日消外会誌　10（2）：172～177，1977年

マイクロ波の腹部外科への応用（第1報）
マイクロ波の術後腸管麻痺に対する効果

和歌山県立医科大学消化器外科学教室（指導：勝見正治教授）
田　伏　克　惇

APPLICATION OF MICROWAVE TO ABDOMINAL SURGERY
Ist REPORT
THE EFFECT OF ABDOMINAL MICROWAVE RADIATION ON SO-CALLED "PARALYTIC ILEUS FOLLOWING ABDOMINAL OPERATIONS"

Katsuyoshi TABUSE
Department of Gastroenterological Surgery, Wakayama Medical College
(Director: Prof. Masaharu Katsumi)

従来より Diathermy として使用されている極超短波（Microwave）の深部温熱効果に着目し，臨床的に腸管運動にどのような影響を及ぼすか，腸音図法を用いて，その効果を検索した．健康成人，開腹術後症例に，100 Watt，15分，腹壁アンテナ間距離15cm の条件で，腹部照射を行うと，腸管運動機能の亢進が認められ，さらに従来より使用されている熱気浴法よりその亢進作用は優れていることを知った．また，開腹術後第3病日には，すでにいわゆる腸管麻痺は存在せず，程度の差はあっても運動機能は回復しており，また，正常人と同様2～5分の腸音発生の周期性のあることを腸音図法にて証明し得た．

索引用語　マイクロ波（極超短波），腸管麻痺，腸音図

緒　言

開腹術後における胃腸運動麻痺は，しばしば問題となり，外科医にとって，非常に重要な問題である．その成因として，消化管に直接加えられた切離，露出，牽引，摩擦などの侵襲による自律神経系に対する影響が主要なものと考えられ，それに伴う腸管の血流の低下，あるいはうっ滞が考えられ，また自動運動能の低下も考えられている．日常臨床においては，腸麻痺の改善に種々の方法が用いられ，腸雑音の聴取や，放屁などを目安として，経口摂取を開始している．この生理的イレウスと呼ばれている術後腸管麻痺の時期に対する処置として，各種の腸管運動促進剤の使用，腸管内圧減少法の外，腹部熱気浴法も今日なお広く用いられている．

著者は，この従来より使用されている熱気浴に代るものとして，極超短波（Microwave）の深部温熱効果に着目し，臨床的に腸管運動にどのような影響を及ぼすか，当教室において研究してきた腸音図法[1)2)]を用いて，その効果を検索した．

腸音図法は，いかなる患者にせよ腸内の gas の量が比較的一定に保たれているとすれば腸雑音の量的変化は胃腸運動の変化に左右されるという概念を理論的基礎としたものである．腹部腸雑音を量的に分析し，胃腸運動の指標とし，極超短波（Microwave 以下 MW と略す）腹部照射で，腸運動亢進作用のあることを認めたので報告する．

実験方法

MW 発生装置としては，平和電子工業株式会社製の医療用マグネトロン MT-200 を使用し，周波数2450±50MHz，最高出力200Wの連続波を発振させ，送信アンテナは半球状反射板で，開口面の直径は17.5cm とする．

腸音測定法は，宇都宮[1)]，中沢[2)]が，心音計の記録部

を改造したオッシロペーパーの回転速度が0.16cm/secのものを使用し，マイクロフォンを右下腹部に密着し記録する．この部が，腹部大動脈音，股動脈音，心音，呼吸音の影響の受けにくいことによる．測定に際し，較正信号をフィルム上4mmの幅になるように増幅度を一定にする．分析は，大塚[3]の主張せる腸雑音の"単位音"の考え方に基づき，単位音発生頻度の変化と，単位音振幅値合計値を，1分間の時間単位として，時間的経過を，照射前，照射中，照射後を記録する．

照射条件を，出力100W，15分間，腹壁アンテナ間距離15cmとし，臍部を中心に，健康成人5例，全身麻酔下開腹術後症例10人（**表1**）に仰臥位にして照射を行う．健康成人においては，絶食安静時に，開腹術後症例においては，術後第2～第4病日の絶食，胃管挿入状態で，放屁のまだなきもので，いわゆる術後腸管麻痺の状態のものに施行した．

表1　全身麻酔下開腹術後症例

症例	年令	性	病名	術式	体温 ℃	腸音図検査日	自覚症状 全身	自覚症状 腹鳴	放屁
No.1	45	♂	胃癌	胃切 B-I	37.8	3	快	+	3
2	27	♂	胃潰瘍	胃切 B-I	37.8	3	良		4
3	57	♂	胃癌	胃切 B-I	37.1	2	良	+	3
4	41	♂	胃潰瘍	迷切 胃切 B-I	37.4	3	良	+	3
5	63	♂	胃潰瘍	胃切 括約筋保存 B-I	37.2	4	良		4
6	54	♂	噴門癌	全剔 Roux en Y	37.2	4	良		4
7	56	♂	直腸癌	直腸切断	37.2	3	良	+	4
8	41	♂	S字状結腸癌	S-結腸切除	37.6	3	良		3
9	24	♀	胆石症	胆剔	37.4	2	良	+	2
10	70	♂	胃癌	胃腸吻合	37.0	3	良	+	3

結　果

図1は，症例No.4の腸音図を示すが，聴診上，「ブツ」「グツ」「ググ」「ポツ」「コロコロ」と音色はいろいろであるが，オッシロ・グラフで記録すると，全て線状のフレおよびその集まりとして認められる．このような線状のフレとして記録される腸雑音を，腸雑音の単位音と大塚らは呼んでいるが，この腸雑音の単位音の発生の時間経過を1分間に区切り，その発生数を数え，これを時間経過にしたがってグラフにすると**図2**のごとくとなる．MW照射前の単位音発生頻度と，照射中，照射後のそれと比較すれば，明らかに照射により，単位音発生頻度が，増加していることがわかる．そこでこの単位音の振幅値を測定し，やはり1分を時間単位として，単位音の振幅値合計値を高さで表わし時間経過をグラフにすると，同じ症例No.4で**図3**のごとくなり，音エネルギーにおいても，照射中，照射後の方が増加していることが明らかである．

図1　腹部マイクロ波照射による Phonointestinography（症例4）

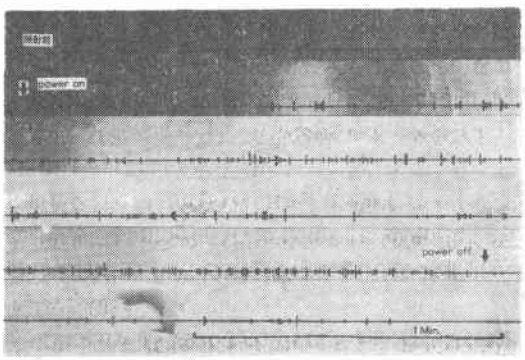


図2　"単位音"発生頻度の時間経過（症例No.4）マイクロ波照射

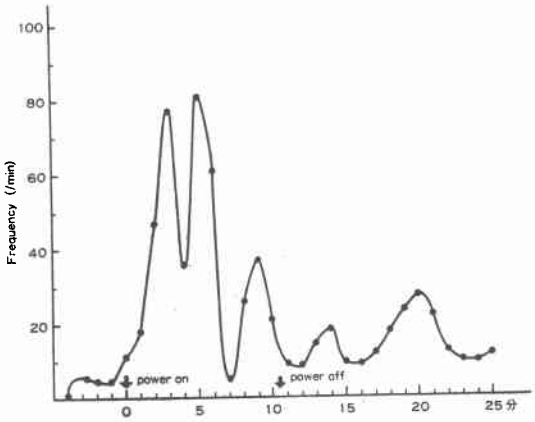


表1は，開腹術後症例の内訳であるが，胃切除術5例，胃全摘除例1例，直腸切断例1例，S状結腸切除例1例，胆摘例1例，胃腸吻合例1例の計10例である．MW照射を行い腸音を測定したのは，第2～第4病日で，放屁は照射直後あるいは照射病日内にあり，照射時における自覚症状として，全例，快感を覚え，数例に腹鳴を自覚し，とくに苦痛を感じたものはなく，腹壁皮膚は軽度の発赤を観察し得たが，適度の温かさを感じたと訴えるものがほとんどであった．

表2は，健康成人における単位音発生頻度および振幅値の1分間平均を示し，照射前7.6/分照射中18.1/分で平均約2.5倍増加している．また振幅値においては，照射中，照射後とも3～4倍に増加し，明らかに照射による腸運動の亢進がみられる．

図3　“単位音”の振幅合計値の時間経過（症例No. 4）

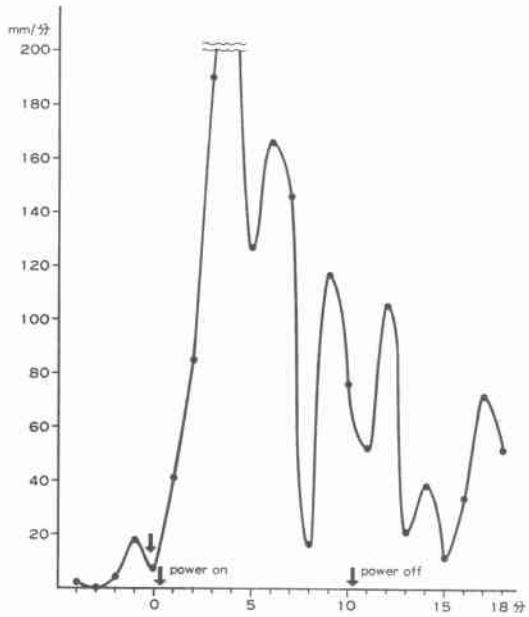


表2　健康成人マイクロ波腹部照射による腸音“単位音”発生頻度．振幅値の1分間平均値

f.(/min) a.(mm/min)		照射前 A	照射中 B	照射後 C	B/A	C/A
1	頻度 f	3.4	11.7	7.8	3.4	2.3
	振幅値 a	4.2	41.2	16.8	9.8	2.3
2	f	10.4	10.4	12.7	1.0	1.2
	a	19.0	24.4	44.7	1.4	2.4
3	f	7.2	13.7	13.2	1.9	1.8
	a	35.4	74.5	105.6	2.0	2.9
4	f	4.0	25.0	19.0	6.3	4.7
	a	6.3	35.0	23.0	3.9	3.6
5	f	13.0	30.0	21.8	2.3	1.6
	a	18.0	55.0	36.4	3.1	2.0
	f 平均	7.6	18.1	14.9	2.98	2.0
	a 平均	18.4	46.0	45.3	4.04	3.2

表3　開腹術後症例．マイク波腹部照射による腸音単位音発生頻度．振幅値の1分間平均値

症例		A	B	C	B/A	C/A
No. 1	f	6.3	24.8	26.2	3.9	4.1
	a	18.0	120.8	146.2	6.1	8.1
2	f	7.0	24.5	13.3	3.5	1.9
	a	49.0	95.2	64.6	1.9	1.3
3	f	5.6	10.7	9.2	1.9	1.6
	a	24.0	72.7	48.5	3.0	2.0
4	f	2.0	35.2	12.6	17.6	6.3
	a	7.2	115.0	39.1	15.9	5.4
5	f	15.6	25.6	—	1.4	—
	a	94.4	114.5	—	1.1	—
6	f	6.6	23.1	9.0	3.1	1.4
	a	17.1	152.0	23.0	8.9	1.3
7	f	7.0	16.2	10.0	2.3	1.4
	a	69.0	121.0	139.6	1.7	2.0
8	f	3.6	12.9	11.4	3.6	3.2
	a	10.0	41.7	30.2	4.1	3.0
9	f	12.5	33.3	10.8	1.9	0.6
	a	58.0	136.3	115.0	2.4	1.9
10	f	2.5	6.2	5.3	2.3	1.4
	a	13.6	19.1	38.6	1.4	2.8
平均	f	6.7	22.2	12.1	4.1	2.4
	a	39.0	108.8	71.6	4.6	3.1

表4　健康人および開腹術後症例の腸音発生の周期性

症例	周期(分)	健康成人	周期(分)
No. 1	3～4	No. 1	2～3
2	4～8	2	2～4
3	3～6	3	2～4
4	2～4	4	2～4
5	2～4	5	3～4
6	3～4		
7	4～6		
8	3～4		
9	2～4		
10	2～3		

表3は，開腹術後症例の分析結果を示すが，術後3日目には，照射前の単位音発生頻度で，明らかであるが，No. 4，No. 8，No. 10を除けば，ほぼ正常人と変らないほどに腸運動は回復している．そしてMW照射により2～4倍に増加を示し，照射終了後も2～3倍の増加状態を保ち，全例，腸運動の亢進が見られた．

表4は，**図2**，**3**でわかるように，時間経過を1分毎にみると，単位音が群生して生じる周期性が観察され，数の多い群生と群生との時間々隔をそれぞれ症例により，2～4分，3～5分といった周期性を見い出し得た．この表でわかるように，明らかに規則正しいリズムではないが，健康正常人と術後症例を比較しても特に有意差を見い出しがたい．

また，MW照射と従来の熱気浴法を比較する目的で，同一症例に，同術後病日に熱気浴（400W，15分）を施行し，同様の腸音図検査を行った結果，熱気浴施行時，施行後15分間程度，腸音亢進は認められるが，MW照射よりは軽微である．同施行例5例を**表5**に示したごとく，熱気浴前の単位音発生頻度が平均4.2回/分，熱気中6.8回/分で，平均1.6倍の亢進を示し，**表5**で，振幅値でみでと，熱気浴中平均約1.5倍の亢進を示したが

表5　開腹術後症例の腹部熱気浴による腸音“単位音”発生頻度，振幅値の1分間平均値

症例		熱気前 A	熱気中 B	熱気後 C	B/A	C/A
No.7	頻度 f	1.2	2.8	5.1	2.3	4.2
	振幅値 a	3.0	10.1	31.0	4.3	10.3
8	f	6.8	5.8	—	0.8	—
	a	4.3	29.8	—	0.6	—
9	f	7.2	13.7	13.2	1.9	1.8
	a	35.4	74.5	105.6	2.0	2.9
10	f	5.0	7.9	—	1.8	—
	a	41.3	33.3	—	0.8	—
*11	f	1.0	3.9	—	3.9	—
	a	3.0	13.1	—	3.3	—
平均	f	4.2	6.8	—	1.6	—
	a	25.1	32.1	—	1.2	—

*No.11. 胆のう剔除例

図4　“単位音”発生頻度の時間経過（症例 No. 9）

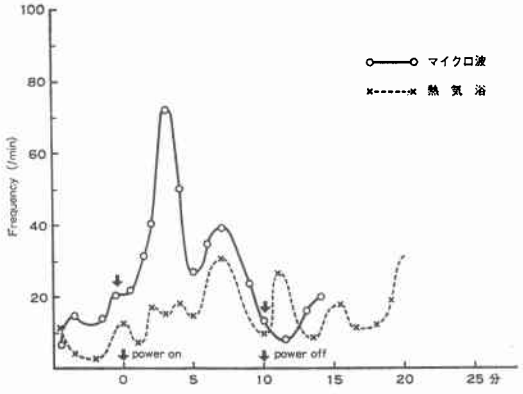
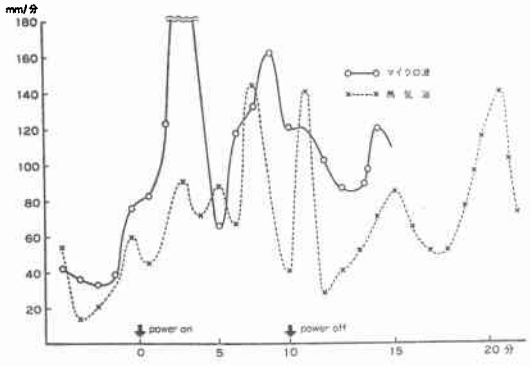


図5　“単位音”の振幅合計値の時間経過（症例 No. 9）



MW 照射の方が，亢進作用は強く観察された．これを症例 No. 9 でグラフに示すと図4，5のごとくである．

考　察

MW は，第2次大戦後，各分野で長足の進歩を遂げた．レーダー，誘導弾への応用，テレビ，電話の回路接続，電子レンジなどで，医学の分野でも基礎的，臨床的応用が盛んになりつつある．

医療に用いる場合，低出力で患部に照射するが，強さおよび作用時間が適当であると，組織の血行を改善し，物質代謝を促進する効果が認められ，生体に有利な影響をもたらす．

Gramberry ら[4]は，動物実験で骨成長に対する影響を述べ，Hedenius ら[5]は，人の心窩部に MW を照射し間歇性跛行に改善が認められたと報告している．また炎症性反応をおさえるといういくつかの報告もある[6)7)]．Fenn[8] は実験的に血腫の吸収が MW 照射により促進されることを認めた．Cater[9] はX線と MW を併用することにより Rat の肝癌に有効であると述べていで．Copeland[10] は I^{131} Fibrinogen の Localization を促し腫瘍への I^{131} の取り込みを高め，腫瘍を破壊する方法も考えている．また，外科の新しい手術手技[11)12)]として，レーザーメス，プラズマメスとならんで開発が待たれている．

このように医療への応用が広く考えられているが，現在まで開腹術後に応用した報告はまだ見られていない．

現在，MW の生物学的作用として，1）熱的効果，2）非熱的効果が考えられているが，MW の生物学的作用としてもっとも期待されるのは熱的効果で，とくに深部の温熱効果である．非熱的効果についてはいまだ定説はないが，頭部あるいは全身照射により出現する諸種の神経生理学的反応を中枢神経および末梢神経に対する非熱的刺激によるとする考えがある[13]．生物学的作用に対する mechanism とその臨床的効果において，とくに腹部照射による腸管運動機能による影響についての文献は見られない．

一方，neuromuscular junction における温度上昇により Acetylcholine の遊離が増加し神経終末の脱分極が生じることが報告され[14)15)]，Ward らが，28℃～39℃においては可逆的反応を示し，neuromusclar junction には温度による調節機構があると述べている[16]．また MW の深部到達に関しては，人体の条件すなわち皮下脂肪組織，腹筋の厚さによって左右される．Schwan によれば，約5 cm の厚さ以内であれば透過し，十分に腹腔内に到達する．もちろん壁透過の際，電界強度は減衰するので動物実験で得られるような直腸温の上昇および腹腔

内臓器各々の温度上昇は，動物種により種々であるが，体重10kg 以上の動物では，皮膚が障害を受けない程度すなわち42.5℃以下の場合では，腹腔内臓器は42℃をこえることがなく，上昇せる皮膚温に近似した上昇で，血流量の多い肝，腎等においては直腸温以上には上昇しがたい[17]．したがって，腹壁を透過した MW は腸管壁等に吸収され，ある程度の温度上昇を得，neuromuscular junction および Auerbach 神経叢あるいは平滑筋の刺激となって消化管運動の亢進となるものと考えるのが妥当である．緒言に述べたごとく，術後腸管麻痺の成因として自律神経系に対する障害が，腸管血流の低下，あるいはうっ滞が起り，ひいては腸管自動能の低下をもたらすことが主たる病態生理であるとしたが，著者の得た結果で，MW 照射時に腸運動が亢進したという結果から，自律神経系を熱的に刺激し，腸管自動運動能を高め，腸間膜血流量を増加せしめ，うっ血を取り，腸蠕動亢進をきたしたものと推定する．

腸雑音の研究は Cannon に始り，特に臨床的には，イレウスをはじめ各種消化管疾患および開腹手術後の腸管機能の回復の判定に有用であることが報告され，phonointestinography として電気的に記録がなされ，分析が試みられている[18)19)20)]．開腹術後腸管麻痺に関しても腸音図法を用いて分析がなされているが，徳永[21)]は，腸音図法および種々の腸管運動機能検査を用い再検討し，術後腸機能低下はその中で消化管を支配している自律神経の他に壁内神経細胞に対する影響が主要な成因であるが，麻痺という現象は存在せず，かつ抑制があっても一過性であるとし，術後48時間後，72時間後にはほぼ正常の内容輸送を回復していると述べていで．この結果でも，健康成人の単位音発生頻度が平均約7.6回/分に対し，開腹術後症例においても平均6.7回/分とほぼ同じで，術後2日目～3日目には，すでに正常の腸管運動に復していたことは徳永の知見と一致する．この状態に，MW を照射した場合，**図2**でもわかるように照射開始後より腸音発生頻度の増加が認められ，**表2**から分るごとく10症例の照射時における頻度は，平均22回/分となって，照射前の約4倍の増加を示している．健康成人の場合約3倍となっているが，この術後症例は MW 照射により，健康正常人とほぼ同程度の腸運動亢進を示したといえる．

一方腸音図の分析において，現在まで，時間経過の観察で，(1) 4～6秒，(2) 40～60秒，(3) 3～5分の週期性が正常家兎の腸雑音で認められている．4～6秒を周期とした腸雑音の周期性については，臨床ではすでに多くの報告がある．40～60秒を周期とした周期性に，Cannon が，臨床で不規則であるが，ほぼこれに近い周期をあげ，大腸の運動と関連させている．しかし3～5分の周期性は正常人に関しての報告はないが，大塚は，大腸運動で結腸全体の活動ではないかと推定している．Farra & Ingerfinger は2分周期を腸管機能異常に見い出している．われわれの得た結果（**表5**）では，術後患者および正常人にも2～4分，3～6分の周期性が観察されたことから，この周期性を病的あるいは正常と論及することはできない．しかし2～4分，3～6分等の周期性の存在することは明らかであり，今後この周期性が，小腸，大腸のいずれに由来したものか，検討が必要である．

熱気浴法は，古くより経験的に用いられてきたために，その腸運動亢進作用は，どの程度かを示すデータを文献的に見い出すことができず，文献的考察は困難である．われわれが，同一症例に施行した症例に限れば，腸運動亢進作用は，平均約1.5～3倍であり，MW 照射に比べやや軽微である．また熱気浴施行時，発汗が著明に自覚される例もあり，この点からも熱気浴法に代るものとして，MW 照射が期待され得る．

結　語

Diathermy として MW を使用し，開腹術後症例に腹部照射を行い，100W，15分，腹壁アンテナ間距離15cm の条件で，腸管運動機能の亢進作用のあることを認め，さらに従来より使用されている熱気浴法よりその亢進作用は優れていることを知った．

開腹術後症例において，いわゆる生理的腸管麻痺は，術後第3病日には，すでに存在せず，程度の差はあっても腸管運動は回復しており，また，正常人と同様2～5分の周期性のあることを，腸音図法にて，証明し得た．

本論文の要旨は昭和47年10月第34回日本臨床外科医学会総会において発表した．

稿を終わるに臨み，ご指導ご教示を賜った勝見正治教授ならびに終始ご支援ご協力を頂いた教室の諸兄に心から感謝の意を表する．

文　献

1) 宇都宮晴久：開腹術後障害患者の腸音図・（術後腸管癒着障害を中心として）和歌山医学，17：309—328，1966.
2) 中沢　豊：腸音図検査の腸管運動機能異常鑑別診断への応用に関する臨床的研究．和歌山医学，20：427—441，1969.

3) 大塚為和：腸雑音の性質と考え方．日本消化器病学会雑誌，**61**：67—84，1964.
4) Granberry, W.M. and Janes, J.M.: The lack of microwave diathermy on rate of growth of bone of the growing dog. J. Bone Joint Surg. **45**: 773—777, 1963.
5) Hedenius, P., Odeblad, E. and Wahlström, L.: Some Preliminary investigations on the therapeutic effect of pulsed short waves in intermittent claudication. Curr. Ther. Res. **8**: 317—321, 1966.
6) Ginsberg, A.J.: Pulsed short wave in the treatment of bursitis with carcification. Intern. Record Med. **174**: 71—75, 1961.
7) Splitter, S.R.: New approach to the management of subacute sinuisitis. Delaware Med. J. **38**: 83—84, 1966.
8) Fenn, J.E.: Effect of pulsed electromagnetic energy (Diapulse) on experimental hematomas. Canad. Med. Ass. J. **100**: 251—254, 1969.
9) Cater, D.B., Silver, I.A. and Watkinson, D.A.: Combined therapy with 220KV roentgen and 10 cm microwave heating in rat-hepatom. Acta Radiol. **2**: 321—336, 1964.
10) Copeland, E.S. and Michaelson, S.M.: Effect of selective tumor heating on the localization of I^{131} fibrinogen in the Walker carcinoma 256. II. Heating with microwaves. Ther. Phys. Biol. **9**: 323—336, 1970.
11) 逢坂愛児：マイクロ波の外科的応用について．外科診療，**14**：920—927，1972.
12) 小杉幸夫，高倉公明，黄　明聰，岡部隆博：マイクロ波を用いた組織凝固技術．医用電子と生体工学，**11**：86—93，1973.
13) Kaplan, T.I. and Zaret, M.M.: Hazards of microwave ovens. J.A.M.A. **217**: 481—482, 1971.
14) Takeuchi, H.: The effect of temperature on the neuromuscular junction of the frog. Japan J. Physiol. **9**: 391—401 1959.
15) Hofmann, W.W., Parsons, R.L. and Feiger, G.A.: Effects of temperature and drugs on mammalian moter nerve terminals. Amer. J. Physiol. **211**: 135—140, 1966.
16) Ward, D., Crowley, W.J. and Johns, T.R.: Effect of temperature at neuromuscular junction. Amer. J. Physiol. **222**: 216—219, 1972.
17) McLees, B.D. and Finch, E.D.: Analysis of reported physiologic effects of microwave radiation. Advanc. biol. med. Phys. **14**: 163—223, 1973.
18) 緒方芳郎：人体腸運動の一新観察方法とその生理学的並びに臨床的応用．京都府立大誌，**53**：840—856，1953.
19) Farra, J.T. and Ingelfinger, F.J.: Gastrointestinal motility as revealed by study of abdominal sounds. Gastroenterology, **29**: 789—800, 1955.
20) 井上　繁：腸雑音に関する研究．日外会誌，**59**：569—588，1958.
21) 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—675，1971.