

大腸運動に関する研究

V. 結腸膨起の生理的意義に対する一考察

安川正敏・長野慶一郎

I. 緒言

家畜の大腸の形態は、動物の種類によつて著しく相違している。この相互に異なる構造の上に営まれる機能を、比較生理学的に解明することを意図したわれわれは、まず山羊結腸迷路の運動について、前報⁽¹⁾で報告した。同一系列の次の問題として、とりあげたのは、縦帯と結腸膨起の生理的意味づけである。よく知られているように、馬の盲腸と結腸の一部、兎の近側結腸には、縦帯と結腸膨起がよく発達している。兎の近側結腸の基本運動型は相羽⁽²⁾、梶田⁽³⁾らによつて確かめられており、(1) 遠側結腸との境界、即ち結腸括約部から伝播する逆蠕動(膨起流)、(2) 膨起流が伝播する途中で、局所的に強収縮をなして起る緊張性収縮輪(この収縮輪は肛門側に緩慢に伝播する)、(3) 盲腸尖に生起し、盲腸、近側結腸を伝わり、結腸括約部を越えて遠側結腸に波及する総蠕動が挙げられる。膨起流の伝播速度は極めて緩慢で、梶田によれば 0.15 cm/sec であるが、盲腸の逆蠕動に移行すると 2 cm/sec に増速するという。

このように、近側結腸の運動は現象的には明らかにされているが、この部位の運動型、特に膨起流の発生機構については知られていないし、この部位にのみ存在する縦帯と結腸膨起の生理的意義についても同様である。そこで我々は家兎の空腸を使用し、人工的に形成した膨起部の運動を観察した結果から、これらの構造と機能の関連性の、すくなくとも一部を説明し得たので報告する。

II. 実験方法

剔出した家兎空腸の一侧に膨起を形成し、この運動を大久保、田中、柳谷⁽⁴⁾の環状循環法によつて観察した。この装置及び実験法は大久保らの原著に譲り、ここでは大要を記載するに止める。

恒温槽中に収めたバットに加温タイロッド液を満たし、このなかにビュレットと連結したT字型カニューレを固定し、この両端に腸管を環状に装着する。ビュレットから加温タイロッド液を 30 cm の流入圧で 1 cc 宛流入せしめると、流入毎に口側端から蠕動が生起し、尾側端に到達、更にカニューレを介して再び口側端に現われ、蠕動が循環的に伝播する。膨起形成の方法は、剔出腸管の口側または尾側の、一半の腸間膜を縫合糸で縫い、この糸をもつて 20 cm の腸管を 7 cm に牽引、短縮せしめるのである。この方法で、腸管を損傷することなく、自然の結腸膨起に類似する形態が得られた。膨起数は 19~26 個とした。他側を対照として、この人工膨起部の運動を観察したのである。剔出空腸は毎回一定の部位(回盲口から 32 cm を尾側端とした)を用い、また装着腸管の内部には細い硝子棒をそう入し、腸管内液量の増加による、環状型の変形と浮上を防止した。空

気は2個の2連球で送入した。この装置で、特に腸管運動に影響する条件は、腸管内容の残存、装着までの時間、膨起の形状、タイロッド液温度及び注入量、送気量等であつたので、これらはできるだけ同一ならしめた。

III. 実験成績

1. 縦帯と膨起の関係

縦帯と結腸膨起の相互の解剖的關係を知るために、家兎について調べた結果を次に述べる。近側結腸には3列の縦帯があり、この間に挟まれて、3層の結腸膨起が並んでいる。このうち2層の縦帯は、起始部から12~14 cmで消失するが、1層のみは近側結腸の全長にわたつており、末端にいくに従つて幅を縮小、その位置もづれて、腸間膜の直下を走るようになる。この最長の膨起の両側の縦帯を注意深く切除すると、腸管壁は延伸するのである。Table 1 に示したように、近側結腸の自然の長さは 36.1 ± 3.7 cm であるが、縦帯を除くと 102.6 ± 17.2 cm となり、前者の284%に伸長する。

Table I. Anatomical Relation between *Taenia coli* and *Haustra coli*.

Length of proximal colon			Length of each part provided with Haustra			Nos. of Haustra			
Normal (A)	After re-moving Taenia (B)	$\frac{B}{A} \times 100$	1	2	3	1	2	3	Total
36.1 ± 3.7 cm	102.6 ± 17.2 cm	284%	36.1 cm	14.5 cm	12.4 cm	90	46	39	175

Notice : This table indicates the average of 10 head of rabbit.

このように近側結腸は、それよりも短い縦帯によつて、約1/3に短縮され、平均175に及ぶ多数の皺襞、即ち結腸膨起が形成されるのである。縦帯のない部位には膨起が存在しないし、膨起があれば必ず縦帯を伴っている事実も、結腸膨起形成の要因が縦帯にあることを裏書きしている。

2. 口側、尾側の蠕動伝播速度

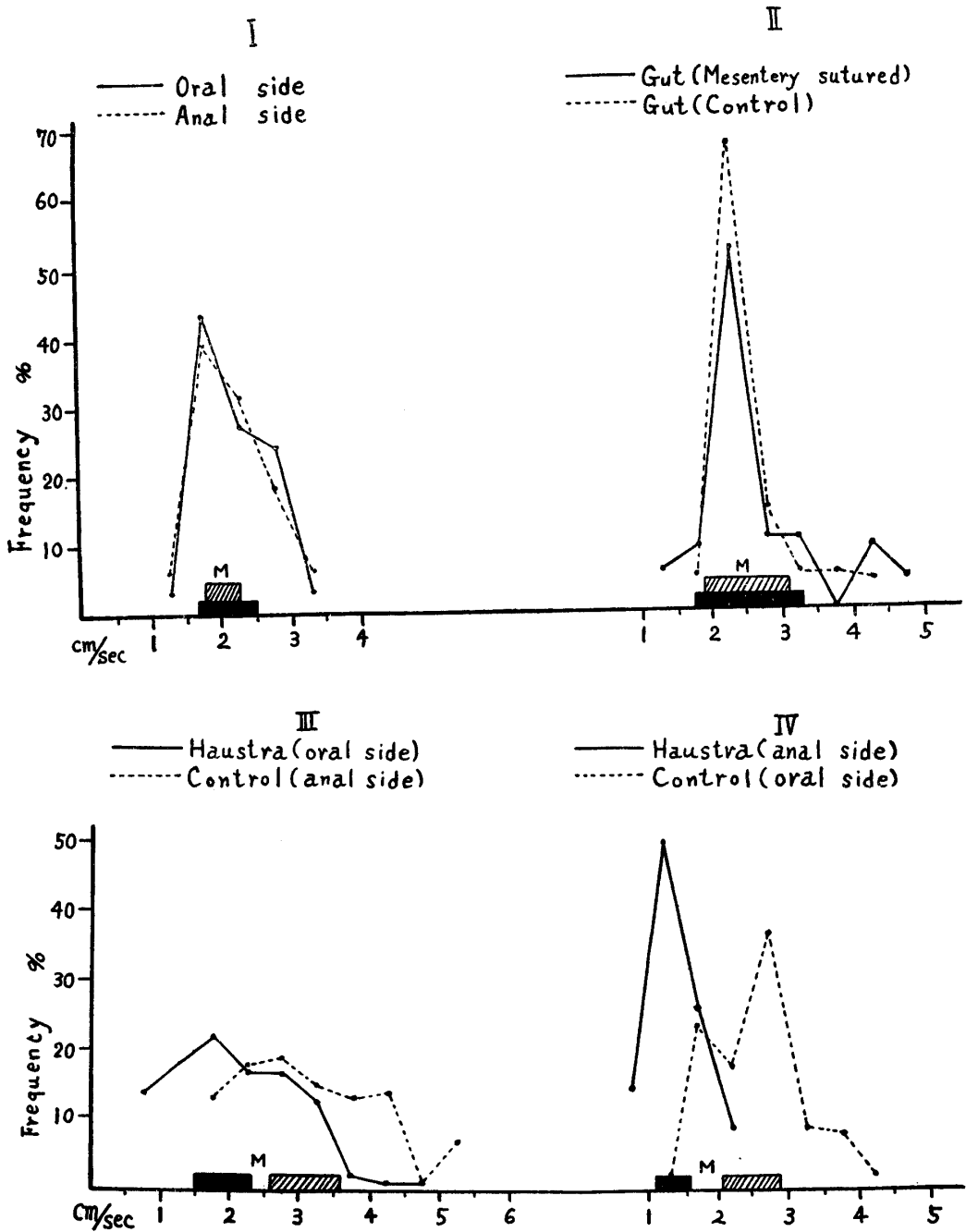
人工膨起部の運動、特に蠕動伝播速度の変化を知るために、剔出腸管の口側と尾側とで速度が相違するかどうか、また腸間膜を単に縫合しただけで影響があるかどうかを予め確かめた。測定値については、5%の危険率で棄却限界及び平均値の信頼限界を求めた。結果はChart 1のI及びIIの通りで、口側前半部と尾側後半部の伝播速度は、1.7~2.5 cm/sec 及び1.8~2.3 cm/sec で殆んど一致し、有意の差がない。口側または尾側の、一半の腸間膜に糸を通し(短縮はしない)、他の半側はそのままとして比較した場合も、それぞれ1.8~3.3 cm/sec, 1.9~3.6 cm/sec で差が認められない。

3. 人工膨起部の運動型と蠕動伝播速度

家兎生体内の、近側結腸を伝播する逆蠕動は盲腸に移行する。それで口側に膨起を形成した場合

は、膨起部と非膨起部の間における興奮波の伝播方向は、生体内の逆蠕動に一致する。これに反して、尾側膨起の場合は生体内の蠕動に一致している。さて口側膨起部の蠕動速度を、尾側対照部のそれと比較すると、Chart 1 の III に示したように、平均値は 1.5 ~ 2.3 cm/sec, 及び 2.6 ~ 3.6 cm/sec であつて、前者の速度は、後者の 57 ~ 66 % に当り、1 % の危険率で有意差がみられる。

Chart I. Rate of Conduction of the Peristalsis.



Notice: M.....Confidence limit of mean.

このように膨起部の口側端から発した蠕動は緩徐に進行し、対照部に移行すると、直ちに速度が増加する。棄却限界は膨起部で -1.7 ~ 5.6 cm/sec, 対照部で -2.2 ~ 6.4 cm/sec と計算された。

次に尾側膨起の場合も、同様の結果が得られ、平均値は膨起部が 1.1~1.6 cm/sec、対照部が 2.1~2.9 cm/sec で、対照部を通過した蠕動は膨起部に移ると、52~55% に速度を低下する。棄却限界は -0.5~3.1 cm/sec 及び -0.4~5.4 cm/sec であつた（伝播速度は膨起、対照両部位ともに蠕動伝播時間を腸管の長さ、20 cm で除して求めた）。

以上のように口側、尾側をとわず、腸管に膨起を形成すると蠕動は緩慢に伝播するようになる。また膨起部の速度分布域は、対照部のそれよりも広いが、これは後で考察にも述べるように、膨起の数と形状が毎回同一にはなし得なかつた点に主因があろう。口側膨起と尾側膨起の間には、特別な差はみられないが、尾側膨起の方が対照部に対する速度低下率がやや大きい。なを別出腸管の蠕動速度（対照部）は前述の通りであるから、家兎生体内小腸の 3~5 cm/sec に比べると、かなり低くなつている。

さらに、人工膨起部における蠕動の特徴として、伝播速度が局所的に変異する点が指摘される。対照部でも、決して同一とはいえないが、膨起部では一層顕著である。目撃観察によつても明らかなのは、膨起の大小及び山と谷による相違である。小さな膨起の、それも谷の部を下降するときに著しく速度が遅れ、あたかも停止したようにみえる。しかし停止するのではない。この緩慢な伝播のために、蠕動は外見上、生体内の膨起流に類似している。また腸管内のタイロイド液量が増加して、膨起の谷が浅くなると速度が促進される。口側端からの蠕動は、膨起対照両部の移行点附近で、しばしば消失する。

蠕動以外の運動型としては、振子運動及び分節運動が現われるが、皺襞のため、運動型態は対照部のように明確ではない。分節運動、特に振子運動の出現頻度が、運動性を低減せしめるような諸条件によつて増大することは、既に大久保らによつて報告されているが、このことは人工膨起部においても同様に認められた。

4. 膨起除去後の蠕動伝播速度

膨起部の伝播速度が遅くなるのは、膨起形成の操作のため、腸管が損傷し、興奮性が低下したためではないか、という疑問が起る。この点を確認めるために、膨起部の伝播速度を測定した後に、縫合糸を切除し、膨起を消失させて観察した。

この結果によると、膨起部の伝播速度が 1.1~1.6 cm/sec で、対照部の 2.1~3.1 cm/sec に比して、明らかに遅いのに、膨起を切除すると、膨起を形成していた部位が 1.3~3.5 cm/sec となつて、対照部の 1.3~2.3 cm/sec よりも逆に速くなつた。このように、膨起除去の前後で、両部位の速度の逆転がみられた。

5. 送気の影響

別出腸管の運動性が、送気量によつて支配されることはいうまでもない。それで、膨起部の蠕動伝播速度が低下するのは、皺襞構造によつて酸素の腸壁内拡散が妨げられること、いいかえると、膨起部は対照部に比べて、酸素吸収量が少いためではないか、ということが考えられる。この懷疑に対し、次の実験を行つた。

空気を1分間送入した後、送気を10分間中止し、この間に発現する蠕動の速度を、測定したのである。

Table 2. Rate of Conduction of the Peristalsis after Stopping the Air Infusion.

Time after stopping	within 1m	// 2m	// 3m	// 4m	// 5m	// 6m
Rate of conduction cm/sec.	2.8	2.9	3.0	3.7	2.2	2.4
Frequency of peristalsis	19	21	11	4	1	2

口側端で生起し、尾側端まで波及する蠕動の発現頻度は、送気中止後2分以内までが高く、2～3分で約半減し、その後は急に減少する。6分以後の発現は認められなかつた。この際、時間経過と蠕動速度の間には、特定の傾向が認められなかつた。送気中止後の変化としては、蠕動の頻度が漸減するとともに、そのくびれが浅くなつて、浅蠕動波に移行し、伝播距離が短縮して局所的な蠕動となり、ついでこれも消失し分節運動、振子運動のみが現われてくる。最後にはこの運動も全く消失する（この全過程は10分以内に終了するとは限らない）。この結果から、後で考察に論ずるよ

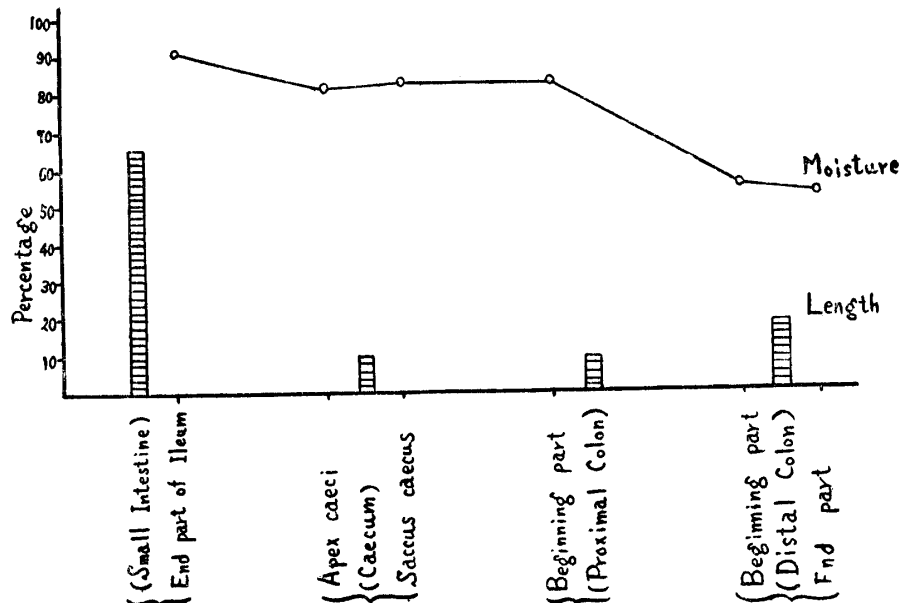
うに、膨起部の速度減少が、単に酸素量のみを基因して起るのではない、ということができる。

6. 腸管内容の水分量

膨起形成によつて、蠕動の伝播速度が低下するのは、どのような生理的意義をもつのであるか。大腸の一般的な生理機能は、主として水分の吸収にある、とされている。また、内容が近側結腸を出るときには、既に糞塊 (Scybala) の形状をなしていることを家兎について梶田が認めている。

そこで、膨起形成による運動変化が、水分の吸収と何らかの関連性をもつことが考えられる。この意味で、家兎6例について、腸管各部位の内容の水分量を調べた。

Chart 2. Moisture of the Contents of the Rabbit's Intestine.



Notice: The length indicates the percentage of each portion in the whole length of the intestine.

Charte 2 に示したように、近側結腸を通過する間に、最高の水分減量がみられた。即ち近側結腸起始部では 81.8% であるのに、遠側結腸起始部では 53.5% と低下し、その差は 28.3% に達する。遠側結腸は、近側結腸（膨起附著のまま）の約 2 倍の長さをもつにもかかわらず、この部位では僅かに 1% の減少しかみられなかつた。従つて、大腸の 3 区分のうち、近側結腸における水分吸収が、最大であるといつてよい。

IV. 考 察

1. 別出腸管に人工的に膨起を附与すると、この部の蠕動伝播速度が低下する。この所見は、家兔生体内の逆蠕動（膨起流）が極めて緩徐に進行する事実と一致する。この一致は現象的な偶然と解すべきではなく、膨起流の低速度が膨起構造に直接起因して起る、とみるべきである。この見解を裏づける実験的事実と考察を次に述べる。

まず、人工膨起部における速度遅延が、主として膨起自体に基因すると考えるべき根拠は、(1) 縫合糸を切除し、膨起を消失させると増速する。(2) 膨起の谷で遅く、山の頂きでは速い。(3) 腸管内のタイロド液量が増して、膨起が浅くなると速くなる、等の諸事実である。膨起部組織内への酸素の拡散が皺襞のために妨げられ、これが速度を低下させるのではないか、という点については、酸素量の如何は蠕動の伝播距離と形態及び 3 種運動型の発現頻度に変化を与えても、伝播速度との間には相関が認められなかつたことから、影響があるとしても、少なくとも速度低下の原因を、これのみに帰することはできない。

では、膨起形成による、速度変化の機構は、どのように説明されるか。蠕動の成因については、Baylis, Starling⁽⁵⁾ は、Auerbach 神経叢を介して起る反射であるとし、Trendelenburg は、この反射は内圧の限界値以上で起るといい、Hukuhara⁽⁶⁾ は内圧刺戟を認めても、限界圧は否定している。大久保、田中、柳谷⁽⁷⁾ は、3 種の基本運動型の発現は内圧によつて支配され、このうち蠕動が最大の内圧負荷を要することを確かめており、大久保、柳谷^(8,9) は内圧刺戟の意義は、腸壁の延展にあつて、蠕動伝達のためには、前駆拡張が必要であろうと述べている。蠕動の成因として、内圧がこのような意義をもつことから、屈曲の多い膨起部では、内圧に局所の変動があり、特に谷の部位における加圧と延展が弱められ、全体としても直線的な腸管（対照部）に比べて内圧刺戟が低下し、このことが人工膨起部の運動、さらに膨起流の発生要因をなすものではなからうか。

ところで、梶田⁽³⁾ によると、膨起流の伝播速度は 0.15 cm/sec で、これが盲腸に移行すると、2 cm/sec と著しく増速する。これに対し、人工膨起、対照両部位の速度差は遙に小さい。この原因としては、生体内と別出の差は勿論であるが、生体内の結腸膨起が、幅広い 3 層の縦帯から構成されている事実が、想起されねばなるまい。

2. 家兔の盲腸、近側結腸、遠側結腸（直腸を含む）の大腸 3 区分のうち、最も短い近側結腸において、最高の内容水分減量が認められた。大坪・土黒⁽¹¹⁾ も同様の成績を得ている。決して大腸を通過するに従つて、水分が吸収されるのではなく、水分吸収と糞塊(Scybala) 形成は、近側結腸

でほぼ完了するのである。ところが家兎の縦帯と結腸膨起は、この部位のみに存在している。このようにみると、縦帯、結腸膨起という構造と、腸管運動及び吸収という機能の間には、当然のことながら、密接な関連が考えられる。さきに述べた実験的事実にもとづいて、我々はこの関連の内容を次のように考察する。即ち近側結腸は、縦帯によつて牽引、短縮され、そのために結腸膨起が形成される。そして、この膨起が直接的な主因となつて、蠕動伝播速度は緩徐になり、くびれも浅く（くびれの浅いのは、主として縦帯の存在によるのであろう）、従つて内容通過の時間が延長し、このことが水分吸収と糞塊形成を促進するのである。

3. 縦帯と結腸膨起が、最もよく発達している家畜は兎と馬である。ところが、この両者の盲腸が、相対的に巨大である点も、また共通している。これは単なる偶然であろうか。いいかえると、巨大な盲腸の存在が、結腸膨起を必要とするのではないか。この解明は困難であるが、恐らく、(1) 巨大な盲腸の存在が、結腸膨起を必要とするのではないか。この解明は困難であるが、恐らく、(1) 大腸運動の Pace maker が結腸括約部に存在する。(2) 結腸括約部で生じた逆蠕動が、近側結腸をへて盲腸に移行し、盲腸尖まで進行する。(3) 盲腸は巨大でも盲嚢である、等の諸事実が重要な鍵をなすであろう。なを、膨起流、即ち逆蠕動の速度低下は、縦帯による浅い輪走性収縮と相まつて盲腸内への内容逆送を阻止することに、意義が存するといえよう。

V. 結 論

大腸に存在する縦帯と結腸膨起の生理的意義を追求して、次の成績をえた。

1. 家兎近側結腸の縦帯を切除すると、腸管の長さは、平均 2.8 倍に伸長する。
2. 人工膨起を附与した別出家兎空腸の運動を観察したところ、
 - a. 膨起形成部の蠕動伝播速度は低下するが、膨起を除去すると対照部より却つて速くなる。
 - b. 膨起部を伝播する蠕動の速度は膨起の大小と部位（山と谷）によつて局所的に変異する。
 - c. 膨起部の伝播速度の低下は、膨起構造自体に基因する。
3. 家兎大腸の 3 区分のうち、水分の吸収は近側結腸が最大である。
4. 以上から、縦帯及び結腸膨起の生理的意義は、次のように理解される。

即ち、近側結腸は縦帯によつて短縮され、その結果結腸膨起が形成される。この膨起によつて、この部の蠕動伝播速度の低下と内容停滞時間の延長が起り、このことが近側結腸における水分の吸収と糞塊の形成を促進するのである。

本報告の要旨は第 37 回日本獣医学会において報告した。

稿を終るに臨み、恩師東京農工大学田中丑雄学長に敬意を表し、種々御指導を賜つた東京大学大久保義夫教授に謹謝いたします。

文 献

- (1) 安川, 長野: 第37回日本獣医学会口演 (1954)
- (2) 相羽: 日新医学, **22**, 1684 (1933)
- (3) 榊田: 日本生理学雑誌, **2**, 196 (1937)
- (4) 大久保, 田中, 柳谷: 日本薬理学雑誌, **47**, 15 (1950)
- (5) Evans, C. L.: *Starling's Principles of Human Physiology* (1936)
- (6) Hukuhara, T., Masuda, K., und Kinose, S.: *Pflügers Arch.*, **237**, 619 (1936)
- (7) 福原, 横山: 日本生理学雑誌, **6**, 203 (1941)
- (8) 柳谷: 日本薬理学雑誌, **47**, 2, 65 (1951)
- (9) 大久保, 柳谷: 日本薬理学雑誌, **48**, 3, 189 (1952)
- (10) 柳谷: 日本薬理学雑誌, **48**, 2, 131 (1952)
- (11) 大坪, 土黒: 鹿児島大学農学部学術報告, **2**, 155 (1953)
- (12) Blickenstoff, D. D., Bachman, D. M., and Youmans, W. B.: *Amer. J. Physiol.*, **168**, 303 (1952)
- (13) Adolph, E. F., and Northrop, J. P.: *Amer. J. Physiol.*, **168**, 311 (1952)

R É S U M É

Studies on the Movements of the Large Intestine

V. A Discussion on the Physiological Meanings of *Haustra coli*

Masatoshi YASUKAWA and Keiichiro NAGANO

The present investigations were initiated to discuss on the physiological meanings of *Haustra coli* as well as *Taenia coli*, which are well developed in horses and rabbits.

The results obtained are summarized as follows.

(1) The length of the proximal colon in rabbit is 36.1 ± 3.7 cm., while it extends to 102.6 ± 17.2 cm. after removing the bands.

(2) By suturing the mesentery of rabbit's isolated jejunum and shortening the gut to one-third of its length, the artificial haustra can be made. Then the movements of the gut were observed after Ohkubo's circulatory method.

a. In the part provided with the haustra (oral side) the rate of conduction of the peristalsis were 1.5~2.3 cm/sec in confidence limit of mean at the level of 5%, while those in the control part (anal side) were 2.6~3.6 cm/sec. Also in case of making haustra on the oral side similar results were obtained.

b. The peristaltic waves are propagated slowly at the bottom of the artificial haustra, quickly at the swelling to the contrary.

(3) In rabbit, the chief absorption of water occurs in the proximal colon.

(4) From the above described facts, the physiological meanings of *Haustra coli* as well as *Taenia coli* can be assumed as follows.

By the presence of the *Haustra coli*, the slow conduction of the peristalsis and the prolongation of the food passage may occur, and thus the water absorption and scybala formation may take place.