単純性イレウスにおける腸管運動機能に 関する実験的研究

東邦大学医学部 第二外科教室

(指導: 継 行男教授)

川 村 邦 昭

ELECTROMYOGRAPHICAL STUDY OF THE INTESTINAL MOVEMENT IN SIMPLE OBSTRUCTION

Kuniaki KAWAMURA

The 2nd Department of Surgery, Toho University School
of Medicine, Tokyo

(Director: Prof. Y. Tsugu)

An electromyographical study of the intestinal movement in simple obstruction was performed in dogs and the conclusions are as follows.

1. When the intestinal tract was obstructed by a ligation apparatus, electromyographically spike waves disappeared reflectively in both upper and lower intestinal tracts in the ligation site, and the resting pattern showing only BER was maintained for 20 to 80 minutes.

2. The spike waves which reappeared were blocked at the ligation site without conduction from upper part to lower part.

3. A comparison of electric activities after obstruction shows that at the upper part activities started to increase earlier and then gradually decreased 5 hours after obstruction. Activities at the lower part, on the contrary, started to decline immediately and this declining tendency continued for long time.

4. Abnormal propagation patterns appeared about 3 hours after obstruction and were observed at both the upper and lower parts of the ligation site.

5. The propagation-velocity increased linearly for 7 hours after obstruction in the upper part and finally reach a plateau. At the lower part the velocity was nearly fixed at the control level.

6. A comparison of BER frequency after obstruction shows that at the lower part of the ligation site the frequency decreased remarkably in an earlier period, while in the upper part it became prominent for 24 to 30 hours.

I. は じ め に

イレウスは日常臨床に際して急性腹症としてしばしば経験するが、その病態の鑑別は必らず

しも容易ではなく、とくにその原因あるいは局所の状態を把握することは困難な場合が多い。

そのために手術適応となるものではその判断の遅速が予後を左右する因子となる場合も考えられる。従ってイレウス状態の進展の様相を知ることが病態生理の究明と同時に治療面においても重要である。

そこで著者は犬を用いて小腸の急性単純性機

械的イレウスを実験的に作成し、消化管筋電図法によってイレウスの際の腸管運動機能について主として部位的差異あるいはその時間的変動などイレウスの進展経過を連続的に観察検討し、2, 3の知見をえたので報告する。

II. 実験方法

実験材料として体重8~15 kgの雑種成犬15頭を用いて慢性犬を作成した。すなわち外科的操作として thiopental sodium 静脈麻酔下で、無菌的に腹部正中切開で開腹し、Treitz 靱帯より肛門側約1 mの部位の小腸に図1に示すように腸間膜血行を障害することなく腸管を閉塞し得るような装置をセットした。腸管閉塞用の

E₁~E₄: 電極 S: 閉塞装置
図1. 電極の部位および閉塞方法

図2. 電極および閉塞装置

この装置は手術侵襲離脱後できるだけ正常に近い状態で急性閉塞ができるようにするために考案され、内径2 mm, 長さ約10 cmのポリエチレンチューブを外筒とし、この一端に同質の外径0.8 mmのチューブでループを作り、開腹せずに体外操作により腸管が簡単に閉塞されるように作成された(図2の上)。実験時には前述のポリエチレン紐を牽引し腸管を狭圧して閉塞をおこすようにした。同時にその部位より5 cmはなれた上下腸管に5 cm間隔で活動電位を導出するためにそれぞれ2個合計4個の銀針双極電極E₁~E₄を筋層内へ刺入し、4-0血管縫合糸を用いて腸壁に固定した。活動電位導出用のリード線および腸管閉塞用の紐線は一括して右腰背部皮下に導いて埋没し、随時閉塞ができるようにした。

双極電極の作成は市販の鍼用銀針にイヤホンコードをハンダ付固定したうえで、電極の極間距離が1.5 mmとなるようにし速硬化型エポキシ系接着剤で固定した。さらに銀針の先端を1.5 mm残して manicure coating を施し極間抵抗が50 k Ω 以下になるようにした。またリード線の長さは約40 cmのものを使用した(図2の下)。増幅器は日本光電製RM-5型(4チャンネル)を使用し、時定数は0.03秒とした。筋電図の記録はRecticoder RJG 3004型のペンライターを用い、記録紙の速度は5 mm/secとした。

実験の条件として活動電位の導出は術後1週より約1ヶ月の間に行ない、また腸管の閉塞は疼痛などの影響をできるだけ除外して artifact の少ない安定した筋電図が長時間記録できるようにするために塩酸ケタミン10~15 mg/kgを随時筋注して麻酔した。しかし麻酔の影響を考慮し麻酔深度は比較的浅く維持するようにし

た。空腹時に急性の腸管閉塞を行なう前に前記4点 ($E_1 \sim E_4$) より同時記録して得られた筋電図を対照として閉塞後は32時間まで連続的に活動電位を導出して、そのパターンを比較検討した。

記録された筋電図の中ではおもに spike 放電の様相について、その bursting activity として spike 数、振幅、放電の持続時間をとりあげ、また active phase と resting phase の持続時間についての比較を行ない、同時に電氣的興奮の伝播速度や伝播様式の変化についても検討した。伝播速度は active phase で明らかに下行性のいわゆる順蠕動性伝播を示している部位において、それぞれの active phase を形成する spike 放電の始まりより E_1, E_2 間および E_3, E_4 間の伝

播時間を測定し、ふたつの電極間距離をその伝播時間で除する方法で求めた。また伝播様式の検討に当っては順蠕動性(下行性)、逆蠕動性(上行性)、反復性の伝播、伝播が途絶するものおよび同時性の伝播などをその他として分類して検討した。一方 basic electric rhythm (以下 BER と略す) の変化についてはおもにその frequency (分時放電数) の変動について観察した。

また部位的には前述の閉塞部上下の各2点 $E_1 \sim E_2, E_3 \sim E_4$ で比較し、経時の変化としては閉塞後30分および1, 3, 5, 7, 12, 24, 30, 32時間後の筋電図パターンをとりあげて検討した。閉塞部の腸壁組織像については HE 染色により光顕的に観察した。

III. 実 験 成 績

A. 無操作時の筋電図 (対照群)

犬8頭において小腸閉塞前の無操作空腹時に小腸活動電位を54分から5時間16分(平均約2時間30分間)導出して対照とした。

空腹時の小腸の放電様式としては BER のみが持続的に出現する resting phase と BER に spike 放電を伴う active phase に大別されるが、後者ではさらに spike 放電が散発的且つ不規則に出現する場合と規則的に出現する場合があり、基本的にはこの3つの phase が交互に発現して空腹時のいわゆる interdigestive myoelectric complex がみられる(図3)。この場合の spike 放電における spike 数は E_1, E_2 では5~9 (平均7.25)、 E_3, E_4 では6~7 (平均6.45)であり、spike 振幅は E_1, E_2 では73~413

μV (平均225.0 μV)、 E_3, E_4 では100~352 μV (平均207.1 μV)であり、spike 数および spike 振幅は口側よりも肛門側の方がやや低値を示す傾向がみられた。これらの spike 放電は E_1, E_2 では平均3分24秒、 E_3, E_4 では平均4分48秒持続する spike 群、すなわち active phase を形成して $E_1 \sim E_2, E_3 \sim E_4$ ではそれぞれ平均0.12, 0.13 cm/sec の伝播速度をもって下行性に伝播した。一方 BER のみで spike 放電を認めない resting phase は E_1, E_2 では平均1分9秒、 E_3, E_4 では平均1分20秒の持続時間で両者の間に有意差はなかった。すなわち持続時間からみた active phase と resting phase の比率はほぼ3対1であった。また resting phase における BER の頻度は E_1, E_2 では16~17/min (平均

図3. 無操作時の筋電図 (対照群)

16.6/min), E_3 , E_4 では15~17/min(平均16.0/min)でほぼ同様に規則的な発現を示したが, 全体的にみると肛門側に移行するに従い減少する傾向がみられた(表1).

B. 小腸閉塞による筋電図の変化

空腹期の spike burst が規則的に出現して active phase のパターンが観察されるときに, E_2 , E_3 の間にセットした閉塞装置で腸管を急激に閉塞すると閉塞部の上下腸管のすべての部位($E_1 \sim E_4$)において spike 放電が同時に消失し, BER のみのパターンを示した(図4). この時の BER 頻度の変化をみると, 閉塞上部腸管 E_1 , E_2 においては平均16.6/minで対照群の平均と同値で変化を示さないが, 閉塞下部腸管 E_3 , E_4 ではその頻度は閉塞1~5分後に対照値の平均16.0/minから平均11.7/minに減少し, その減少率は26.5%であった. 閉塞状態のままで次に spike 放電が発現するまでの時間には長短があり20~80分の変動を示して一定の傾向は認められなかった. また spike 放電発現までの時間を閉塞部の上下で比較すると上部腸管にやや早く発現する傾向がみられた. spike 放電が再び発現したのちの放電様式をみると, 上部腸管で

は図5のように放電持続時間の長い spike burst が散発的に発現するようになり, 続いて active phase に移行したが, 経時的には3時間以後より resting phase と active phase の交代現象が明瞭となり, 対照にみられるような interdigestive myoelectric complex のパターンは失われる傾向にあった. spike 放電についてみると, E_1 から E_4 へ規則的に伝播した spike 放電は閉塞部を境に途絶し電気的興奮は閉塞部で conduction block の状態となることが示唆され, 閉塞部の上下ではそれぞれ独自の spike 放電がみられた(図6).

burst を形成する spike 数は閉塞上部小腸では閉塞下部に比較して有意の増加を示した. すなわち閉塞上部では対照の平均7.3に比較し1時間後より spike 数の増加傾向を示し, 4~5時間後に平均10.6でピークを示した. その後は経時的に漸減傾向を示し12時間以後では対照値にほぼ等しいかまたはそれ以下に減少した(図7). また active phase で spike 数がピークを示した時期における spike 放電は重疊化の傾向を示して放電持続時間が延長して各 burst が接近し, この所見は約12時間後まで認められた

表1. 無操作時における放電の様相

様相	部位	$E_1 \sim E_2$	$E_3 \sim E_4$
spike 数		5~9(7.25)	6~7(6.45)
spike 振幅(μV)		73~413(225.0)	100~352(207.1)
Active phase		1'12"~5'53"(3'24")	2'5"~13'38"(4'48")
Resting phase		58"~1'20"(1'9")	54"~1'46"(1'20")
BER(/min)		16~17(16.6)	15~17(16.0)
伝播速度(cm/sec)		0.03~0.21(0.12)	0.05~0.20(0.13)

() : 平均値

図4. 腸管閉塞時の筋電図

図5. 腸管閉塞後の筋電図

図6. 閉塞上部から下部への伝播の途絶

図7. Spike数の変化

(図8). 閉塞下部の spike 数は閉塞前の対照の平均6.5より経時的に漸減傾向を示し、3.0~4.7の範囲内で放電活性の低下傾向を示した。

spike 振幅は閉塞上部では閉塞1時間から3時間後でも対照値の平均225.0 μ V とほぼ同様な値を示し有意変動はないが、5時間後より徐々に減少し12時間後、24時間後、30時間後

図8. Spike burst の重畳化傾向

図9. Spike 振幅の変化 (上限平均値)

ではそれぞれ平均 $143.7, 136.9, 130.0 \mu V$ であった。閉塞下部では対照値の平均 $207.1 \mu V$ まで回復することなく3時間前後より閉塞上部とほぼ同様に徐々に減少し30時間後には平均 $95.0 \mu V$ を示した(図9)。

myoelectric complex のうち spike burst のみられる active phase の持続時間について閉塞上部および閉塞下部に分けて各時期の経時の変化を変動率でみると、閉塞上部では対照値の平均3分24秒に対し閉塞後40~50分までは延長傾向を示したが、1時間後より短縮傾向に移行し経時的にはその持続時間の減少率は増大して12時間以後では64.8%の減少率を示した。これに対して閉塞下部では対照値の平均4分50秒に対する閉塞後の持続時間は殆んど減少

図10. Active phase の Spike 放電持続時間の変動

することなく対照値かやや延長傾向にあり、12時間前後に最大約20%の増加率を示し閉塞上部腸管とは異なる傾向を示した(図10)。

active phase (A) と resting phase (R) との関係はその持続時間の比(A/R)でみると、対照値は上部が2.9で下部が3.6であるが上下ともに閉塞後より resting phase に対して active phase が有意の延長を示し、閉塞1時間後にその比は閉塞上部が6.1、閉塞下部が6.2と各々ピークを示した。その後7時間以後より上下腸管ともに対照値以下となり、active phase が短縮してその比率は小さくなり、経時的には resting phase の延長傾向を示した(図11)。

図11. Active phase (A) と Resting phase (R) の持続時間の比 (A/R)

電氣的興奮の伝播様式についてみると、閉塞上部では閉塞後早期では電極 E_1 から E_2 への下行性の伝播を示したが3時間前後より伝播様式の変化と考えられる所見が観察された。すなわち正常状態でみられた下行性の伝播 ($E_1 \rightarrow E_2$) を示すものは減少し45.9%で、 E_2 から E_1 への逆蠕動性のパターン ($E_1 \leftarrow E_2$) を示したものが12.2%で(図12)、また $E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$ のような反復性のパターンが6.4%に観察され(図13)、その他 E_1, E_2 同時性の興奮、 E_1 から E_2 へ

図 12. 逆蠕動性伝播 ($E_2 \rightarrow E_1$) 図 13. 反復性伝播 ($E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$)

表 2. 電氣的亢奮の伝播様式

様式 \ 部位	上 部 腸 管	下 部 腸 管
下行性 ($E_1 \rightarrow E_2$)	36~54(45.9%)	29~33(30.3%)
逆蠕動性 ($E_1 \leftarrow E_2$)	8~21(12.2%)	13~30(22.1%)
反復性 ($E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_1$)	3~10(6.4%)	3~6(4.3%)
その他	29~46(35.5%)	39~47(43.3%)

() : 平均値

の興奮が伝播しないで途絶するものおよび不明が 35.5% であった。下部腸管では下行性の伝播を示すものは 30.3% でさらに減少し、逆蠕動性および反復性のパターンがそれぞれ 22.1%, 4.3% でその他同時性、伝播の途絶するものおよび不明が 43.3% であり、上下腸管ともに伝播機構の異常が示唆され、とくに下部腸管における異常の頻度がやや多い傾向がみられた (表 2)。

電氣的興奮の伝播速度は閉塞上部の $E_1 \sim E_2$

では閉塞後 30 分に対照値と同じ 0.12 cm/sec を示したが、1 時間前後では 0.27 cm/sec と伝播速度を増し 7 時間後では 0.35 cm/sec となり最高値を示した。その後 24 時間後では 0.30 cm/sec でピーク時に比較するとやや減少し 30 時間後でも 0.33 cm/sec でほぼ同様の数値を示した。すなわち経時的にみると、閉塞後早期より伝播速度の著明な増加がありその様相は直線的な傾向を示すが、7 時間以後では伝播速度の

増加傾向はなく plateau を示した。閉塞下部の E_3 から E_4 では伝播速度の有意変動を認めず、 $0.08 \sim 0.13$ cm/sec ではほぼ一定し対照値に近い値を示し、その状態が閉塞後 30 時間まで持続した (図 14)。

図 14. $E_1 \rightarrow E_2$, $E_3 \rightarrow E_4$ における伝播速度の変化

resting phase における BER の頻度についてみると、閉塞上部では閉塞後わずかな減少傾向を示すのみであるが、12 時間後より徐々に減少傾向が明らかとなり、30 時間後では対照値に比較して平均 15.8% の減少率を示した。閉塞下部では閉塞後早期に減少した BER は 30 分には 13.0/min, 18.8% の減少率を示し、以後経時的にも漸減する傾向があり、24~30 時間では 10.0/min, 37.5% の減少率で閉塞上部に比べ約 2 倍の減少率を示した (図 15)。

以上を総括すると、閉塞上部腸管では閉塞後早期より spike 数, spike 振幅の増加に伴ない

図 15. BER の頻度の変化

active phase の持続時間は延長し、また電氣的興奮の伝播速度も増加して電氣的活性の増強傾向を示したが、閉塞後 3 時間前後にまず active phase の持続時間が短縮し始め、次いで 5 時間後より spike 数, spike 振幅が漸減して徐々に電氣的活性が减弱し以後 30 時間まで低下傾向を示した。しかしながら電氣的興奮の伝播速度は 7 時間後より 30 時間まで減少することなく plateau を保ち長時間維持された。また興奮伝播様式の異常は閉塞後 3 時間前後より出現しその後も継続して観察された。

他方閉塞下部腸管では伝播速度が対照と近似した以外は spike 数, spike 振幅, BER 頻度は閉塞後早期より減少し全般的に電氣的活性は閉塞上部腸管とは逆に低下傾向を示した。また興奮伝播様式の異常は閉塞上部と同様に認められた。

IV. 考

単純性イレウス時の際の腸管運動については Nothnagel (1882), Hotz (1909) らにより始めてその運動機能の異常が指摘されて以来数多くの報告がみられる。これら腸管運動機能の観察には種々の方法が用いられているが腸管平滑筋の電気生理学的研究による方法が用いられるようになったのは Alvarez & Mahoney (1922), Bozler (1938, 1939, 1946) らの系統的研究以降である。一方単純性イレウスについては Alvarez (1922, 1924), 及川 (1949), 田北 (1953, 1954), Toyama (1953), 西島 (1955), 伊東 (1958), 亀井 (1960), 白鳥 (1964), 寺岡 (1967) らの実験的報告がありイレウスにおける腸管運

察

動機能の病態生理もかなり明らかにされた。しかしながら腸管の平滑筋組織は複雑な構造と機能を有しているために平滑筋運動の基礎的な諸問題と同時に臨床病態生理についてもいまだ十分に解明されていない。

腸管の異常運動を示す代表的な疾患のひとつであるイレウスの際の腸管運動機能を電気生理学的に研究した報告は比較的少なく、さらに閉腹下に筋電図を記録したものは伊東, 寺岡らの報告を見るにすぎない。また従来の研究は急性実験であるために開腹操作あるいは電極固定操作などの影響を受け易く腸管の活動電位を安定した状態で長時間測定し記録するには少なから

ず不利な点があった。そこで著者は教室で考案された方法（粟津ら，1963）によって，より正常に近い状態で活動電位を導出できるようにしてイレウス腸管の運動機能を観察するように努めた。すなわち銀針双極電極を小腸筋層内に埋没して慢性犬を作成し，手術侵襲より離脱して安定した状態で筋電図が得られる術後1週間後より1ヶ月以内に実験を行ない種々の観察を行なった。また慢性犬で無麻酔下における小腸活動電位の導出ができれば理想的であるが，意識下では実験犬の条件が生理的に不安定で長時間の連続記録は困難であるために随時塩酸ケタミンによる麻酔を行なった。30時間を越す長時間の実験では麻酔剤の投与やイレウスの進展に伴なう実験犬の全身状態の悪化により図16のように spike 放電が殆んどみられなくなり極端な腸管の機能減弱を示すために実験の限界と考え筋電図の導出を中止した。

筋電図学的観察で spike burst が規則的に出現して，いわゆる active phase にある時期に急性の閉塞を行なった際の放電様式の変化をみると，閉塞部上下腸管において同時に spike component が消失するが，この変化をもたらす機序としては急激な閉塞という機械的な刺激により反射性の因子が働き，それによって収縮機能が停止するものと考えられ，閉塞が緩やかな場合には spike component が一部消失しないこともあることを考え併せると閉塞操作による刺激の強弱も関与しているものと推察される。この閉塞直後の spike 放電活性の減弱について西島（1955）は細胞外電極法による観察で閉塞の初期には閉塞によりその閉塞上部腸管の運動は軽度抑制されるとともに spike component は一時

やや減退すると述べ，伊東（1958）は空腸上部閉塞による働作流の変化を観察し，閉塞直後より数分間閉塞部口側の電氣的活性は著明に抑制され，他の部位も同じく抑制されたと述べ，ともに同様な結果を報告しているが減弱した電氣的活性の回復の様相に関しては詳かでない。

著者の閉腹下の実験では閉塞直後より閉塞部上下腸管において殆んど同時に spike 放電の抑制を認め，その回復に要する時間は20～80分で一定の傾向をみないが，かなりの時間を要したのち徐々に spike burst が散発的に出現してることが観察された。またこの復帰現象は閉塞上部管の方にやや早く出現する傾向のあることを考えると，電氣的活動の回復の遅速は上部腸管内容の貯留状態による腸管内圧の変化や腸管の拡張に関係するものと思われる。著者は spike component をおもな観察対象としたが，spike 放電のみられない場合あるいは spike 放電が散発的な場合には観察が困難なため BER の観察も必要である。すなわち本実験における放電頻度については BER を対象として検討したが，閉塞下部においては閉塞後早期に急激な BER 頻度の減少を示すが以後経時的には漸減して24～30時間では対照に比べて37.5%の減少率を示した。同様な所見はすでに Daniel（1959），Bunker（1967），Mccoy（1968），Nicholas（1969），Code（1970），正務（1971），柴田（1973）らが小腸横切後端々吻合により吻合線下部において放電頻度が減少することを報告しており，それらの所見と同様な結果であった。すなわちこの BER の減少は縦走筋層の連続性の断絶ということで説明されているが，今回の実験的閉塞の場合には閉塞部の組織障害が

図16. 32時間後の筋電図

全層性の変化として観察され、とくに閉塞に伴なう筋層の断裂像を認めることから、前述の報告と同様におもに小腸縦走筋層を介して伝播すると考えられる口側からの刺激がこのレベルで閉塞初期より block されるためと考えられる(図 17)。

一方閉塞上部でも BER 頻度の変動がみられ、その減少率は閉塞後 12 時間までは 6.8% であったが 24 時間以後より徐々に減少傾向を増し 30 時間後ではその減少率は 15.8% を示した。すなわち完全閉塞の場合には閉塞後 24~30 時間に BER 頻度が著明に減少してくるが、この現象は閉塞上部においてはイレウス状態のためにある時間を経過すると平滑筋の興奮性の低下や刺激伝導系における異常がもたらされる結果と考えられ、イレウスにおける腸管の障害程度や手術時期の判断にひとつの示唆を与えるものと思われる。

また Puestow (1932, 1933), Bozler (1946), 田北 (1953, 1954), Toyama (1953), 西島 (1955) らの研究により収縮に一致する機械曲線にやや先行して spike burst が出現し、この burst の振

幅や spike 数などは一般に腸管運動の強さに平行して増減することが報告されているが、イレウス腸管における運動機能の亢進状態をその時期的変動の面から検討したものの中で亀井 (1960) はウサギの回盲部における小腸単純性イレウスを作成した腸管の摘出超生実験で、閉塞後 5 時間のイレウス小腸ではその運動に比較的増強傾向を認めたと述べ、西島 (1955) は同様にウサギの回盲部に近い小腸に単純性イレウスを作成し、生体実験および摘出実験により閉塞後 5 時間の閉塞直上部腸管の活動電流は増強傾向を認めたと述べている。また寺岡 (1967) はウサギを用いた実験で、closed loop 腸管を伴った高位単純性イレウス時における腸管活動電位を観察し、イレウス設置後 5 時間頃まで spike burst の増加が見られたと述べている。

著者の実験では閉塞上部の spike 振幅は閉塞後 3 時間に対照値まで到達したに止どまり増加傾向を示さなかったが、spike 数は閉塞後 1 時間頃より増加傾向を示し、前述の諸家の報告とは時間的に若干異なり閉塞後 3 時間頃より運動亢進が出現する傾向が認められ、さらに 5 時間

図 17. 閉塞部組織所見 (HE 染色×100)

前後では spike burst が重疊化する所見もみられ電氣的活性のピークを示した。この変化の相違については実験動物の個体差や実験方法の違いなどによるものと考えられるが、その他に開腹による影響のない慢性犬を用いることで、より生理的環境に近い状態で観察し得たために腸内容の早期停滞貯留に伴う運動機能の亢進状態をより早く捕捉し得たものと考えている。

イレウスの際の腸管運動の異常については諸種の chemical mediator とは別に通過障害に対抗する上位の蠕動亢進、あるいは腸管内圧の上昇に伴う腸壁の過伸展により二次的に平滑筋の興奮が誘発されるなどの要因が挙げられ、Hodgkin-Huxley (1952) は腸壁の過伸展に基づいて Na-carrier の不活性化が招来され細胞膜イオン非透過性が亢進する結果であろうというイオン説を提唱している。一方、田北 (1953)、西島 (1955) らは腸管の液性内容の増量に伴う機械的伸展刺激による筋緊張の異常化と血行障害に起因する膜電位維持機構の障害をその要因として指摘しているが、腸管運動に影響を及ぼす直接的因子についてはいまだ十分な解明はなされていない。

これに対して閉塞下部腸管における運動の態度についての電気生理学的研究は極めて少なく寺岡 (1967) は閉腹時の実験で、イレウス設置後より漸次電氣的活性の低下を来すと述べている。すなわち閉塞後5時間の平均振幅はイレウス設置前の値に比べ27.7%の減少率を示し、また burst 中の spike 数はイレウス設置後1時間でやや増加傾向を示したがやはり漸減傾向に移行したことを報告している。著者の実験でも振幅はイレウス設置後に漸減し閉塞後5時間に26.8%とほぼ同様な減少率を示した。また spike 数のみならず伝播速度についても同様に漸減傾向の所見を示し電氣的活性の低下が示唆された。この所見は閉塞後早期より認められ下部腸管の運動機能の減弱に関連するものと理解される。事実閉塞12時間後の開腹所見では明らかに閉塞上部の腸管は拡張を示しているが、閉塞下部では腸管は正常時よりもかなり縮小しており、腸内容は固形状で、また容量に乏しいな

どの腸管運動の減弱につながる要素のあることを示唆する所見が多い。このようなことから閉塞上部および下部腸管の運動機能上の相違は上位からの興奮伝播の block や腸管内圧の変化によるところが大きいことが推測される。

電氣的興奮の伝播速度については Hukuhara ら (1969)、Carlson ら (1972)、Grivel & Ruckebush (1972)、Code & Marlett (1975) らの研究があり、Code らによる犬上部小腸および遠位中部小腸の伝播速度はそれぞれ 5.7~11.7 cm/min, 0.9~2.5 cm/min であると述べており、著者の小腸中部の無操作時の伝播速度もほぼ近似した値を示したが、その報告の中で伝播速度を評価するには電極間距離の測定方法や電極装着時のアトロピン投与の有無により異なることを指摘している。福原らは Trendelenburg 法を改変した方法でテンジクネズミの摘出小腸片の内腔を灌流しながら伝播速度を測定した結果、腸管内圧と収縮波の伝播速度との間に直線的な相関があり、多くの実験例で 1.5~2.2 mm/sec/mmH₂O の範囲内で変化すると述べていることから伝播速度の増加はすなわち腸管内圧の上昇を表わしていると考えることができる。この観点からすると著者の実験成績では閉塞後1時間ですでに腸内容の停滞貯留による腸管内圧の増加がもたらされているものと考えられ、7時間まで直線的に上昇し経過時間に比例しているが、その後この平行関係はくずれ増加することなくほぼ一定に推移する傾向を示した。

この7時間以降の伝播速度の変化に関する説明として、イレウス腸管の内圧亢進により腸壁の過伸展が持続するために腸壁の血流障害や代謝障害を招き局所環境の悪化に伴ない逆に平滑筋の興奮性が低下して伝播速度の減弱が招来すると推察される。一方閉塞下部では伝播速度が一定で対照値に近い値を示したことによりイレウスの全経過を通じて腸管内圧は上昇していないことがうかがわれた。

V. ま と め

犬小腸中間部に腸管閉塞装置および活動電位記録用の電極を装着して慢性犬とし、体外操作により腸管を閉塞して実験的に単純性イレウスを作成した。閉塞前より活動電位を連続的に導出し閉塞後の腸管運動機能の部位的差異、経時的変動について筋電図学的に検討し以下の結果をえた。

1. spike burst が規則的に出現している active phase に腸管を急激に閉塞すると、閉塞部の上下で spike wave が反射性にすべて消失して BER のみのパターンとなり 20~80 分持続する。

2. 再び発現して来た spike 放電は閉塞部に境に conduction block の状態を呈し電気的興奮の伝播が途絶し閉塞部の上下でそれぞれ独自の spike 放電を示す。

3. 閉塞上部腸管では閉塞後早期より spike 数、spike 振幅の増加および active phase の持続時間の延長を認め、電気的活性は増強してイレウス腸管の運動機能は亢進状態を示すが、5 時間後に電気的活性は徐々に減弱して以後経時的にはその運動機能は低下傾向を示す。

4. 閉塞下部腸管では閉塞直後より spike 数、spike 振幅の減少傾向を認め電気的活性は減弱を示す。また経時的にも同様に腸管運動機能の全般的な低下傾向を示す。

5. 電気的興奮の伝播様式の異常は閉塞後 3 時間前後より観察され、下行性の伝播以外に逆蠕動性、反復性、同時性および非伝播性などのパターンがあり上下腸管ともに認められる。

6. また伝播速度は閉塞上部では閉塞後より 7 時間後まで直線的な増加を示すが、以後 plateau を示す。他方閉塞下部では対照と近似し、ほぼ一定の伝播速度を維持する。

7. 閉塞上部の BER 頻度の減少傾向は閉塞後 24~30 時間に明らかになるが閉塞下部では閉塞後早期に著明な減少を示したのち以後経時的にも減少傾向が認められる。

稿を終るに臨み、御指導と御校閲を賜った継行男教授に深甚なる謝意を捧げるとともに、本研究について御支援、御協力をいただいた龍礼之助講師、小沢哲郎講師および教室諸兄に心から感謝の意を表します。

文 献

- Alvarez, W.C. (1924). Non-polarizable electrode and clamp designed particularly for gastro-intestinal work. *Amer. J. Physiol.* **69**: 249-253.
- Alvarez, W.C. and Mahoney, L.J. (1922). Action currents in stomach and intestine. *Amer. J. Physiol.* **58**: 476-493.
- 栗津三郎ら (1963). 埋没電極法による平滑筋筋電図. 最新医学 **18**: 903.
- Bozler, E. (1938). The action potentials of visceral smooth muscle. *Amer. J. Physiol.* **124**: 502-510.
- Bozler, E. (1939). Electrophysiological studies on the motility of the gastrointestinal tract. *Amer. J. Physiol.* **127**: 301-307.
- Bozler, E. (1946). The relation of the action potentials to mechanical activity in intestinal muscle. *Amer. J. Physiol.* **146**: 496-501.
- Bunker, C.E., Johnson, L.P. and Nelsen, T.S. (1967). Chronic in situ studies of the electrical activity of the small intestine. *Arch. Surg.* **95**: 259-268.
- Carlson, G.M., Bedi, B.S. and Code, C.F. (1972). Mechanism of propagation of intestinal interdigestive myoelectric complex. *Amer. J. Physiol.* **222**: 1027-1030.
- Code, C.F. and Marlett, J. (1975). The interdigestive myoelectric complex of the stomach and small bowel of dogs. *J. Physiol.* **246**: 289-309.
- Code, C.F. and Szurszewski, J.H. (1970). The effect of duodenal and mid small bowel transection on

- the frequency gradient of the pacesetter potential in the canine small intestine. *Amer. J. Physiol.* **207**: 281-289.
- Daniel, E.E. *et al.* (1959). Electrical activity of the small intestine. *Gastroenterology* **37**: 268-281.
- Grivel, M.L. and Ruckebusch, Y. (1972). The propagation of segmental contractions along the small intestine. *J. Physiol.* **227**: 611-625.
- Hodgkin, A.L. and Huxley, A.F. (1952). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J. Physiol.* **117**: 500-544.
- Hotz, G. (1909). Beiträge zur Pathologie der Darmbewegungen. *Mitt. Grenz. Med. Chir.* **20**: 257-318.
- Hukuhara, T., Neya, T. and Tsuchiya, K. (1969). The effect of the intrinsic mucosal reflex upon the propagation of intestinal contractions. *Jap. J. Physiol.* **19**: 824-833.
- 伊東信四郎(1958). 消化管の筋電図に関する実験的研究. 日消誌 **55**: 221-244.
- 亀井英文(1960). 腸管の電気生理学的研究, 特にイレウスならびに腹膜炎時の電気刺激に対する反応について. 四国医会誌 **16**: 39-56.
- 正務秀彦(1971). 小腸の基本的電気律動と外科的侵襲との関係についての実験的研究. 日外会誌 **72**: 302-320.
- Mccoy, E.J. and Baker, R.D. (1968). Intestinal slow waves: effect of transection on propagation velocity. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **129**: 562-563.
- Nicholas, E. *et al.* (1969). Effects of transection on the intestinal slow-wave frequency gradient. *Amer. J. Physiol.* **216**: 734-743.
- 西島早見(1955). 急性イレウス時に於ける腸管活動電流に就いて. 日外会誌 **55**: 1286-1300.
- Nothnagel, H. (1882). Experimentelle Untersuchungen über die Darmbewegungen, insbesondere unter pathologischen Verhältnissen. *Zeitsch. f. Klin. Med.* **4**: 532-557.
- Oikawa, M. (1949). Experimental studies on the action currents of small intestine in the case of acute intestinal obstruction and peritonitis. *Tohoku J. Exp. Med.* **51**: 343-350.
- Puestow, C.B. (1932). The activity of isolated intestinal segments. *Arch. Surg.* **24**: 565-573.
- Puestow, C.B. (1933). Studies on the origin of the automaticity of the intestine: The action of certain drugs on isolated intestinal transplants. *Amer. J. Physiol.* **106**: 682-688.
- 柴田族光(1973). 小腸運動機構に関する実験的研究(第1報). 日平滑筋誌 **9**: 109-122.
- 白鳥常男ら(1964). 腸閉塞症の筋電図学的研究. 最新医学 **19**: 3056-3057.
- Takita, S. (1953). Action current of alimentary canal. Observations on the normal and obstructed bowels. *Jap. J. Physiol.* **3**: 176-184.
- 田北周平(1954). イレウス(腸運動を中心として). 日外会誌 **55**: 662-675.
- 寺岡資郎(1967). イレウス時に於ける腸管平滑筋活動電流の変動に関する研究. 日外会誌 **68**: 634-679.
- Toyama, K. (1953). Action current of small intestine, particularly during ileus. *Kyushu Mem. Med. Sci.* **4**: 67-95.

(1983年9月2日受付)