食道静脈瘤に対する食道離断術後の食道運動機能に関する筋電図学的研究

千葉大学医学部 第二外科学教室

(主任: 佐藤 博教授)

紅 谷 明

AN ELECTROMYOGRAPHIC STUDY ON THE CANINE ESOPHAGEAL MOTILITY FOLLOWING TRANSECTION OPERATIONS FOR ESOPHAGEAL VARICES

Akira BENITANI

The Second Department of Surgery, School of Medicine, Chiba University

(Director: Prof. H. Sato)

By the method of esophageal varices operation in 25 dogs, esophageal myoelectric activity was compared with EMG. Five groups were used each group having 5 dogs, (1) was the control group, (2) had a transverse incision on the esophageal muscle layer, (3) had a longitudinal incision on the same muscle layer, (4) had vagotomy of the high position, and (5) had vagotomy of the low position. The esophageal myoelectric activity of the dogs was recorded after swallowing by means of chronically implanted electrodes.

The following results were obtained:

1. According to the action potential pattern, the longitudinal incision group has better esophageal motor function than the transverse incision group.
2. For the 2nd pair of groups, the low position vagotomy group have better function than the high group.

I. 緒

言

食道静脈瘤に対する直達手術は近年広く行なわれるようになったが術後の食道運動機能障害は合併症として問題となるところである(東, 1980; 大熊ら, 1981). 千葉大学第2外科では経腹の食道粘膜離断術(平嶋ら, 1973)を標準術式としているが, 術後の食道運動機能の点でもほぼ満足すべき成績をえている(平嶋ら, 1975). 本術式は多くの直達手術が食道筋層を横切離断するのに対し食道筋層を縦切開し粘膜のみを離断すること, 経胸的手術では比較的高い位置で迷走神経支配が断たれるのに対し経腹的操作のため低い位置で迷走神経が断たれることに特徴が

ある。そこで食道運動機能を温存するには食道筋層横切離と縦切開とではどちらが有利か, 高位迷切と低位迷切とではどちらが有利かを検討することとした。食道運動機能に関して筋電図学的検討は食道の筋活動を最も直接的に表現しうられるが, その報告はきわめてまれである(Brücke & Inoue, 1912; Brücke & Satake, 1913; 横沢, 1956; 多田, 1956; 水野, 1964; 佐藤ら, 1967; 大川ら, 1967; 時田ら, 1968; 黄, 1974). そこで前述の2点に関する食道運動機能上の差異をイヌを用いて筋電図学的に検討し若干の知見をえたので報告する。

図1. 各種手術法と電極植え込み部位

II. 実験対象および方法

体重 9 kg~28 kg の雑種成犬 25 頭を用い、図 1 に示した 5 群を作成した。すなわち食道に手術操作を加えない対照群 (C-1~C-5)、食道胃接合部より 1.5 cm 口側にて全周にわたり横切離を加え再縫合した横切群 (T-1~T-5)、食道筋層は接合部から口側 3 cm にわたり縦切開を加え粘膜管のみを横切離した縦切群 (L-1~L-5)、奇静脈弓の高さで高位迷切を行なった迷切群-I ($V_{I-1} \sim V_{I-5}$)、接合部より 1.5 cm 口側の高さで低位迷切を行なった迷切群-II ($V_{II-1} \sim V_{II-5}$) の 5 群で各 5 頭ずつである。各群ともベントバルビタール 25 mg/kg にて麻酔した後、気管内挿管調節呼吸のもとに開胸し、それぞれの手術操作を加えた。また、筋電図採取のために鉤状双極針電極を食道胃接合部、それより 1 cm 口側、2 cm 口側、3 cm 口側の 4 点に刺入固定した。電極の材質および植え込み方法は佐藤ら (1967) の方法に従った。リード線は背部より出し、この部に縫着した衣製のポケットにしまい込んでおき、筋電図測定時にはポケットからリード線を出し筋電図誘導用入力箱を経て日本光電社製多用途監視記録装置 RM-45 に連結し

た (図 2)。測定は手術、麻酔の影響がなくなったと思われる術後 2 日目以降に、無麻酔無拘束の状態で行ない、水またはミルクを一口嚥下させ、その時に生じる電位変化を記録し、各群における嚥下後活動電位出現率の差異を比較した。なお、測定条件は時定数は 0.003 秒、hi-cut filter は off とした。なお電極の経時的変化のため、筋電図が安定して測定できたのは多くは術後 2~3 週間までであったため、活動電位出現率の検討には術後 2 日から 2 週間までに測定した筋電図を用いた。

図2. 鉤状双極針電極と筋電図測定法

III. 成

A. 対照群

下部食道における嚥下時の正常な活動電位出現パターンを知るために対照群の嚥下時筋電図を測定した。図 3 はその 1 例で電極植え込み後 1 週間で測定したもので記録速度は 1 cm/sec,

績

増巾率は $500 \mu\text{V}/\text{cm}$ である。嚥下後約 12 秒で接合部より 3 cm 口側の部位に burst 状の活動電位が出現し、以後約 0.5 秒の間隔をおいて、2 cm 口側、1 cm 口側、接合部へと順蠕動性に活動電位が波及している。この他に心電図と横

図3. 嚥下時筋電図（対照群）
嚥下後 Burst が3 cm 口側から接合部まで出現。

表1. 活動電位の出現頻度（対照群）
3 cm 口側から1 cm 口側までは100%の出現率，接合部では出現率がやや低下。

イヌNo.		C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
部位
3 cm 口側	5回/5回 (100%)	25/25 (100)	14/14 (100)	10/10 (100)	20/20 (100)
	2 cm 口側	5/5 (100)	25/25 (100)	14/14 (100)	10/10 (100)	20/20 (100)
	1 cm 口側	5/5 (100)	25/25 (100)	14/14 (100)	10/10 (100)	20/20 (100)
	接合部	1/5 (20)	19/25 (76)	14/14 (100)	10/10 (100)	20/20 (100)

表2. 活動電位の出現頻度（横切群）
横切部より口側では100%の出現率，肛門側では活動電位は出現せず。

部位		イヌNo.	T-1	T-1	T-1	T-1	T-1
	3 cm 口側	5回/5回 (100%)	22/22 (100)	20/20 (100)	14/14 (100)	10/10 (100)	
	2 cm 口側	5/5 (100)	22/22 (100)	20/20 (100)	14/14 (100)	10/10 (100)	
	1 cm 口側	0/5 (0)	0/22 (0)	0/20 (0)	0/14 (0)	0/10 (0)	
	接合部	0/5 (0)	0/22 (0)	0/20 (0)	0/14 (0)	0/10 (0)

図4. 嚥下時筋電図（横切群）
嚥下後の burst は，3 cm 口側から2 cm まで出現。

隔膜の呼吸運動に一致する規則的な burst がみられるのみである。

対照群 5 頭について嚥下を行なわせ、各部位について嚥下後の活動電位の出現率をまとめたものが表 1 であるが、接合部以外の 3 点では 100% の出現率であり、接合部では出現率がやや低下した。

B. 横切群

図 4 は横切群 イヌ T-4 の横切 1 週間後の筋電図である。嚥下後約 12.5 秒で 3 cm 口側に活動電位が出現し、約 0.2 秒おくらせて 2 cm 口側

にも出現した。しかし横切部より肛門側の 2 点では活動電位の出現をみなかった。横切群では他のイヌも同様の傾向であり、表 2 は横切群の嚥下後の活動電位出現率をまとめたものである。表のごとく横切部より口側では 100% の活動電位出現率をみたが、肛門側では活動電位が出現せず、横切部を境に伝達障害があることが示唆された。

なお、イヌ T-4 に植え込んだ電極は術後 2 ケ月まで筋電図測定可能であり、さらに横切 1 年後に電極を再挿入し 1 年後の筋電図も測定しえ

図 5. 嚥下時筋電図 (横切群) 2 ケ月後
burst は 2 cm 口側まで出現。

図 6. 嚥下時筋電図 (横切群) 1 年後
burst は 1 cm 口側まで出現したが、2 cm 口側から 1 cm 口側への伝達速度に遅れがある。

たのでそれをつぎに示す。図5は2ヶ月後の筋電図であるが、図左では嚥下後約8.5秒で3 cm 口側に活動電位が出現し、約0.5秒おくれて2 cm 口側にも活動電位が出現している。1 cm 口側には電位的な変化は認めぬが、接合部ではburst 状の筋電図変化が認められた。しかし図右のごとく次の嚥下をさせると接合部にはburst は認められなかった。図6は1年後の嚥下時筋電図である。図左は1 cm/sec の記録速度で測定したもので、横切部より口側の2点のみならず、以前には認められなかった1 cm 口側の部にも嚥下後活動電位が認められた。しか

し図右のごとく記録速度を2.5 cm/sec に上げると、3 cm 口側から2 cm 口側への伝達速度にくらべ、2 cm 口側から1 cm 口側への伝達速度は明らかに遅れがあることが認められ、1年後でも横切部の伝達機序にはなお障害が残っていると思われた。

C. 縦切群

図7は縦切群の嚥下時筋電図の1例で手術後1週間に測定したものである。嚥下後約11秒で3 cm 口側に活動電位が出現し、約0.5秒の間隔をおいて順蠕動性に肛門側へと波及している。この例では接合部での活動電位の発現はみとめ

図7. 嚥下時筋電図(縦切群)
burst は3 cm 口側から1 cm 口側まで出現。

図8. 嚥下時筋電図(縦切群)
burst は3 cm 口側から接合部まで出現。

られなかった。図8は別のイヌの例で嚥下後約7秒で3 cm 口側に活動電位が出現し、順蠕動性に肛門側へと波及して行くが、この例では接合部にも活動電位が出現した。

縦切群5頭についての嚥下後活動電位出現率を表3にまとめた。接合部以外の3点では、すべてのイヌで100%の出現率であり、接合部ではL-4が50%、L-5が100%出現したのみで、接合部の出現率は低下しているものの、横切群にくらべ明らかに対照群に近い活動電位出現パターンを示した。

表3. 活動電位の出現頻度(縦切群)

3 cm 口側から1 cm 口側までは100%の出現率、接合部では出現率低下。

イヌNo. 部位	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5
3 cm 口側	11回/11回 (100%)	11/11 (100)	18/18 (100)	10/10 (100)	14/14 (100)
2 cm 口側	11/11 (100)	11/11 (100)	18/18 (100)	10/10 (100)	14/14 (100)
1 cm 口側	11/11 (100)	11/11 (100)	18/18 (100)	10/10 (100)	14/14 (100)
接合部	0/11 (0)	0/11 (0)	0/18 (0)	5/10 (50)	14/14 (100)

D. 迷切群-I (高位迷切群)

図9は迷切群-Iの1例で左は術後1週間の嚥下時筋電図である。この例では嚥下後約5.5秒で3 cm 口側に burst 状の活動電位が出現したがそれより肛門側には活動電位の出現をみない。1ヶ月後の筋電図測定でも同様に、図右のごとく嚥下後活動電位が出現したのは3 cm 口側のみであった。図10は他のイヌの筋電図であるが、この例では嚥下後3 cm 口側および2 cm 口側の2点で活動電位が出現したが、それより肛門側では活動電位は出現しなかった。図11はさらに別のイヌでの測定結果であるが、この例では嚥下後3 cm 口側から接合部まですべての部

表4. 活動電位の出現頻度(迷切群-I)

迷切部より肛門側にはなれるにしたがって出現率は低下して行く。

イヌNo. 部位	Vi-1	Vi-2	Vi-3	Vi-4	Vi-5
3 cm 口側	40回/40回 (100%)	25/25 (100)	11/11 (100)	20/20 (100)	27/27 (100)
2 cm 口側	0/40 (0)	25/25 (100)	8/11 (73)	20/20 (100)	0/27 (0)
1 cm 口側	0/40 (0)	0/25 (0)	0/11 (0)	16/20 (80)	0/27 (0)
接合部	0/40 (0)	0/25 (0)	0/11 (0)	4/20 (20)	0/27 (0)

図9. 嚥下時筋電図(迷切群-I)
3 cm 口側のみ burst 出現。

図 10. 嚥下時筋電図 (迷切群-I)
この例では 3 cm 口側および 2 cm 口側に burst 出現.

図 11. 嚥下時筋電図 (迷切群-I)
この例では 3 cm 口側から接合部まで burst 出現.

図 12. 嚥下時筋電図 (迷切群-II)
burst は 3 cm 口側から接合部まで出現.

位に認められた。

迷切群-I では、3 cm 口側の部位しか活動電位が出現しないものから4点すべてに出現したものまでさまざまであったが、それをまとめると表4のようになる。V_{I-1}, V_{I-5}は3 cm 口側のみ出現し、V_{I-2}, V_{I-3}は2 cm 口側まで出現した。V_{I-4}のみが接合部まで4点すべてに出現したが、総じて迷切部より肛門側にはなれるにしたがって活動電位の出現率は低下して行く傾向をみせた。

E. 迷切群-II (低位迷切群)

図12は迷切群-IIの1例で、嚥下後約9.5秒で3 cm 口側に活動電位が出現し、一定の潜時をおいて肛門側に向かい順蠕動性に接合部にまで波及し、4点すべてに活動電位の出現がみられている。迷切群-IIでは、他のイヌも同様の傾向で、嚥下後活動電位は1 cm 口側あるいは接合部まで伝達されていた。

迷切群の活動電位出現率を部位別にまとめたものが表5である。各イヌとも接合部以外の3

表5. 活動電位の出現頻度 (迷切群-II)
3 cm 口側から1 cm 口側まではほぼ100%の出現率、接合部では出現率低下。

イヌNo. 部位	V _{II-1}	V _{II-2}	V _{II-3}	V _{II-4}	V _{II-5}
3 cm 口側	30回/30回 (100%)	28/28 (100)	26/26 (100)	30/30 (100)	26/26 (100)
2 cm 口側	30/30 (100)	28/28 (100)	26/26 (100)	30/30 (100)	26/26 (100)
1 cm 口側	30/30 (100)	28/28 (100)	25/26 (96)	27/30 (90)	26/26 (100)
接合部	15/30 (50)	9/28 (32)	4/26 (15)	23/30 (77)	18/26 (69)

点での出現率はきわめて高く V_{II-3}, V_{II-4} が1 cm 口側の部でそれぞれ96%, 90%であり、他はすべて100%の出現率であった。接合部では出現率は低下し、最高はV_{II-4}の77%, 最低はV_{II-3}の15%であった。迷切群-IIは迷切群-Iにくらべ嚥下後の活動電位出現率が高く、明らかに対照群に近いパターンを示していた。

IV. 考

食道静脈瘤の直達手術はWalters (1927) による左胃静脈結紮術に始まり、Walker (1960) が経胸的食道離断術を報告している。本邦でも直達手術が広く行なわれるようになり (杉浦, 1972; 山本, 1972), 手術成績も向上し、手術適応も拡大されてきたが、一方では食道離断、血行郭清のため食道の運動機能が障害されるということが問題となりつつある。しかし教室で行なっている経腹的食道粘膜離断術では術後の食道運動機能に関してほぼ満足すべき成績を得ている (平嶋ら, 1975)。本術式の特徴は食道筋層を縦切開する点、および経腹的操作で手術を行なうため血行郭清は横隔膜以下となり食道の迷走神経支配は低位で遮断される点である。よって食道筋層を横切離した場合と縦切開した場合とを比べどちらが食道運動機能を温存できるか、および迷走神経を高位で切断した場合と低位で切断した場合とではいずれが食道の運動機能を温存できるかの2点が本実験の主眼となるわけであるが、筋電図学的検討を実験手段とし

案

て選んだ理由は、一つには食道の筋活動を直接的に表現できるという点、また食道内圧検査等の方法にくらべ食道内腔に異物を挿入せずより生理的な状態で検査を施行できるという点、さらには無麻酔無拘束で実際の嚥下をとらえる点等さまざまな長所があるにもかかわらず食道の筋電図学的検索はほとんど行なわれていないという事である。また実験にイヌを用いているが、イヌの食道は全長にわたり横紋筋で構成され、しかも筋線維が斜めに交叉して走りヒトとは構造を異にしている。しかし著者が目的とした食道胃接合部付近のみは内輪外縦の構造でヒトと似ている。さらには筋電図測定時、無麻酔無拘束の状態でも従順に嚥下してくれるという点では最適と考えられる。

佐藤ら (1967) は植え込み電極法を食道に応用し、無麻酔無拘束下にイヌの食道筋電図を測定し、安静時には心電図と接合部に見られる横隔膜の呼吸運動に一致する規則的なburstの他は電気的变化がないこと、水一口嚥下時には

burst がまず上部食道に発生し、一定の潜時をおいて、中部食道、下部食道、接合部の順に生じることを報告しており、これが食道筋電図の基本型と考えられ、著者の行なった対照群の筋電図も同様のパターンがえられた。

著者の実験では食道筋層を横切離すると、横切部以下では嚥下後の活動電位は認められなかったが、藤本 (1984) は食道接合部より 4 cm 口側で食道を横切離し横切部より肛門側でも嚥下後の burst が認められたと報告している。藤本と著者との実験方法の違いは、藤本が接合部より 4 cm 口側で横切しているのに対して、著者は 1.5 cm の部で横切している点、および藤本は横切部より上下それぞれ 1 cm 離れた部位に電極を植え込んでいるのに対し、著者は横切部より上下 0.5 cm、1.5 cm の計 4 点に電極を植え込んでいる点の 2 点である。電極植え込み部位に関しては両者ともほぼ一致しており、両者の実験方法上の違いは横切部位の高さに注目するのが妥当であろう。筋に活動電位を起こさせるための経路として、食道内を通る壁内の経路と食道外を通る壁外の経路が考えられるが、食道が完全に横切された場合残るは壁外経路のみである。横切部より肛門側では壁内経路からの伝達は完全に遮断されるのであるから、横切部より肛門側で活動電位が発生するのは壁外経路か

らの影響を受けているのであろう。接合部より 4 cm 口側付近ではまだ壁外経路からの影響を受けるが接合部より 1.5 cm 口側付近ではもはや壁外経路からの影響を受けにくくなるのではないかと考えられる。よって接合部付近で食道離断を行なう場合、横切離よりも縦切開の方が運動機能温存の意味で有利であろう。

つぎに高位迷切と低位迷切との食道運動に及ぼす影響の比較であるが、高位で迷切を行った場合、食道下部の活動電位出現率はかなりの低下をみせた。しかも肛門側に行くにしたがって低下率は著しくなる。一方、低位迷切を行なった場合は、食道下部の電位はさほど低下せず、対照群に近い活動電位出現パターンを見せている。多田 (1956) は家兎を用いた実験で、食道を支配する迷走神経、咽頭枝、反回神経のうち腹部食道は迷走神経のみで支配されることを報告しており、また時田 (1968) は家兎を用いた実験で、両側迷切を行なうと嚥下に伴う伝播放電が消失する事を報告しており、食道運動に関して迷走神経のもつ役割は大きい。食道静脈瘤の直達手術において食道近傍の側副血行郭清を行なう際に、食道運動機能に重要な意味を持つ迷走神経支配が断たれることになるが、実験からは高位で断たれるよりも低位で断たれた方が食道運動機能温存上有利と思われた。

V. ま と め

食道静脈瘤直達手術が食道運動機能に及ぼす影響を調べる目的で、イヌを用いて食道離断の方法および迷切の高さについて筋電図学的に検討し以下の結論を得た。

1. 無処置犬にミルク一口嚥下させると burst 状の活動電位が口側から肛門側に向かって順蠕動性に伝達された。
2. 食道筋層を横切離すると横切部より肛門側には嚥下後の活動電位が伝達されなかったのに対し、筋層を縦切開した場合は伝達障害はほとんどなく、より正常に近い筋電図パターンを示した。
3. 高位迷切を行なうと嚥下による活動電位は食道下部に行くにしたがって出現しにくくな

るのに対し、低位迷切を行なった場合食道下部まで活動電位が高率に出現し、高位迷切よりもより正常に近い筋電図パターンを示した。

4. 以上より、食道離断法では横切よりも縦切が、また迷切の高さでは高位迷切よりも低位迷切の方が食道運動機能を温存しうることが示唆された。

稿を終えるにあたり、御指導御校閲賜った本学第 2 外科学教室佐藤 博教授に深謝します。また直接に御指導御鞭撻頂いた教室の平嶋 毅講師、原 輝彦講師に、さらに御協力いただいた教室の諸兄に感謝の意を表します。

尚、本論文の要旨は、第 23 回および第 24 回日本平滑筋学会で発表した。

文 献

- 東 博治 (1980). 食道静脈瘤の直達手術における下部食道噴門括約機構への影響. 久留米医誌 **43**: 512-521.
- 紅谷 明ら (1981). 下部食道接合部機能の筋電図学的研究——食道筋層縦切開と横切離との比較——日本平滑筋誌 **17**: 217-218.
- 紅谷 明ら (1982). 下部食道接合部機能の筋電図学的研究——高位迷切と低位迷切との比較——日本平滑筋誌 **18**: 150-152.
- Brücke, E.T. & Inoue, T. (1912). Die Aktionströme der Muskulatur der Kaninchenösophagus bei Reizung der Nerven mit Einzereizen. *Pflüger's Arch.* **145**: 152-169.
- Brücke E.T. & Satake, J. (1913). Über die Aktionströme des Kaninchenösophagus während des Ablaufes einer Schlückwelle. *Pflüger's Arch.* **150**: 208-216.
- 藤本繁樹 (1984). 食道静脈瘤に対する経胸的食道離断術後の食道運動機能. 日消外会誌 **17**: 165-173.
- 平嶋 毅ら (1973). 食道静脈瘤に対するわれわれの経腹的食道粘膜離断術. 手術 **27**: 545-550.
- 平嶋 毅ら (1975). 食道静脈瘤に対する経腹的食道粘膜離断術の電気生理学的検討, とくに食道内圧・pH および血流測定について. 外科 **37**: 927-932.
- 黄 江庭 (1974). 食道運動に関する電気生理学的研究. 日本平滑筋誌 **10**: 23-31.
- 水野秀一 (1964). 犬に於ける正常および頸部迷走神経切断時の下部食道ならびに胃噴門部の電気生理学的研究. 日大医学雑誌 **23**: 621-633.
- 大川和春ら (1967). 食道の通過機構に関する筋電図学的研究. 耳鼻臨床 **60**: 499-504.
- 大熊忠利ら (1981). 食道静脈瘤に対する食道離断術後の食道運動機能について. 日消外会誌 **14**: 191.
- 佐藤 博ら (1967). 植え込み電極法食道筋電図. 日本平滑筋誌 **3**: 45-53.
- 杉浦光雄ら (1972). 食道離断術. 外科治療 **26**: 634-642.
- 多田 豊 (1956). 家兎の食道機能の筋電図学的研究. 耳鼻臨床 **49**: 463-494.
- 時田 喬ら (1968). ヒトおよび兎の食道筋電図——管内導出記録法と放電の基本型——. 耳鼻臨床 **61**: 393-404.
- 時田 喬 (1968). 筋電図による食道自律神経支配の研究. 気食会報 **19**: 42-53.
- Walker, R.M. (1960). Transection operation for portal hypertension. *Thorax* **15**: 218-224.
- Walters, W., Rowntree, L.G. & McIndoe, A.H. (1927). Ligation of coronary veins for bleeding esophageal varices. *Proc. Staff Meet. Mayo, Clin* **4**: 146.
- 山本貞博 (1972). 胃上部切除術. 外科治療 **26**: 643-648.
- 横沢三平 (1956). 食道機能の筋電図学的研究. 耳鼻臨床 **49**: 705-727.

(1984年7月9日受付)