

身体運動とトレーニングが 消化管諸機能に及ぼす影響

名古屋大学 近藤孝晴
(共同研究者) 国立生理学研究所 成瀬 達

Effects of Exercise on Upper Gastrointestinal Functions

by

Takaharu Kondo

Research Center of Health, Physical Fitness & Sports, Nagoya University

Satoru Naruse

National Institute for Physiological Sciences

ABSTRACT

The effect of 2-hour running on postprandial gastric secretion, gastric emptying, serum gastrin and triglycerides and gastrointestinal motility was studied in six conscious dogs with gastric and duodenal fistulas and a Heidenhain pouch. Gastric acid secretion from the Heidenhain pouch did not change during the first hour of the exercise. During the second hour, however, acid secretion was significantly depressed when the speed of the treadmill was 4 km/h or 6 km/h, compared to the nonexercise control. Pepsin secretion from the Heidenhain pouch was decreased after a meal whether the animals had exercise or not. During the second hour of running at a speed of 4 km/h, pepsin output was slightly but significantly higher than the nonexercise control.

Serum gastrin levels did not change whether dogs had exercise or not. Serum triglyceride after one hour of exercise was significantly lower than that of the non-exercise control. Gastric emptying of a liquid meal was not altered during the exercise. Gastrointestinal tract

has been shown to contract every 100 minutes. This interdigestive contraction was not observed during the exercise. Instead, irregular small contraction appeared. After the cessation of the exercise, interdigestive contraction appeared at the expected time intervals, 200 minutes after the preexercise interdigestive contraction.

要 旨

全身運動の消化管諸機能に及ぼす影響を、胃瘻, Heidenhain pouch, 十二指腸瘻を造設したイヌ6頭を用いて検討した。

Heidenhain pouchからの食事刺激による胃酸分泌は、運動開始後1時間までは安静時と差がなかった。1時間を越えると、時速4 km以上の運動では安静時に比し有意に低値を示した。ペプシン分泌は運動の有無にかかわらず食後減少した。時速4 kmで運動を行った時のペプシン分泌は安静時に比し低値を示した。血清ガストリンは運動により変化しなかった。血清トリグリセライドは運動後1時間値が安静時に比し低値であった。液体食の胃排出は運動により影響を受けなかった。安静時の上部消化管には100分ごとの周期的な強収縮が出現するが、運動中にはこの強収縮は出現しなかった。それに代わって不規則な収縮波が出現した。しかし、運動を中止すると最初の強収縮から予測された時刻に次の強収縮が出現した。

緒 言

運動と消化管諸機能との関連については、古くから興味もたれているにも関わらず、系統的な研究は行われていない。

本研究では主にイヌを対象とし、全身運動が上部消化管の諸機能、すなわち、胃分泌、胃排出、胃、十二指腸、空腸の運動機能、血清ガストリン、および脂肪の吸収に与える影響について検討した。

方 法

胃瘻, Heidenhain pouch, 十二指腸瘻を造設した雑種成犬6頭を用いた。いずれのイヌも手術を行ってから数ヵ月以上経過している。時に軽い散歩を行わせる以外は身体トレーニングは行わなかった。

運動負荷はトレッドミルを用い、2 km/h, 4 km/h, 6 km/hの速度でおのおの2時間歩行させた。イヌは1~2回の練習でトレッドミルになれ、自主的に歩くようになった。なお、イヌは2 km/hではブラブラ歩く程度、4 km/hでは速歩、6 km/hでは走るようになる。30分ごとに心拍数を測定した。

1) 胃酸分泌

18時間以上絶食の後に実験を行った。実験時には胃瘻を開放し、胃内に食物のないことを確認した後、胃瘻を閉じた。コントロールでは運動を行わず、肉の缶詰(Kalkan Beef Dinner, カルカンフーズ社, アメリカ, 粗蛋白質12%以上, 脂肪6%以上, 繊維15%以下, 灰分3%以下, 400 g)を食べさせた。

実験群では缶詰を食べさせた後ただちにトレッドミル上を2, 4, または6 km/hで歩行させた。いずれの場合にもイヌは缶詰を2分以内に食べ終わった。おのおの1日に1実験とし、1週間に3回以上は実験を行わなかった。胃液は、Heidenhain pouchのGregory cannulaにおもちゃの風船(膨らませない状態で容量約40 ml)をつけ、20 mlの生理食塩水をいれてwashout法で採取

した。刺激のない基礎分泌の状態、生理食塩水の回収率はほぼ 100% であった。酸は、この回収液 10 ml を、Radiometer 社の自動測定装置を用いて測定した。ペプシンは Anson の変法¹⁾を用いて測定し、Sigma 社の porcine pepsin を標準とした。

食前および食後 15, 30, 60, 90, 120 分に採血を行い、血清ガストリンおよびトリグリセライドを測定した。前者はダイナボット社のガストリンリアキット II を用いる RIA 法にて、後者は酵素法にて測定した。

2) 胃排出

4 頭で胃排出を測定した。この実験では、サスタジェン (ブリストル・マイヤーズ) 100 g (蛋白質 23.5%, 脂肪 3.5%, 炭水化物 66.5%, 総エネルギー 390 cal) と、非吸収性のマーカーであるポリエチレングリコール (PEG 4000) 1.5 g を微温湯 300 ml に溶かして胃瘻より注入した。

注入後 15, 30, 45, 60, 90, 120 分目にそれぞれ胃瘻を再開放し、胃内に残留しているサスタジェンの量を測定、約 2 ml を測定用に採取し、残りを胃内に再注入した。時速 6 km で運動をさせて同様の実験を行い、運動の効果を検討した。PEG の測定は、Malawer 等の方法²⁾によった。

3) 消化管内圧

5 頭で胃、十二指腸、上部空腸の内圧をマイクロチップ圧力トランスデューサ (Millar, USA)

を用いて測定した。すなわち、胃および十二指腸瘻を開放して、トランスデューサを、胃内へは 1~2 cm、十二指腸内へは十二指腸瘻から 5 cm および 30 cm 肛側にカテーテル先端を留置し、コルク栓を用いて、胃、十二指腸瘻を閉じた。安静時の空腹時周期的収縮を観察して 20 分後に運動を開始した。運動終了後も次の空腹時周期的収縮が出現するまで記録を続けた。

結 果

1. 心拍数

2 時間運動後の心拍数は、2 km/h で平均 120 拍/分、4 km/h で 162 拍/分、6 km/h で 197 拍/分と増加した。

2. 胃酸分泌

10 分ごとの酸排出量を表 1 に示した。運動開始後 60 分まではいずれの群もコントロールと差がなかった。4 km/h の群の酸排出量は 60 分から 120 分まで、6 km/h の群では 70 分から 120 分までコントロールに比し有意に低値であった。酸分泌を 1 時間の排出量として、初めの 1 時間と次の 1 時間に分けて検討した (表 2)。初めの 1 時間の酸排出量はいずれの運動でもコントロールと差がなかった。しかし、次の 1 時間では 4 km/h と 6 km/h で有意に低値であった。

3. ペプシン分泌

Heidenhain pouch では食事によりペプシン

表 1 10 分ごとの胃酸排出量 (M±SE, μmol/10 min)

	前	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 (min)
Control	6	18	24	20	15	14	19	25	29	36	41	43	51
±SE	3	9	7	8	4	3	6	6	8	7	8	7	10
2 km/h	26	21	20	17	15	17	11	21	31	38	57	56	53
±SE	13	9	7	5	3	5	2	7	9	8	17	14	12
4 km/h	32	16	16	16	12	12	6*	9*	10*	14*	18*	20**	21*
±SE	21	8	9	7	5	4	2	3	3	4	5	4	5
6 km/h	17	27	17	17	10	8	7	9*	8*	13*	12*	11**	15**
±SE	8	12	6	7	3	2	2	3	3	4	4	3	7

* < 0.05, ** P < 0.01 compared to control

表2 1時間ごとの胃酸排出量
(M±SE, μmol/h)

	1時間	2時間
Control	108 ± 31	225 ± 43
2 km/h	101 ± 31	256 ± 64
4 km/h	77 ± 32	91 ± 21*
6 km/h	85 ± 31	67 ± 24*

*P < 0.05, compared to control

分泌は増加せず、時間とともに漸減する事が知られている³⁾。今回のコントロールでも同様の傾向があった(表3)。運動を負荷しても漸減の傾向は

変わらなかったが、4 km/hの運動時の90分目のペプシン分泌はコントロールに比し有意に高値であった。しかし、1時間の排出量では有意な差はなかった。

4. 血清ガストリンおよびトリグリセライド

食事による血清ガストリン反応は運動の有無によって差がなかった(表4)。また、運動時の血清トリグリセライドは食後60分目で安静時に比し有意に低値であった(表5)。

5. 胃排出

PEGの胃内残留量を求め、投与量に対する率

表3 10分ごとのペプシン排出量
(M±SE, mg/10 min)

	前	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120 (min)
Control	0.2	0.49	0.45	0.23	0.11	0.12	0.08	0.1	0.1	0.12	0.09	0.12	0.11
±SE	0.04	0.16	0.17	0.08	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.06	0.03	0.04	0.05
2 km/h	0.09	0.09	0.08	0.08	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
±SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4 km/h	0.15	0.15	0.21	0.27	0.25	0.19	0.1	0.09	0.08	0.14*	0.13	0.08	0.07
±SE	0.03	0.06	0.09	0.07	0.07	0.07	0.01	0.02	0.02	0.06	0.03	0.01	0.02
6 km/h	0.12	0.24	0.11	0.1	0.06	0.13	0.09	0.09	0.07	0.07	0.11	0.06	0.06
±SE	0.05	0.16	0.04	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02

*P < 0.01, compared to control

表4 血清ガストリン (M±SE, pg/ml)

	前	15	30	60	90	120 (min)
Control	70 ± 12	147 ± 9	131 ± 12	115 ± 11	108 ± 15	97 ± 9
6 km/h	67 ± 18	144 ± 5	121 ± 8	114 ± 4	91 ± 9	92 ± 12

表5 血清トリグリセライド (M±SE, mg/dl)

	前	15	30	60	90	120 (min)
Control	38 ± 8	38 ± 7	39 ± 7	56 ± 6	72 ± 11	74 ± 8
6 km/h	37 ± 5	37 ± 6	35 ± 5	49 ± 7*	64 ± 15	60 ± 14

*P < 0.05, compared to control

表6 胃排出率 (M±SE, %)

	前	15	30	45	60	90	120 (min)
Control	100	114 ± 18	90 ± 15	68 ± 8	44 ± 6	28 ± 2	16 ± 3
6 km/h	100	106 ± 5	90 ± 11	70 ± 11	53 ± 9	31 ± 5	22 ± 6

で現した (表 6). 運動時の PEG 残留量はコントロールに比し多い傾向があったが, 有意な差はなかった.

5. 胃, 十二指腸および空腸運動

胃, 十二指腸, および空腸の内圧の変化 (収縮運動) の代表例を図 1 および図 2 に示した. 図 1

では, 運動開始とともに不規則な収縮運動が現れた. そのため, 安静時には 100 分ごとに出現する空腹時の周期的収縮は運動中は明かではなかった. 運動を中止して 50 分目, 運動前に観察した空腹時周期的収縮から 200 分目に強い収縮が出現した. このような例は 3 頭でみられた.

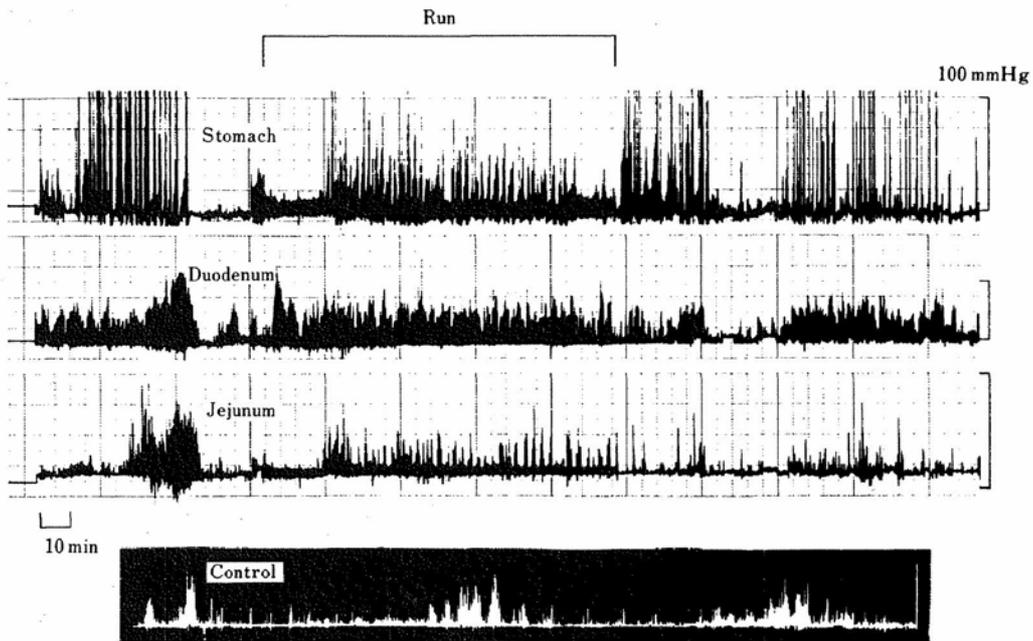


図 1 運動時の胃, 十二指腸, 空腸の収縮運動 (1)

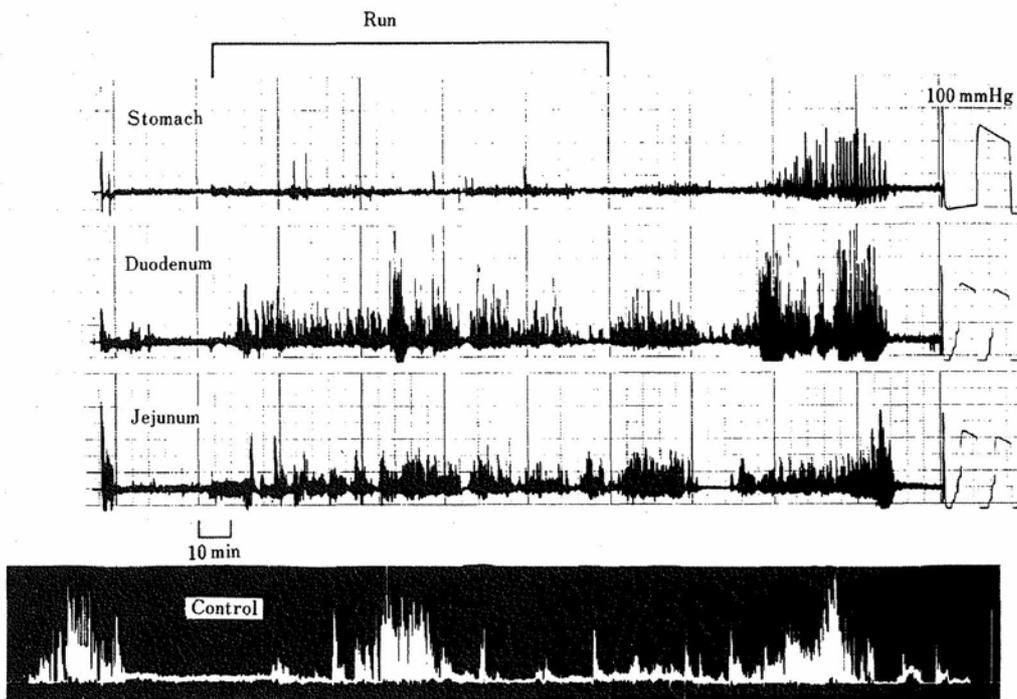


図 2 運動時の胃, 十二指腸, 空腸の収縮運動 (2)

図2では、運動中胃の収縮運動が消失した。十二指腸および空腸は不規則な収縮運動が出現した。しかし、100分目の周期的収縮は明かではなかった。運動を中止して50分目、運動前に観察した空復時周期的収縮から200分目に強い収縮が出現した。

考 察

食事刺激による Heidenhain pouch からの胃酸分泌は運動を開始しても1時間の間は安静コントロールと差がなかった。1時間を越えると、4 km/h および 6 km/h でトレッドミル運動を行った場合、コントロールに比し有意に低値となった。

1920年から1950年代の実験では今回のわれわれの実験と同じく、運動は胃酸分泌を減少させるとの報告が多い⁴⁻⁷⁾。一方、最近の論文を検討したところ、運動は胃酸分泌に影響を与えないとの報告が多かった⁸⁻¹³⁾。1950年代までの実験では酸の測定も不正確で、胃酸分泌も酸の濃度のみを検討し、排出量の検討がなされていないことから、方法に問題もあったであろう。しかし、1920～1930年代の報告を詳細に検討すると、例えば、Crandall⁵⁾はイヌを使用し、運動を30分から3時間の間行わせ、胃液を8～10時間にわたり採取観察している。Hellebrandt⁶⁾はヒトを対象として運動を1時間半まで胃分泌を観察した。また、Campbell⁷⁾は2時間半胃液を採取しているなど、実験時間が2時間を越えることが多い。一方、最近の実験では、運動も胃液採取も1時間以内という報告が多い。われわれの今回の実験結果から、1950年以前の報告と最近の報告との差異には、運動や胃液採取の時間も無視できない要因であると考えられた。

Markiewicz 等¹²⁾は、自転車エルゴメータによる1時間の運動後に pentagastrin を投与して胃酸分泌を刺激し、安静時に pentagastrin を投与した場合と比較したところ、運動後の胃酸分泌

は有意に低値であったという。一方、pentagastrin 投与と同時に運動負荷を行った場合には、胃酸分泌は安静コントロールと差がなかったと報告している。対象、胃酸分泌刺激の方法、運動の方法などに差はあるが、今回のわれわれの結果を支持する報告であろう。運動による胃酸分泌の減少には、胃酸分泌刺激ホルモンであるガストリンとは関連がなく、また、食物の胃内停滞時間とも関連が少なかったことから、その原因については胃血流なども含め今後さらに検討が必要であろう。

Heidenhain pouch からのペプシン分泌は食後に低下することが知られている³⁾。今回の実験でも、食事負荷後ペプシン分泌は低下した。運動負荷を行っても食事負荷後のペプシン分泌低下のパターンは変わらなかった。しかし、4 km/h の運動時には、ペプシン分泌のパターンは変わらなかったものの、コントロールに比し高値であった。食後に Heidenhain pouch からのペプシン分泌が減少する機序は解明されていないが、食後の十二指腸内 pH の変化により、消化管ホルモンの動態が変化することも一因と考えられる。たとえば、十二指腸内 pH が 3～5 では secretin が分泌され、ペプシン分泌は増加する。一方、十二指腸内 pH が 1 以下になると、cholecystokinin (CCK) が放出され、ペプシン分泌は低下する¹⁴⁾。運動後にペプシン分泌がコントロールに比し高値となる機序は、運動により胃酸分泌が低下し、十二指腸内 pH が上昇して、CCK 分泌の低下、secretin 分泌の増加などが生ずることも一因と推定される。特に、運動開始1時間以後に有意差が生ずることは、この時期に胃酸分泌も有意に低値となり、この説を支持する。一方、4 km/h の運動時にのみこの現象がみられ、6 km/h ではコントロールと差がないことは十二指腸内 pH の変化のみでは説明ができず、今後の検討が必要と考えられる。

胃排出は運動により遅延するとも変化がないとも言われている。試験食が水 750 ml⁸⁾, 5% ブドウ糖 750 ml⁹⁾, 222 mmol (約 10%) ブドウ糖 + 13.6 mEqNaC 1400 ml¹⁵⁾ の場合はいずれも運動は胃排出を遅延させた。一方, 13.3% ブドウ糖 + 0.3% NaC 1750 ml⁸⁾ の場合や, 普通の食事を試験食とした場合¹³⁾ は, 運動は胃排出に影響しなかったという。今回のわれわれの検討でも運動負荷時の胃排出は安静時と差がなかった。試験食が蛋白, 脂質, 炭水化物を多く含んでいるため, 普通の食事と同様の結果になったと考えられる。

一方, 脂質の吸収を示す血清トリグリセライドは運動後 1 時間目にコントロールに比し低値を示した。運動時には脂質の吸収が低下するとも考えられるが, 固形食では胃排出が遅延するので吸収が遅れるとも考えられ, さらに今後の検討が必要である。

全身運動と消化管運動との関連に関する研究は少ない。Van Liere ら¹⁶⁾ はラットに 10% チョコレートと 10% アラビアゴム 2 ml の試験食を投与し, トレーニングをしたラットでは早く腸管を下降すると報告した。しかし, その差は 40 分後に 5% と小さかった。また, DeYoung ら¹⁷⁾ は, 大腸運動はトレッドミル運動開始直後, 短時間増強し, 排便をとまなうことを報告した。しかし, 胃, 小腸運動を直接観察した報告はない。今回の観察では, 2 時間のトレッドミル運動中, 空腸に不規則な収縮波が出現した。このような運動中の不規則な収縮波は運動による腹痛や排便などとの関連が推測され, その意義づけにはさらに今後の検討が必要であろう。

ま と め

1) 1 時間以内でかつ時速 4 km 以上の運動は, 胃酸分泌を抑制した。ペプシン分泌は時速 4 km のみ軽度に増加した。これらには血清ガストリンの関与は少ないと推定された。

2) 液体食の胃排出は運動により影響を受けなかった。

3) 全身運動により消化管には不規則な収縮が出現したが, 周期的収縮はその間明かではなかった。しかし, 運動終了後周期的収縮は非運動時と同一の時刻に出現した。

以上, 全身運動は上部消化管諸機能に種々の影響を与えることが明かとなった。

文 献

- 1) Anson, M. L.; The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with haemoglobin, *J. Gen. Physiol.*, **22**, 79-89 (1938)
- 2) Malawer, S. J., D. W. Powell; An improved turbidimetric analysis of polyethylene glycol utilizing an emulsifier, *Gastroenterology*, **53**, 250-256 (1967)
- 3) Schofield, B.; The inhibition of pepsin output in separated gastric pouches in dogs following feeding and its correlation with motility changes, *Gastroenterology*, **37**, 169-180 (1959)
- 4) Hellebrandt, F. A., M. M. Miles; The effect of muscular work and competition on gastric acidity, *Am. J. Physiol.*, **102**, 258-266 (1932)
- 5) Crandall, L. A.; The effect of physical exercise on the gastric secretion, *Am. J. Physiol.*, **84**, 48-55 (1928)
- 6) Hellebrandt, F. A., S. L. Hoopes; Studies in the influence of exercise on the digestive work of the stomach, *Am. J. Physiol.*, **107**, 348-354 (1934)
- 7) Campbell, J. M. H., G. O. Mitchell, Powell, A. T. W.; The influence of exercise on digestion, *Guy's Hos. Res.*, **78**, 279-293 (1928)
- 8) Fordtran, J. S., B. Saltin; Gastric emptying and intestinal absorption during prolonged severe exercise, *J. Appl. Physiol.*, **23**, 331-335 (1967)
- 9) Ramsbottom, N., N. Hunt; Effect of exercise on gastric emptying and gastric secretion, *Digestion*, **10**, 1-8 (1974)
- 10) Tasler, J., W. Obtulowicz, M. Cieszkowski, S. J. Konturek; Gastrointestinal secretory function during physical exercise, *Acta Physiol. Pol.*, **25**, 215-226 (1974)

- 11) Markiewicz, K., M. Cholewa, L. Gorski, J. Chmura ; Effect of physical exercise on gastric basal secretion in healthy men, *Acta Hepato-Gastroenterol.*, **24**, 377-380 (1977)
- 12) Markiewicz, K., M. Cholewa, L. Gorski ; Maximal gastric secretion during exertion and restitution, *Acta Med. Pol.*, **19**, 479-484 (1978)
- 13) Feldman, M. , J. V. Nixon ; Effect of exercise on postprandial gastric secretion and emptying in humans, *J. Appl. Physiol.*, **53**, 851-854 (1982)
- 14) Nakajima, S. , D. F. Magee ; Influences of duodenal acidification on acid and pepsin secretion of the stomach in dogs, *Am. J. Physiol.*, **218**, 545-549 (1970)
- 15) Costill, D. L. , B. Saltin ; Factors limiting gastric emptying during rest and exercise, *J. Appl. Physiol.*, **37**, 679-683 (1974)
- 16) Van Liere, E. J. , H. H. Hess, J. E. Edwards ; Effect of physical training on the propulsive motility of the small intestine, *J. Appl. Physiol.*, **7**, 186-187 (1954)
- 17) DeYoung, U. R. , H. A. Rice, A. H. Steinhaus ; Studies in the physiology of exercise VII, The modification of colonic motility induced by exercise and some indications for a nervous mechanism, *Am. J. Physiol.*, **99**, 52-62 (1931)