犬結腸運動の日内変動

—— strain gauge force transducer 法による長期観察 ——

兵庫医科大学 第一外科学教室

松島 康博, 岡本 英三, 豊坂 昭弘
鈴木 栄太郎, 能勢 勝義, 中村 章彦

DIURNAL CHANGES IN COLONIC MOTILITY IN CONSCIOUS DOGS

Yasuhiro MATSUSHIMA, Eizo OKAMOTO, Akihiro TOYOSAKA, Eitaro SUZUKI
Katsuyoshi NOSE and Akihiko NAKAMURA

1st Department of Surgery, Hyogo College of Medicine

Daily profile of colonic motor activity was observed in 10 conscious dogs by means of extraluminal force transducers. Each dog was implanted with a set of seven strain gauges, one on the terminal ileum and the remaining six on the colon equidistantly.

The colonic motor activity was basically composed of migrating and non-migrating motor complexes at all six recording sites. Each motor complex was characterized by a tonic contraction superimposed by rhythmic bursts of phasic contractions. During fasted period these motor complexes recurred at a mean interval of 36 min, and a mean duration was 7 to 12 min. Those motor complexes which migrated over at least three recording sites were defined as "migrating", 72% of those observed at the most proximal sites ($n=2680$) were migrating, and the remaining 28% were non-migrating. Of those migrating motor complexes 90.4% migrated caudad (iso-peristalsis), while only 9.4% migrated orad (antiperistalsis).

During postprandial period the colonic motor complexes at all recording sites uniformly increased their frequency with shorter intervals. Different from the small intestine, the contractile patterns were essentially the same as those of fasted period. The postprandial acceleration of the colonic motor complexes seems to be compatible with gastrocolic response.

緒

Cannon (1902) が X 線法によってネコ結腸の逆蠕動波を観察して以来, 犬, ウサギ, モルモット, ラットの結腸にも逆蠕動波の常在することが報告されて来た(相羽, 1933; 榊田, 1937; 福原ら, 1968). 相羽 (1933) や榊田 (1937) は腹窓法によってこれら動物の逆蠕動波の初発部位を観察し, この部位を「結腸括約部」とよんだ. この結腸括約部は犬やネコの場合では結腸のはぼ中央部に局在するとしている. つまり, 榊田 (1937) は, 大腸の形態は動物の種によって

言

著しく異なるものの, いずれの大腸も盲腸と結腸に分けられ, さらに結腸は結腸括約部を境界に近側結腸と遠側結腸とに区分されるとし, 大腸運動は原則的に結腸括約部から発する周期的な収縮波であって, 盲腸側へは逆蠕動波として, また肛門側へは順蠕動波として伝播するものであるとした. このように動物の結腸では近側結腸に常在する逆蠕動波が結腸内容の貯留に重要な役割を果たしているものと理解されて来た(福原, 1976; 中山, 1979; 中山, 1986).

今回我々は意識下成犬の結腸運動を strain gauge force transducer 法によって長期間連続記録し、空腹期及び食後期の結腸収縮運動の運動様式とその伝播方向性について検討した。その結果、結腸の基本的収縮運動様式は空腹期と食後期のいずれにおいても 7~12 分間続く、tonic contraction に phasic contraction に superimpose した収縮波群として観察された。

実験材料及び方法

実験には雑種成犬 10 頭（体重 11~15 kg）を用い、硫酸アトロピン (0.5 mg) 及びケタラル（250 mg）皮下注後、ネブタール（25 mg/kg 静注）麻酔下に正中開腹した。strain gauge は KFE-2-C1（共和電業）を用い、伊藤（1976）の方法に従って本学共同研究室が製作した strain gauge force transducer (SG1~SG7) を回腸末端部、結腸起始部及び結腸を 5 等分する部位と腹膜翻転部直上の結腸漿膜面にそれぞれ輪状筋収縮の記録できる方向に縫着した（図 1）。transducer からの導線は二分して左右側腹部より皮下を通し左右の肩甲骨間から体外に引き出した。また体外に引き出した導線は小型コネクター（日本航空電子工業）に接続し特製ジャケットによって保護した。術後各々の犬は 90 cm×90 cm×90 cm の特製ケージ内で飼育管理し、食餌は固形飼料（オリエンタル酵母工業 DS、味の素 Gaines Meal の 1:1 混合食）30 g/kg を 1 日 1 回、一定時刻に与えた。transducer からの信号は増幅器（本学共同研究室製）を介して 1 mm/分の速さに改造した脳波計（日本光電）及

空腹期では前述の収縮波群が 5~70 分（平均 36 分）の interval をもって記録され、食後期ではその収縮波群が interval 短く群発するのが特徴であった。しかし結腸収縮波群の伝播様式は空腹期、食後期のいずれにおいても結腸上部から下部へ向かう順蠕動波が主体をなし、逆蠕動波の出現頻度は極めて低く、従来の実験結果と著しく異なる成績が得られたので報告する。

図1. strain gauge force transducer (SG1~SG7) の縫着部位。SG1は回腸末端部、SG2~SG7は結腸に等間隔で縫着。（SG7は腹膜翻転部）。

成

1) 空腹期の結腸運動

空腹期の結腸各記録部では 5~70 分、平均で 36.6 ± 12.94 (SD) 分の interval をもって、tonic contraction に superimpose した phasic contraction から成る結腸収縮波群が記録された（図 2）。この結腸収縮波群の持続時間は上部結腸で 7.11 ± 2.24 分 (Mean $\pm$ SD, $n=377$)、中部結腸では 9.72 ± 3.14 分 (Mean $\pm$ SD, $n=315$)、さらに下部結腸では 12.68 ± 3.73 分 (Mean $\pm$

績

SD, $n=301$) と下部結腸ほど持続時間は長い（表 1）。次にこの収縮波群の伝播性について検討すると、連続した三つ以上の記録部にわたって記録可能なものを「伝播性収縮波群」、二つの記録部位を越えては伝播しないものを「非伝播性収縮波群」と規定すると、結腸起始部 (SG2) で記録された収縮波群 ($n=2680$, 順蠕動波・逆蠕動波を共に含む) の 72% は伝播性、28% は非伝播性収縮波群であった。さらに結腸全体での伝播

表 1. 結腸収縮波群の持続時間(分). 上部結腸 (SG2, SG3), 中部結腸 (SG4, SG5), 下部結腸 (SG6, SG7) 別に各記録部で記録された収縮波群の持続時間を示す. Mean $\pm$ SD, (n).

	上 部 結 腸	中 部 結 腸	下 部 結 腸
空腹期	7.11 $\pm$ 2.24 (377)	9.72 $\pm$ 3.14 (315)	12.68 $\pm$ 3.73 (301)
食後期	7.24 $\pm$ 2.28 (398)	9.92 $\pm$ 3.35 (326)	12.71 $\pm$ 4.28 (336)

図 2. 空腹期の結腸運動. 平均 36 分の間隔で収縮波群が記録され, その大部分が上部結腸から肛門側に向かう伝播性収縮波群である.

図 3. 空腹期における結腸順蠕動波. 結腸起始部初発の順蠕動波 (左) と中部結腸初発の順蠕動波 (右).

性収縮波群の伝播方向について検討すると、伝播件数 2129 の内、90.4% が口側から肛門側に伝播する順蠕動波(図 3)で、肛門側から口側へ伝播する逆蠕動波(図 4)は 9.6% に過ぎなかった。言い換えると逆蠕動波は 1 頭につき 1 日に 1~2 回しか発生しないこととなる。またこれら伝播性収縮波群の伝播速度は、順蠕動波では

3.4 ± 1.5 cm/分 (Mean $\pm$ SD, $n=1925$) で、逆蠕動波では 4.0 ± 1.6 cm/分 (Mean $\pm$ SD, $n=204$) であり、両者の間に統計学的有意差が認められた ($p < 0.01$)。次にこれら伝播性収縮波群の初発部位について見ると、順蠕動波の場合その 78.6% が結腸起始部 (SG2) に初発しており(図 3・左), 21.4% はそれより下部に初発していた

図 4. 空腹期における結腸逆蠕動波。下部結腸初発の逆蠕動波(左)と中部結腸初発の逆蠕動波(右)

図 5. 結腸運動に及ぼす食餌摂取の影響。食後、結腸全記録部で空腹期と同様の収縮波群が interval 短く群発した。

図6. 結腸収縮運動時間の、空腹期と食後期の比較。
食前2時間から食後8時間までの経過を2時間毎に分け、それぞれの2時間において記録された収縮波群の持続時間の和(分)を部位別に比較した。(Mean±SD, ★空腹期に対し有意差を示す $p<0.01$).

図7. 食後期の結腸伝播性収縮波群(食後2~3時間). 空腹期と同様に上部結腸から肛門側に向かう順蠕動波が主体である.

(図3・右). 一方, 逆蠕動波の場合では中部結腸に初発するもの(図4・右)と下部結腸に初発するもの(図4・左)とがほぼ同率で見られ, 同一犬においても一定していなかった. また結腸起始部に初発した順蠕動波の72%は結腸最下部まで伝播していたが, 残り28%の順蠕動波では伝播の途絶が見られ, 途絶部位も一定でなかった. つまり, 空腹期における結腸収縮運動は結腸起始部に始まり肛門側に伝播する順蠕動波が主で, かつその大部分が全結腸にわたって伝播した.

2) 食後期の結腸運動

食餌摂取後では結腸全記録部において収縮波群の発生 interval は短縮し, 収縮波群の群発が観察された(図5). 食餌摂取から結腸運動亢進が起こるまでの時間は犬によってまた摂取量によって差はあるが, 食後30分~60分であった. しかし食後期に記録された結腸収縮波群の収縮様式は基本的に空腹期の場合と同一であり, 収縮波群の持続時間についても空腹期の場合と統計学的に有意差は見られなかった(表1). 次に, 結腸を上部, 中部及び下部結腸別に食前2時間の空腹期と, 食後8時間までを2時間毎に分け

てそれぞれの2時間における結腸収縮運動時間(収縮波群の持続時間の和)を比較検討した(図6). その結果, 食前2時間での結腸収縮運動時間は上部, 中部, 及び下部結腸のそれぞれで 26.1 ± 6.7 分, 30.0 ± 9.0 分, 57.1 ± 16.7 分(Mean $\pm$ SD)であったが, 食後最初の2時間では 41.7 ± 13.5 分, 46.7 ± 12.3 分, 74.2 ± 14.3 分と, いずれの部位においても食前に比し有意に増加していた. さらに次の2時間では 62.6 ± 13.6 分, 63.3 ± 21.3 分, 86.9 ± 17.8 分とピークに達し, その後は漸減した. この結腸運動の亢進は食後8~10時間持続した.

一方, 食後期における結腸収縮波群の伝播方向性について見ると, 空腹期の場合と同様に結腸起始部に始まる順蠕動波が主体をなし(図7), その伝播速度は 3.3 ± 1.6 cm/分(Mean $\pm$ SD, $n=600$)で, 空腹期の場合と統計学的有意差は見られなかった. すなわち食餌摂取によって結腸運動は亢進するが, 食後期の結腸収縮運動様式及び伝播方向性は空腹期の場合と基本的に同一である.

考

大腸の運動様式については実験動物の場合, 逆蠕動波(上行波)の常在が小腸運動と非常に異なる点として論じられて来た. すなわちこの逆蠕動波は結腸括約部に始まり近側結腸を口側に向かって進行する収縮波(相羽, 1933; 榊田, 1937)であるが, 中山(1979)はこの波がほとんど腸内容物の口側への移動を起こさないごく浅い波であるとし, 逆蠕動波というより上行波とよぶのが適当と述べている. 一方, 福原ら(1961)は犬の摘出結腸を用いた実験で, 結腸内圧がある程度上昇するまでは前述の上行波が強化されるだけであるが, 一定圧以上になると口側から肛門側に向かう順蠕動波が発現し, 腸内の液は肛門側へ周期的に流れると報告している. 近年の strain gauge force transducer 法による研究ではすでに Schuurkes ら(1980)が, 結腸の収縮運動様式が tonic contraction に

察

superimpose した phasic contraction から成る収縮波群であることを報告している. また Sarna ら(1984)は結腸収縮波群を伝播性と非伝播性収縮波群に分け, 観察した160の伝播性収縮波群の内, 151が口側から肛門側に伝播するものであったと報告している. すなわち Sarna らの観察では肛門側から口側に伝播する収縮波群は伝播性収縮波群のわずか5.6%に過ぎないことになる. 我々の実験においても, 特に結腸収縮運動の伝播方向性について興味深い結果が得られた. すなわち空腹期, 食後期のいずれにおいても逆蠕動波(上行波)は極めて稀に観察されたに過ぎず, しかも伝播性収縮波群の主をなす順蠕動波(下行波)の多くが結腸起始部から始まっていたことから, 我々には少なくとも「結腸括約部」という限局した機能的部位を客観的に特定することは不可能であり, 結

腸においても小腸と同様、口側から肛門側に向かう順蠕動波が通常の結腸運動様式であると考ええるに至った。

摂食による結腸運動の亢進については主にヒトの場合で「gastrocolic response」として報告されて来た(Snape ら, 1979; Wright ら, 1983; Sun ら, 1982; Renny ら, 1983; Wiley ら, 1988). 今回の実験においても食餌摂取後の結腸運動の亢進が観察されたが、胃小腸の食後期運動(伊藤ら, 1977)と根本的に異なる点は、胃小腸では空腹期と全く異なり phasic contraction が静止期なく連続して群発するのに比し、結腸では摂取後においても空腹期と基本的に同様の収縮波群が interval 短く頻発すること

ある。つまり意識下成犬の結腸運動の日内変化は、運動様式や伝播の方向性の相異としてではなく、収縮波群の発生頻度の変化としてのみ観察された。この食後期結腸運動亢進のメカニズムについては、神経性因子や消化管ホルモン、さらには mechanoreceptor や chemoreceptor (Wiley ら, 1988) など多彩な要因が考えられ、現在なお解明されるに至っておらず、今後の課題と考えられる。なお、結腸運動の日内変動を論ずる場合、今一つ興味ある変化として排便時結腸運動が挙げられるが、これについては別稿にて詳述したい。

結

意識下成犬 10 頭の、結腸運動の日内変動を strain gauge force transducer 法によって観察した。force transducer は各々の犬の回腸末端部に 1 個、結腸では起始部から順に等間隔で全結腸にわたり 6 個を慢性縫着した。その結果、以下の知見を得た。

1. 結腸運動は基本的に tonic contraction に複数の phasic contraction が superimpose した伝播性及び非伝播性収縮波群として観察された。
2. 空腹期の結腸ではこれら収縮波群が平均 36 分の interval で繰り返し観察され、各記録部で記録された結腸収縮波群の持続時間の平均は 7~12 分であった。
3. 結腸の連続する三つ以上の記録部にわたり記録可能な収縮波群を「伝播性」と定義すると、空腹期の結腸起始部で観察された収縮波群(n=2680)の 72% が伝播性収縮波群で、残り 28% は非伝播性であった。

語

4. 空腹期における伝播性収縮波群の 90.4% は肛門側に向かういわゆる順蠕動波で、その伝播速度は平均 3.4 ± 1.5 cm/分 (n=1925) であった。一方、口側に伝播する逆蠕動波はわずか 9.4% に過ぎず、その伝播速度は平均 4.0 ± 1.6 cm/分 (n=204) で、その初発部位は一定でなかった。

5. 食後期では、食後 30~60 分から食後 8~10 時間にわたり結腸全記録部で収縮波群の interval 短い群発が観察され、小腸の食後期運動と異なり結腸収縮波群の基本的収縮運動様式は空腹期の場合と同一であった。この食後期における結腸収縮波群の群発は gastrocolic response とよばれる結腸運動の亢進に一致するものと考えられる。

稿を終えるにあたり終始御協力を戴いた本学共同研究室大滝 武氏、植田延生氏、佐藤浩治氏に深く感謝致します。

文

献

- 相羽 昭 (1933). 大腸の運動. 日新医学, 22: 1684-1703.
- Cannon W.B. (1902). The movements of the intestines studied by means of the Roentgen rays. Am. J. Physiol. 6: 251-277.
- 福原 武 (1976). 脊椎動物の消化管運動, 特に大腸運動の壁内神経細胞による調節. 日本平滑筋誌, 12: 97-110.

- Hukuhara T. and T. Neya (1968). The movements of the colon of rats and guinea pigs. *Jpn. J. Physiol.* **18**: 551-562.
- Hukuhara T., S. Nakayama, and R. Nanba (1961). The role of the intrinsic mucosal reflex in the fluid transport through the denervated colonic loop. *Jpn. J. Physiol.* **11**: 71-79.
- 伊藤 漸 (1976). Extraluminal strain gage force transducer の作製と慢性植え込み. *日本平滑筋誌*, **39**: 799-805.
- Itoh Z., I. Aizawa, S. Takeuchi, and R. Takayanagi (1977). Diurnal changes in gastric motor activity in conscious dogs. *Digestive Diseases*, **22**: 117-124.
- 梶田亀次郎 (1937). 大腸の運動. *日本生理誌*, **2**: 196-212.
- 中山 沃 (1979). 消化管の運動, pp.77-108, 中外医学社, 東京.
- 中山 沃 (1986). 大腸運動の生理. *大腸肛門誌*, **39**: 799-805.
- Renny A., W.J. Snape Jr., E.A. Sun, R. London, and S. Cohen (1983). Role of cholecystikinin in the gastrocolonic response to a fat meal. *Gastroenterology*, **85**: 17-21.
- Sun E.A., W.J. Snape, Jr., S. Cohen, and A. Renny (1982). The role of opiate receptors and cholinergic neurons in the gastrocolonic response. *Gastroenterology*, **82**: 689-693.
- Sarna S.K., R. Codon, and V. Cowles (1984). Colonic migrating and nonmigrating motor complexes in dogs. *Am. J. Physiol.* **246**: G355-G360.
- Schuurkes J.A.J., and J.J. Tukker (1980). The interdigestive colonic motor complex of the dog. *Arch. int. Pharmacodyn.* **247**: 329-334.
- Snape W.J. Jr., S.H. Wright, W.M. Battle, and S. Cohen (1979). The gastrocolic response: evidence for a neural mechanism. *Gastroenterology*, **77**: 1235-1240.
- Wright S.H., W.J. Snape, Jr., W. Battle, S. Cohen, and R.L. London (1980). Effect of dietary components on gastrocolonic response. *Am. J. Physiol.* **238**: G228-G232.
- Wiley J., D. Tatum, R. Keinath, and C. Owyang (1988). Participation of gastric mechanoreceptors and intestinal chemoreceptors in the gastrocolonic response. *Gastroenterology*, **94**: 1144-1149.

(平成元年 2 月 28 日 受付)