°C 以下では明らかな spike 放電はみられず, spike wave と slow wave の中間のような経過のゆっくりとした小さな波のみが現れるようになる。すなわち細胞外でも 2 相性, 3 相性の経過の早い spike wave はみられず, 常に陽性の monophasic な曲線のみとなる (図 5)。

次に, 犬の腸間膜根部で血管周囲の自律神経線維を完全に剝離切断すると, 術前にみられた周期 3~4 秒の規則正しい slow wave は消失し, キシロカイン投与時にみられたような, 不規則な小さな slow wave のみが, oscillation 状に発現してくる。この場合は, すぐに正常の pattern に回復せず, 次に述べる自家移植腸管の時と略々類似の経過を示す。すなわち神経のみならず, 血管, リンパ管等を完全に切断し, 一旦剥出した腸管を血管吻合を行って再び元の位置へ自家移植すると slow wave は極めて不規則な基線の動揺としか認められない状態になる。一方血流再開直後からは巨大な spike が burst を作って数秒, あるいは数十秒の不規則な間隔で発現する。この振幅の大きな spike burst は肉眼的にみられる局所性, 多発性の強い痙攣性の収縮輪に一致して記録される

図 5. 低体温 (モルモット結腸膨起, 吸引電極) 上: 35°C, 中: 24°C, 下: 15°C

図 6. 腸間膜根部自律神経切断 (イヌ回腸吸引電極)
上: 神経切断前 中: 神経切断直後 下: 剥出再吻合 5 分後

(図6). このような slow wave の消失, oscillation 状の電位変動と間歇的にみる強い興奮状態は外来神経の切断, 一過性の血流遮断, リンパ液の鬱滞などの侵襲のため被刺激性は亢進しているのに腸管が全体としては麻痺的に傾いている状態と考えられ, 類似の現象はイレウス腸管の示す特異な病態や交感神経切除術を行った四肢の末梢血管の示す態度に求めることが出来る. 換言すれば正常の腸管では壁在神経系をも含めた平滑筋の興奮様式

が, 常に一定の周期で繰返される slow wave と云う電気緊張性の中で一定の調和を保って発現されるのに対し, 移植直後の腸管では適度な刺激が失われる一方ではわずかな刺激に対して局所性に興奮し調和を失ったものといつて差支えないであろう.

犬の小腸を切断し種々の吻合を試み, 吻合部近傍の電位変動を記録すると興味ある知見が得られる.

まず, 横切し単純な端々吻合を二層縫合で行ない, 術

図 7. 自家移植小腸吻合部
イヌ空腸吻合線より口側および肛側に各 1 cm の部位から吸引電極を用いて記録

後 1 週間目に再開腹してみると、吻合部より 10 cm 以上離れた部位では正常の小腸の波形を示すが、1 cm 以内の部からは不規則な slow wave のみが得られ、吻合輪をはさんで波形の連続性は全く認められない。

端々吻合 2 週間目のものでも、同様であるが術後 1 ヶ月以上経過すると、吻合上下部の slow wave の頻度が良く一致しており、吻合部を通じて協調した興奮の伝播が行なわれていることが分る。

次に前に述べた自家移植小腸の口側の吻合部の近傍を調べてみると、術後 1 ヶ月目では吻合の口側部では規則正しい週期 4 秒の slow wave がみられる。肛門側では slow wave は不規則であるが振幅約 3 mV の spike burst が週期約 5 秒で略々規則正しく放電を繰返している（図

7）。すなわち術後 1 ヶ月を経過しているにも拘らずこのような腸管では興奮の連続性は起っていない。

次に長さ 10 cm の小腸を腸間膜を軸として逆方向に 180 度捻って端々吻合してみた。術後 2 ヶ月を経過すると一見吻合部の上下で slow wave の同調がみられるが、少し時間をかけて観察すると周期は明らかに違って居り、更に、逆蠕動腸管の方には時々小さな不規則な slow wave が現われ、spike wave はむしろ活潑に発現している。このような放電様式は活動性の亢進した腸管に共通したもので、側々吻合や側端吻合に見られる腸管の盲端部の放電様式とも極めて類似し、内容の通過が本来の生理的な蠕動方向に逆って行かねばならないために発現しているものと考えられる。

slow wave の 起 源（図 8）

Bozler^{10,11)} は剔出した犬の胃、腸、ラットの膀胱など広汎な材料を用いて単極表面誘導を行ない、平滑筋活動電位の基本的な形として急速に立ち上る陰性波とそれにつづく平坦部および平坦部の上に乗る spike 群がみられることを示し、また、この様な曲線は近接した 2 点からの双極誘導曲線を 2 回積分したものとよく一致することを証明した。

Armstrong, ら¹²⁾ は犬の腸管の各部から活動電位を記録し、slow wave の頻度、伝播速度が小腸上部で大きく、回腸終末に近づくにつれ減少することから、slow wave は segmental contraction を表し、pace maker としての働きをするもので、腸管全体の pace maker は十二指腸の胆管開口部附近に局在すると主張した。この考えは十二指腸上部を結紮によって遮断しても下部小腸の運動に著しい変化をみないという Daniel らの実験により否定された。

田北¹³⁾ は腸管の内圧曲線と筋電図を同時記録し、内

圧上昇と一致した slow wave と、その上に重畳する spike wave をみて、phasic contraction に一致して spike 群が出現すると述べた。

Holaday ら¹⁴⁾ は開腹露出した犬、猫、家兎の腸から slow wave と、収縮に先行、または同時に発生する spike 群を記録し、前者は膜電位の周期的変動に基づく腸管の興奮性を規定するものであるとした。

Daniel ら¹⁵⁾ は in vivo の犬小腸の単極および双極細胞外誘導の所見として slow wave と spike wave を認め、slow wave は上部から下部小腸に向うにつれて頻度を減少し、且つ spike wave や運動曲線の変化とは一致せず、他方、spike wave は運動曲線の変化を伴って陽性の slow wave の上にあらわれるなどの所見を確認している。また、これと小腸縦走筋の細胞内電位変動を記録した成績を比較して¹⁶⁾、曲線の型、温度、薬剤の影響など細胞内電位と極めて良く類似することから細胞外で記録される slow wave の立上り相は、膜の脱分極に相当すると考え

図 8. 報告者による slow wave のいろいろ

報告者	材料
1. Bozler	A. ネコの胃 B. モルモットの胃
2. 田 北	ウサギの小腸
(a. 活動電位, b. 内圧曲線)	
3. Holaday ら	イヌの小腸
4. Daniel ら	イヌの胃
5. Daniel ら	イヌの小腸
6. Bortoff	ネコの小腸
7. 著者ら	ネコの小腸
8. 著者ら	イヌの小腸
9. 著者ら	イヌの胃

て差支えないと述べた。但し、細胞内誘導では spike 成分は slow wave の頂点即ち 最高の脱分極状態に一致するが、細胞外誘導では一般に slow wave の頂点より少しおくれてあらわれ、これは細胞外誘導の場合は多数の細

胞群により影響されているためと説明している。

膜電位は平滑筋の重要な特性である tonus と密接な関係にあって、一般に tonus 上昇と共に膜電位が減少し、殊に in vivo の腸管平滑筋細胞群が絶えず週期的に膜電位を変化し、それが一定の level を越えるとき firing を起していることは、堀越²⁾の細胞内電位の研究からも確認されたことで、ここに slow wave の起源を求めようとする考え方は近年次第に有力となっている。

先にのべた Holaday や Daniel らは、腸壁の種々な深さに刺入したガラス電極より slow wave を記録したことから、slow wave はすべての筋層から発生し得るとのべているのに対し、Bortoff^{17,18)}は猫小腸の縦走筋のみから slow wave を記録し、また、Sperelakis & Prosser¹⁹⁾も猫小腸の輪走筋からは slow wave を認めなかったことより、slow wave は縦走筋のみから起るものであると述べ、Holaday や Daniel がすべての層から出ているというのは縦走筋から伝播されたものを記録しているにすぎないと説明している。

Bortoff^{17,18)}は Tyrode 寒天を充した尖端 0.5 mm のガラス電極を 1~2 g の力で腸管壁に押しつけて圧および活動電位を誘導する圧迫電極の方法を用いて猫、家兎の小腸から見事な筋電図を記録し、一定の大きさで週期的にあらわれる単相性の slow wave と、強い収縮を伴って slow wave の頂点に重畳する spike wave を認め、これと細胞内電位の変動を対照して、slow wave は筋細胞の slow な脱分極に基づくという諸家の見解を支持している。極性に関しても Bozler とは反対に陽性の波であり、これは機械的圧迫によって脱分極を強め、抵抗を減じた膜を介して、電極がその下の活性部分と十分に接触している為であると説明している。現象を記録しようとする電極は、常にその尖端と不関電極の間の抵抗を介して短絡されているわけであり、記録される現象は電極尖端から活性部分までの抵抗と、短絡抵抗の相対的な関係によって決定されることから、電極が腸管表面に単に接触している場合に比べ、圧迫電極は電極下の抵抗を減じ、短絡抵抗を増して有効に膜電位変動をとらえ得ると述べている。

私どもが用いて来た吸引電極も同じ様な考え方で解釈されるものであり、偶然にも吸引、圧迫と全く逆の力を利用しているが得られた結果は極めて類似していることも興味深い。吸引電極の機序利点に関しては既に別稿^{3,4)}にものべた如く、吸引により不関電極との間の短絡抵抗を増す一方、損傷部の脱分極により電極接触部分の抵抗を減少し、電極を活性細胞群に近接させたと同じ効果をもたらし、細胞内電位変動の代数和を忠実に記録しようとするものである。

使用している電極は in vivo で激しい動きを示す腸管から長時間安定な記録を得ようとする目的のため、内径

0.4 mm という比較的大きなものであり、従って実際の記録はその基調となる細胞内電位変動に類似した単相性の spike および slow wave の外に、電極からある程度

隔たった細胞群からの二相性、三相性の波も混入して、これらの総合した結果が夫々の pattern の特徴を示している。

む す び

消化管平滑筋の活動電位が、一般に slow wave と spike wave の二成分から成ることは今や疑いのない事実である。近年、この分野が臨床家により盛んにとり上げられるようになったのは誠に喜ばしいことであるが、ややもすると平滑筋の特性を無視し、骨格筋筋電図と同様な配慮から時定数の短い CR 結合増巾器を用いて、spike wave のみを増巾し問題にしようとする傾向があるのは

遺憾なことである。私どもは slow wave の中にこそ消化管の病態生理を説明する多数の情報が秘められていると信ずるものであり、未だ充分な解明が得られていないとはいえ、slow wave の重要性を認識した上で、消化管筋電図誘導法に一定の規準を設けるべき時期に到ったことを繰り返し強調するものである。

文 献

- 1) 河合逸郎：超微小電極法による結腸細細胞内電位の臨床的並びに実験的研究，日消機誌，**56**，539，1959.
- 2) 堀越弥太郎：超微小電極法による生体内平滑筋細胞内電位の研究，日消機誌，**57**，1115，1960.
- 3) 荒川広太郎：吸引電極法による消化管平滑筋筋電図の実験的研究，日消機誌，**59**，181，1962.
- 4) 大倉透：筋電図を中心とした腸管の病態生理学的研究，特に神経系機能脱落について，日外会誌，**66**，812，1965
- 5) 近藤芳夫，荒川広太郎他：消化管活動電位誘導法の検討，第4回日本平滑筋学会発表，1962.
- 6) 田中大平，近藤芳夫他：外科と消化管筋電図，治療，**43**，471，1963.
- 7) 市川三太：平滑筋の活動電位について，興奮伝導の諸問題，医歯薬出版，東京，1959.
- 8) 丹生治夫：平滑筋活動電位総論，興奮伝導の諸問題，医歯薬出版，東京，1959.
- 9) 後藤昌義，玉井忠：平滑筋心筋の諸問題，金芳堂，東京，1960.
- 10) Bozler, E. : The action potentials of the stomach. Am. J. Physiol., **144**, 693, 1945.
- 11) Bozler, E. : The relation of the action potentials to mechanical activity in intestinal muscle. Am. J. Physiol., **146**, 496, 1946.
- 12) Armstrong, H.I.O., Milton, G.W. & Smith, A. W. M. : Electropotential changes of the small intestine. J. Physiol., **131**, 147, 1956.
- 13) Takita, S. : Action current of alimentary canal. Jap. J. Physiol., **3**, 176, 1953.
- 14) Holaday, D. A., Volk, H. & Mandell, J. : Electrical activity of the small intestine with special reference to the origin of rhythmicity. Am. J. Physiol., **195**, 505, 1958.
- 15) Daniel, E.E., Carlow, D.R., Wachter, B.T., Sutherland, W.H. & Bogoch, A. : Electrical activity of small intestine. Gastroenterology, **37**, 268, 1959.
- 16) Daniel, E.E., Honour, A.J. & Bogoch, A. : Electrical activity of the longitudinal muscle of dog small intestine studied *in vivo* using microelectrodes. Am. J. Physiol., **198**, 113, 1960.
- 17) Bortoff, A. : Slow potential variations of small intestine, Am. J. Physiol., **201**, 203, 1961.
- 18) Bortoff, A. : Electrical activity of intestine recorded with pressure electrode. Am. J. Physiol., **201**, 209, 1961.
- 19) Sperelakis, N. & Prosser, C.L. : Mechanical and electrical activity in intestinal smooth muscle. Am. J. Physiol., **196**, 850, 1959.

(1966年5月30日受付)