

外肛門括約筋の筋電図学的研究*

長野 慶一郎

Electromyographic Studies on the Function of the External Sphincter Muscle of the Anus

Keiichirō NAGANO

(Laboratory of Veterinary Physiology)

目 次

緒 言	第4章 外肛門括約筋の活動に対する感覚刺激の影響
第1章 外肛門括約筋の解剖	第1節 物理的刺激に対する反応
第1節 肛門部の筋の解剖	第1項 聴覚刺激
第2節 外肛門括約筋の神経支配	第2項 視覚刺激
第2章 外肛門括約筋の筋電図	第3項 痛刺激
第1節 筋電図の誘導と記録	第2節 化学的刺激に対する反応
第2節 外肛門括約筋の活動様式	第3節 中枢神経系興奮薬と聴刺激の二重負荷に対する反応
第1項 外肛門括約筋のバースト放電の性質	第1項 Methamphetamine
第2項 単一 NMU の活動様式	第2項 Caffeine
第3項 放電間隔時系列の性質	第4節 脊椎犬における感覚刺激の影響
第3章 外肛門括約筋の機能	第5章 外肛門括約筋の NMU 放電に対する時系列解析の応用
第1節 外肛門括約筋の機能分化	第1節 筋電図における時系列解析の応用とその意義
第2節 発育に伴う機能の分化	第1項 放電間隔時系列の解析方法
第3節 外肛門括約筋における Corticalization と Spinalization	第2項 各変動要素のもつ性質
第1項 横臥、犬座、仰臥および腹臥による \bar{r} -S 曲線の移動	第2節 時系列解析法による外肛門括約筋の神経支配に対する検討
第2項 体重の移動による \bar{r} -S 曲線の移動	第1項 緩慢な動揺
第3項 シーソー運動による \bar{r} -S 曲線の移動	第2項 H型変動
第4節 外肛門括約筋の活動に対する薬物の作用	第3項 R型変動
第1項 Methamphetamine に対する反応	第6章 考察ならびに結論
第2項 Caffeine に対する反応	文 献
第3項 Prostimine に対する反応	英 文 要 約
第4項 Chlorpromazine に対する反応	

緒 言

外肛門括約筋（以下、本筋とよぶ）は、内肛門括約筋と共に肛門部の筋系を構成する。本筋は構造上横紋筋で、すべての骨格筋と同様に体性運動系に所属し、脊椎神経系の支配を受ける。しかし、次の諸点において他の骨格筋とその作用を相違する。

第1に、本筋の役割は消化管の出口を約することであり、直接に体性運動に参加することはない。

第2に、本筋の収縮活動は、単に肛門を閉じるという単純な形式でのみ現われる。他の骨格筋のごとく協同的あるいは拮抗的に作用する対応筋からの、活動上の修飾を受けることがない。

第3に、排糞に際して弛緩する以外は、休止することなく常に収縮活動を継続する。

* 本論文は、昭和41年東京大学において審査を受けた学位論文の概要をなすものである。

第4に、前項の活動様式からみて **Spinal** な、または反射的な神経機構の支配を受けると考えられるが、さらに **Cortical** な、もしくは随意的な神経機構の支配を受けて活動することができる。ただし、活動の表現は同じように肛門の緊縮という単純な形式のみである。

以上述べた機能上の特性からわかる通り、本筋は随意筋中特異な性格をもち、筋生理の立場からみて興味深い研究対象であるが、本筋に関する研究は意外に少なく数編を数えるにとどまり、未知の面が多く残っている。

筋電図による研究においては、**BECK**²⁾ (1930) の犬の肛門筋からの **Action current** の誘導に成功したのが最初である。ついで **FLOYD & WALLS**⁷⁾, **KAWAKAMI**¹⁴⁾ らの研究が報告されたが、**FLOYD** らは成人男子につき表面電極によって記録したバースト放電により、安静時および意識的収縮時の本筋の活動状況を考察し、**KAWAKAMI** は成人男子を用いて、針電極によって単一神経筋単位の性質を調べ、本筋の τ -**S** 曲線が他の骨格筋の右側に偏在することを知り、大脳皮質以下の神経機構に高度の支配を受けている、と述べた。

これらの基礎的研究のほか、臨床医学の分野において行なわれた研究がある。神森¹³⁾は、内肛門括約筋の関連の面から本筋の機能について検索し、益田および山田^{23~25,54)} は産婦人科領域において重要視されている骨盤底諸筋群の代表者として本筋をとりあげ、筋電図学的に追究して妊娠及び分娩に伴う活動様式を観察した。また外科的立場から、直腸、肛門疾患の手術前後における τ -**S** 関係の変動について国枝¹⁶⁾が調べている。

また最近 **BISHOP** ら³⁾ によって生理学的立場からの研究が報告されている。**BISHOP** らは除脳した猫を用い、骨盤神経切断などの実験を行なって、本筋の収縮に関する調節機構を推定し、さらに **BISHOP**⁴⁾ は、同様に処置した猫について実験を重ね、脊髓単位の本筋の反射機構について考察した。

本研究は、本筋が骨格筋群の一員でありながら、その作用が肛門の括約という甚だ単純な作用を営み、しかも他の骨格筋と分離して、ほとんど独立して行動していることに注目し、骨格筋において観察し難い **isolate** した収縮活動を、とくに神経筋単位の活動の面から詳しく検討しようとしたものである。筋の **isolate** した活動は、**intact** な動物の自然の行動の中には存在しないからである。周知のように、一つの筋の活動は機能的にみて、随意運動を中心とする大脳皮質運動領（ひとにおいてはその第4野）の支配と、それ以外の神経機構の支配を受けている。前者に対して **Cortical** 要素、後者に対して **Spinal** 要素の名称が設けられ、筋電図学における一般的な用語として通用している。本筋もまた、同様な神経支配を受けているが、それぞれの表現の仕方またはその交代の時間間隔が、他の骨格筋に比べると甚だしく異なる。この研究は、本筋のこのような特異性に注目し、単に本筋の機能上の性質を明らかにするだけでなく、その性質を利用して、幾つかの生理学的な実験と、薬理的な実験への利用を試みている。また、この研究はすべての実験に犬を用いている。このことは、既にわかっているように、犬の錐体路が他の実験動物に比較してはるかによく発達しているので、前述の **Cortical** 要素と **Spinal** 要素の支配の差を機能的に分離するのに最も都合がよいと考えたこと、および犬はある程度訓練の期間を設ければかなり困難な実験の課題を消化できること、などを考慮したからである。訓練という問題が介在する限り、実験に使用できる動物は当然制約されるが、同一の実験には少くとも2頭以上の同程度に課題に習熟したものを使用することにし、未訓練のものはできるだけ避けるように注意した。なお、本筋はその内側に所在する内肛門括約筋の活動と常に密接な関連を有し、また直腸肛門部の機能によって背後を固められているのであるが、この研究では消化管系の一部として考えることは全くせず、骨格筋群の一員としてすべての論議を行なったことを附記しておく。

本文に入るに先立ち、本研究について、終始御懇篤なる御指導、御鞭撻を賜った元東京大学教授

岡部利雄博士，東京大学教授野村晋一博士，同助教授沢崎坦博士ならびに，絶えず懇切なる御助言を戴いた鹿児島大学教授安川正敏博士に謹んで感謝の意を表します。また，本実験の遂行にあたり多大の御援助と御協力を惜しまれなかつた東京大学農学部家畜労役生理学教室と，鹿児島大学農学部家畜生理学教室の各位に衷心より感謝いたします。なお，本論文の作成にあたり，図表などの取りまとめに特にお骨折りを戴いた満永久美子，石黒茂，昇敏夫の諸氏に対し厚く御礼申し上げます。

第 1 章 外肛門括約筋の解剖

本筋の解剖学的位置と，その周辺にあつてこれと直接もしくは間接に活動上の関連を有する筋群およびその支配神経について説明する¹⁾¹²⁾²¹⁾²²⁾²⁶⁾⁴⁴⁾。

第 1 節 肛門部の筋の解剖 (Fig. 1)

1. 直腸肛門部 *Pars analis recti*

消化管の末端，すなわち直腸の終末から肛門までを直腸肛門部と呼び，消化管の一部から機能的に分化したものである。犬の直腸肛門部は，第 4 尾椎の腹側に横たわり，約 1 cm の長さを有し，3 層

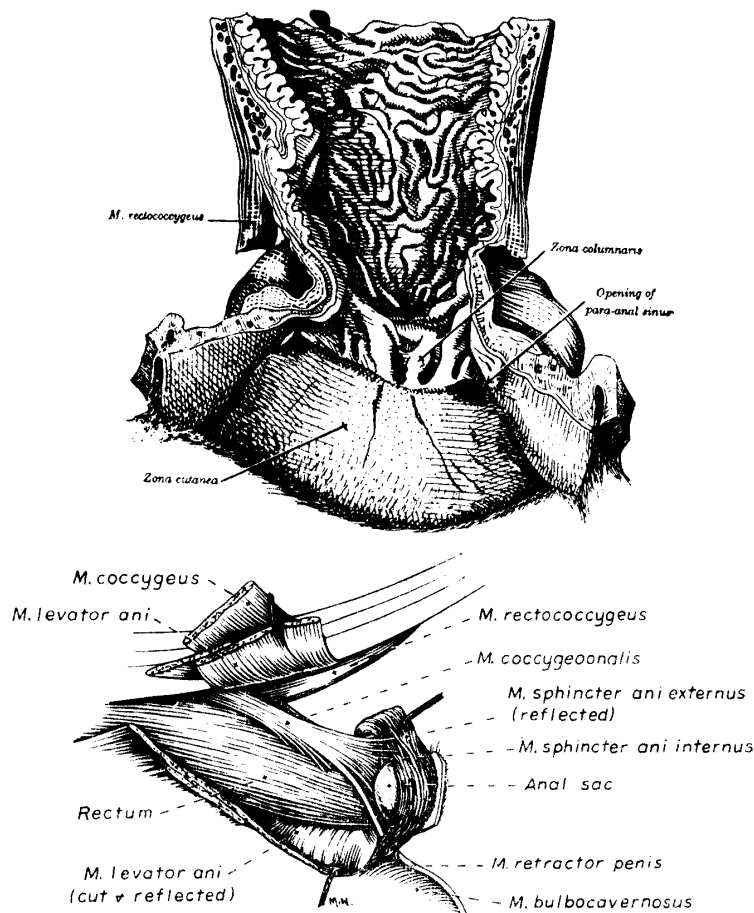


Fig. 1. Dissection of the external sphincter muscle of the anus
 Upper figure: Interior of the anal part of the rectum (quoted from BRADLEY, O. C.)
 Lower figure: Muscle of the anal region, lateral aspect (quoted from MILLER, M. E.)

を分別することができる。この3層を後方から皮膚層 *Zona cutanea*, 中間層 *Zona intermedia* および柱状層 *Zona columnaris* と呼ぶ。

消化管の最後部に位置する皮膚層は、肛門外側の皮膚と、これが消化管内に延長した部分を含めたもので、内、外の2層から成る。従って、消化管末端の開口である肛門は、皮膚層の内、外2層の境界部の間に挟まれ、狭窄した肛門輪 *Anulus haemorrhoidalis* を形成することになる。犬の肛門の形状は、円というより下方に頂点をもつ不整な2等辺三角形を呈している。皮膚層の内層の幅は約4cm程度で、表面は湿潤する。外層の幅は、その下にある肛門周囲腺 *Glandulae circumanalis* の発達具合で異なり、大型の老犬では4cmに達するものも認められる。

皮膚層の前方は中間層に接続するが、この層は1cm以下の極めて狭い皺襞をなし、肛門皮腺 *Linea anocutanea* と呼ばれ、重層扁平上皮から成る。

直腸肛門部の最前方を占める柱状層の表面には、約7mmにわたって縦走あるいは斜走する隆起、すなわち肛門柱 *Columnae ani* が認められる。肛門柱の長さや方向は均一でないが、大部分は直腸との境界をなしている肛門直腸腺 *Linea anorectalis* に終る。肛門柱相互の間にくぼみができるが、これを肛門洞 *Sinus anales* と名付ける。肛門の横紋筋と平滑筋の両括約筋の間には、えん豆大の肛門囊 *Anal sacci* が左右両側に介在する。肛門旁洞 *Siuus paranalis* ともいわれ、導管は皮膚層に開口する。

直腸肛門部には肛門周囲腺 *Glandulae circumanalis*, 肛門腺 *Glandulae anales* および肛門囊腺 *Glandulae sacci anales* の3腺が存在する。肛門周囲腺は肛門を取り巻く皮下織中に埋没している。PARKS²⁶⁾ (1950)によれば、脂肪に富む表層と、脂肪に乏しい深層の2重構造をもつという。肛門腺は、TRAUTMAN & FIEBIGER²⁶⁾ (1957)によれば管状胞状腺に属し、中間層に開口して脂肪様分泌物を排出する。肛門囊腺は肛門囊の壁中において、皮膚層に開口しているが、コイル状の *Apocrine* 腺で構成され、悪臭のある暗灰色の液を分泌する。従って肛門囊は、この分泌液を貯蔵する役目をもつ。

2. 直腸肛門部の筋

外肛門括約筋 *M. sphincter ani externus*

肛門の周囲を輪走性に帯状に取り巻き、直腸肛門部を形成、保持する最も重要な要素である。横紋筋線維から構成される随意筋である。筋帯の幅は背側で約2cmであるが、腹側はこれより狭く約1cmである。厚さは0.5~1.5mmで極めて薄い。筋の前縁は肛門挙筋の後縁と筋膜により接着し、外側背部の大部分は皮下に位置して、第3尾椎の高さで尾骨筋膜により一對の直腸尾筋と接続している。このためその上部はくぼんだ弓状になっている。背面の後縁は尾の腱膜と結合している。一方、側面は内肛門括約筋との間に前述の肛門囊が存在するため、左右に膨隆している。またその内面は、内肛門括約筋の外側と接し、それをおおうように重なるが、内肛門括約筋を完全に被覆することはない。走向をみると、その一部は肛門を取り巻いて輪状をなし、他の一部は下走しておよそ十文字に交叉し、雄では尿道筋と球海綿体筋の起始部に終了し、雌では陰門収縮筋に混入して終る。表在する筋線維の中には、雄雌ともに、外部生殖器に入りこんでいるものもある。

肛門挙筋 *M. levator ani*

その形態は三角形を呈し、直腸の側面に横たわる。坐骨と恥骨の縫合部、恥骨前縁および恥骨内面から起り、この筋線維の一部は肛門括約筋に混入し、他の一部は第3、第4尾椎に終る。比較的広いが薄い筋である。肛門を挙上する働きをする。

尾骨筋 *M. coccygeus*

骨盤中に含まれる筋群の中で最外側にある。坐骨棘から起り、後方にのびて第2~第5尾椎に附着

する。尾の外転作用がある。

内肛門括約筋 *M. sphincter ani internus*

直腸筋層のうち、輪走筋が直腸肛門部で特に発達肥厚したもので、不随意性の平滑筋である。幅は外肛門括約筋よりも狭い。その内面は粘膜下織で境され、少量の筋膜によって外肛門括約筋と区分されている。両側の外方に肛門嚢があり、内外の括約筋に挟まれ、導管は内肛門括約筋の後端を横切っている。この筋は、外肛門括約筋の作用を補助し、また肛門嚢を収縮させる。

直腸尾筋 *M. rectococcygeus*

直腸筋層のうち、縦走筋は直腸側面から背側後方に走り、肛門に近い背位で左右一对の直腸尾筋を形成する。左右側は第3尾椎の腹側で接近し、やがて合体してさらに尾側に走り第5～第6尾椎に附着して終る。この結合は固定装置として役立っている。すなわち、蠕動や腸収縮の際に、肛門や直腸が頭側に索引されるのを防止し、排糞作用の補助をする。

尾骨肛門筋 *M. coccygeoanal*

巾3mm、厚さ1mm以下の帯状の筋で、仙骨の腹面あるいは背面、さらに第1尾椎から始まる。直腸を斜めに横切るとき、若干の線維を直腸に分ち、肛門嚢と内肛門括約筋の間に扇状に広がり、さらに若干の線維を外肛門括約筋の中にも送り、肛門嚢導管附近で終る。雄では、腹側の一部の筋線維は外肛門括約筋からの線維と一体となって、横紋筋と平滑筋が混合する陰茎後引筋となる。

第2節 外肛門括約筋の神経支配 (Fig. 2)

最後位の腰神経および第1ないし第3仙骨神経 *Nn. sacrales* 腹枝によって、仙骨神経叢 *Plexus sacralis* が形成される。このうち仙骨神経は集って陰部神経 *N. pudendus* となり、隣接する内陰部動脈 *A. pudenda interna* の背位を後方に向かって走り、後直腸神経 *N. rectalis caudalis* (直腸末端、外肛門括約筋などに分布)、会陰神経 *Nn. perinei* (直腸肛門部粘膜、会陰、陰嚢、陰唇などに分布) および雄における陰茎背神経 *N. dorsalis penis* (陰茎背面を亀頭に向う)、雌における陰核背神経 *N. dorsalis clitoridis* (陰核に向う) などの枝を分つ。このうち、後直腸神経は、肛門挙筋の後縁において陰部神経の主枝から別れる短い神経で、外肛門括約筋の中央から僅かに下方において筋内に入る。これが外

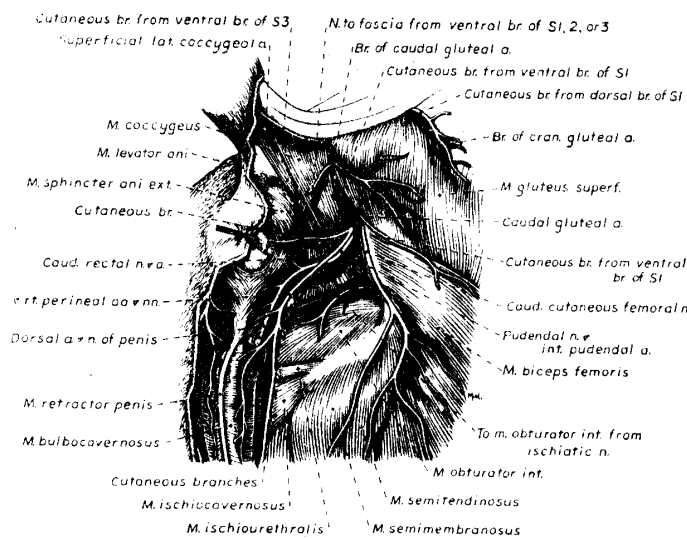


Fig. 2. Nerves, arteries and muscles of the male perineum, caudolateral aspect (quoted from MILLER, M. E.)

肛門括約筋に分布する唯一の神経である。BLAKELY²⁶⁾ (1957) は会陰ヘルニアの手術において、後直腸神経の1側を切断しても格別の変化を示さないが、両側を切断すれば失禁を起すことを認めた、と記載している。BLAKELY の記載を確証するために次の実験を行なってみた。

Epirocaine によつて局所麻酔を施した犬の右側の浅殿筋 *M. gluteus superficialis* を剥離し、その位置で陰部神経を露出分離し、その神経幹に刺激電極（ニクロム線電極、電極間距離 5 mm）をあて電気刺激を加えた。刺激は三栄測器株式会社製 ES-103 型電気刺激装置により、電圧 5 V、持続時間 0.1 msec、頻度 0.5~1 c/s の矩形波とした。

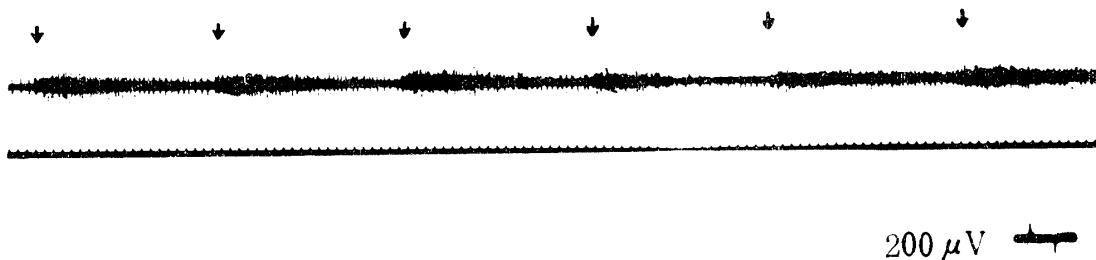


Fig. 3. Electromyogram recorded from the external anal sphincter by electrical stimulation applied to the pudendal nerve (intact)
Arrows indicate stimuli
Time mark, 10 cycle/sec.

健全な犬における刺激による放電の変化を Fig. 3 に示す。刺激に対応して Phasic に放電が現われている。放電はそれぞれの刺激に対し、電位 200~300 μ V の振幅を有する間隔の狭いスパイク放電の斉射となり、後放電を伴い、約 1 秒間強い収縮が現われた。

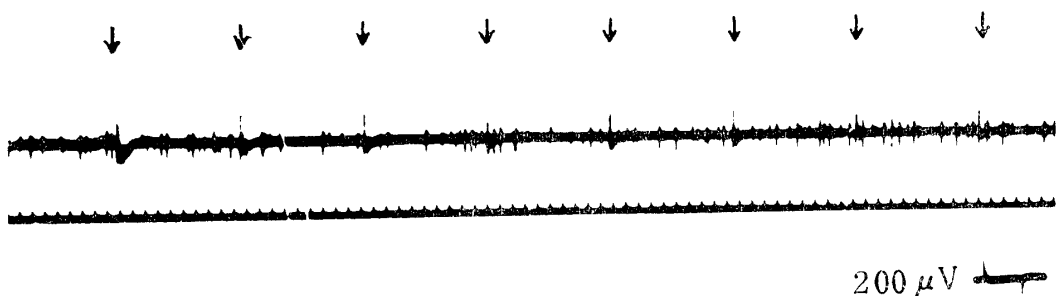


Fig. 4. Electromyogram recorded from the external anal sphincter by electrical stimulation applied to the pudendal nerve (cordotomy)
Arrows indicate stimuli
Time mark, 10 cycle/sec.

また、第 1 腰髄において脊髄を切断した成犬における同様の刺激に対する放電の変化を Fig. 4 に示す。健全な成犬における放電と比較して、刺激前の自発的な緊張性 Tonic の放電は間隔がやや長く、収縮の減弱が認められたが、刺激に対応して電位は著しく増大し 400 μ V におよぶ密度のやや疎なスパイクが現われた。

両側陰部神経を切断し、断端頭側を刺激しても、上述のような放電は現われず筋は全く弛緩した。これらの成績は、陰部神経が外肛門括約筋を支配する神経であることを示している。

小 括

直腸肛門部には外肛門括約筋、肛門挙筋、内肛門括約筋、直腸尾筋、尾骨肛門筋などが所在する。

本研究の対象とする外肛門括約筋は、肛門開口部を輪状に取り巻く横紋筋であるが、骨格との直接の連絡はない。この筋の神経支配は、仙骨神経叢に根部を有する陰部神経であり、この神経を刺激することにより本筋は収縮し、この神経を切断することにより完全に弛緩する。

第 2 章 外肛門括約筋の筋電図

第 1 節 筋電図の誘導と記録

筋電図の誘導方法には、筋内部から直接活動電位を導出する針電極誘導法と、皮膚の表面で活動電位を捕捉する表面電極法がある。前者は、個々の筋の活動電位を分離して誘導することができるので、深部の筋の活動を単独に知り、また単一神経筋単位(単一NMU)の活動を分離するために使用する。ただし、被験筋に特殊の針電極を刺入するので、痛みを伴いしばしば電極の刺入のために発現する活動電位を混合するおそれがある。後者は、銀板または銅板を被験筋を被覆する皮膚上に貼布して電極とする。この方法は痛みを伴うことなく、筋全体の活動をとらえるのに便利であるが、個々の筋の活動を明確に分離することができないので、筋の走向が輻輳する部分では使用できない。

外肛門括約筋は、その位置や収縮様式などからみて、表面電極によって正確な活動を誘導することができ難いので、本研究では活動の有無を検査する場合の外は、針電極誘導法だけを使用した。針電極誘導法は、電極の形と増幅器との接合方式とによって双極および単極誘導法に分つ⁵¹⁾。ここではその両者を使用した。単極誘導法のうち、同心型針電極法では、1/4~1/5の注射針に80~100 μ のエナメル被覆銅線を封入して固定したものを用いた。また単極針電極法では、電極として鉞術用の銀鉞(寸6, 2~5番)にカシューを焼付けて絶縁し、先端を僅かに露出して使用した。また双極針電極法は、腹部皮下に接地電極を刺入し、被覆絶縁した銀鉞2本を関電極とした。

導出した活動電位は、筋電計(電圧、電力増幅器内蔵)に投入して電圧増幅し、ブラウン管オシロスコープにより観察し、また電力増幅ののちスピーカーにより、放電の変化を音として聴取した。使用した筋電計は次の2種類で、共に2現象用である。

青木電子研究所製	52-3型, 54-7型
三栄測器株式会社製	UB-203A型

活動電位の記録は、記録の使用目的によって異なった方法を使用した。1個のNMUのスパイクの波形、持続時間、振幅などを調べる場合は、ブラウン管に装着した1廻どり写真機を用い、単掃引により撮影した。1個のNMUの反復放電活動の連続した記録は、次のブラウン管連続撮影装置およびインク書きオシログラフにより記録した。

三栄測器株式会社製	IR-201型, IR-102型
三栄測器株式会社製	BR-1009型

また、容射放電の大きさを表わすために、手製のIntegrator積分計を用い、積分曲線を同時に描記することも試みた。また、実験は常に電氣的遮蔽室Shield Room内で行なった。

第 2 節 外肛門括約筋の活動様式

骨格筋の健常な活動は、運動神経を介して筋に到達する神経衝撃(インパルス)による。筋は従ってインパルスの表現者、すなわち効果器effectorであるから、筋の活動状態はそれを支配する神経系の興奮の映像とみることができる。健常な骨格筋の随意収縮は、大脳皮質の運動領における興奮により発生するインパルスが、錐体路または錐体外路をへて脊髓前柱に到達し、前柱細胞すなわち運動神経細胞を興奮させ、前柱細胞の興奮により発生したインパルスが運動神経を下行し、神経筋接合部の

興奮を介して筋線維を衝撃し、これを賦活させることにより行なわれる。病的状態における不随意収縮は、皮質運動領野または基底核に発生したインパルスが、同様な径路をとって前柱細胞に到達して筋を興奮収縮させる。また反射的な筋の収縮では、末梢受容器の興奮により発生したインパルスが、求心的に感覚神経を上行し、脳幹または脊髄の反射中枢を介して前柱細胞に達し、運動神経を下行して筋を収縮させる。すなわち随意的、不随意的もしくは反射的な筋の収縮活動のすべてが脊髄の前柱細胞を起点にしていることになる。よって、前柱細胞を体性運動系におけるインパルスの最終共通路 **final common pathway** とし、筋の興奮活動は前柱細胞の興奮活動と同等であり、中枢神経系の興奮活動は前柱細胞または筋の収縮活動に反映されるという考え方を成り立たせるわけである。従って筋電図においては、1個の前柱細胞と、それからでる1本の運動神経と、その支配下にある筋線維群をまとめて、神経筋単位 **Neuromuscular unit** (略して **NMU**, **SHERRINGTON** の運動単位 **Motor unit** と同等) と呼称し、筋の収縮活動における機能的単位としている⁵¹⁾。NMU に含まれる筋線維は、数本ないし数百本を数えるが、興奮はほぼ同時に発現するから、筋電図における1つの放電は NMU 内のすべての筋線維の同期的活動による活動電位の集合であって、共通路の最後の関門になることができる。筋个体 **muscle individual** の収縮活動は、多数の NMU の興奮活動の集合とみることができるので、以下筋个体の収縮活動を多数の NMU の放電叢またはバースト放電によって観察し、前柱細胞の興奮活動を単一 NMU の個々の放電によって観察する。

第1項 外肛門括約筋のバースト放電の性質

外肛門括約筋の放電活動の性質の概要を同心型針電極誘導により観察した。この筋の放電活動は著しく不安定である。また電極の刺入は常に強い痛みを伴うので、未習熟犬は使用に耐えない。供試犬はすべて、電極の刺入、姿勢の保持、重心の移動などについて徹底的に訓練されていなければならない。

(1) **Insertion voltage** と正常放電 : Fig. 5 上は、電極の刺入後の収縮活動が次第に変化し、正常にもどる状態を記録したものである。図にみる通り、電極の刺入と同時に強い放電の斉射が発現し、ついで次第にその密度が減少してやがて数個の NMU の放電のみが残り、おのおのの NMU がやや

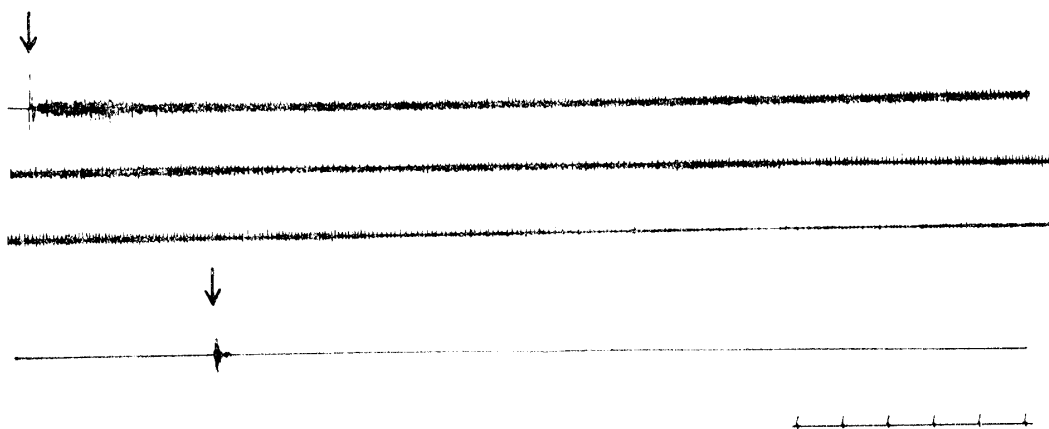


Fig. 5. Insertion voltage

Upper record : *M. sphincter ani externus*

Lower record : *M. gastrocnemius*

Each arrow indicates the site of electrode inserted

Time mark, 1 sec.

長い放電間隔で単調な（おそらく緊張的な）放電活動を持続するようになる。図における最初の高電位放電は、電極と筋組織の機械的な接触によるもので、後続する放電の斉射は、いわゆる **Insertion voltage** である。ただし、この筋の **Insertion voltage** は、他の骨格筋でみられるような電極の刺入時、もしくは筋中での電極先端の移動によって発生する経過の短い **Insertion voltage** の放電様式と異なる。Fig. 5 下は腓腹筋に電極を刺入した時の **Insertion voltage** で、機械的な原因による電位変動と活動電位が分別できない短時間の斉射で終わっている。おそらく電極の刺入による痛みも重複して、刺入と同時に筋全体が強い収縮を起し、その収縮が暫時持続してから徐々に弛緩し、電極刺入前の緊張性収縮に移行してゆくのであろう。この状態は、同じ操作を何回繰り返しても全く同様に反復される。**Insertion voltage** と収縮による放電との境界は常に不明瞭で、正常の状態における活動は、電極刺入後数分を経て放電の安定した状態を指標にとる以外によい方法はない。

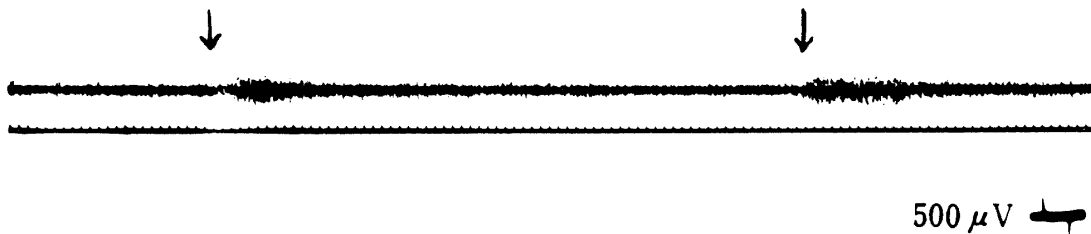


Fig 6. Electromyogram of the external anal sphincter showing the response to the tactile stimulation upon the circumanal region (intact)
At each arrow the circumanal region was touched with fingers
Time mark, 10 cycle/sec.

(2) 正常放電の変化：この筋は、電極を刺入して放置しておいても間断なく放電活動を持続しているが、しばしば放電の密度が変化する。変化の原因は意味のない動作である場合もあり、身体に手を触れることである場合もある。(a) 会陰部に対する刺激 電極を刺入し、安定な放電を記録しながら会陰部に指を触れてみる。安静時 $100\sim 200\ \mu V$ の振幅で持続していた放電が指を触れると同時に急激に振幅を増大し、1秒以上にわたって強い収縮活動を起した。筋電図の上では **Phasic** な収縮に伴って発現する **Interference voltage** である。同時に肛門が緊縮する場合もあり、緊縮を弁別できない場合もあるが、活動電位の密度は常に増大した。会陰部に対する触刺激は、常に筋の活動を増強するように作用した (Fig. 6)。触刺激による収縮の増加の後、刺激前の緊張的な放電への移行は緩徐で、放電数が徐々に減少していった。(b) 腹腔内圧の上昇による放電の変化 本筋の主な役割は肛門口を閉じ、排糞を抑制することにある。排糞の誘発が腹腔内圧の上昇に関係すると思われるので、次の実験を行なってみた。犬に意識的に腹部に力を加えることを命じることは不可能であるから、腹部を外部

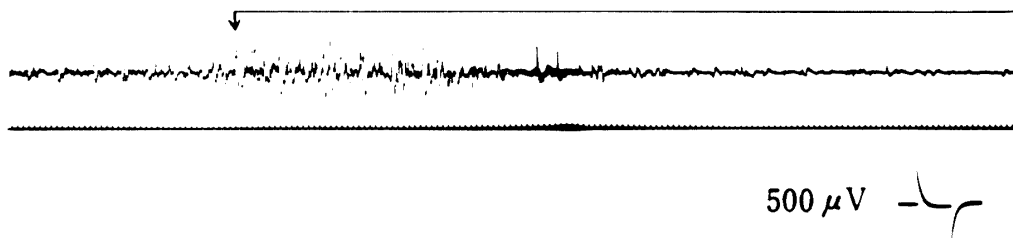


Fig. 7. Influence of raising intra-abdominal pressure on the discharges in the external anal sphincter
At arrow the abdomen was pressed with a palm
Time mark, 100 cycle/sec.

から圧迫することにより，腹腔内圧を上昇させることを試みた．Fig. 7 の ↓ 印が腹部の圧迫を開始した位置を示す．加圧と同時に間隔 $50\sim 70\text{ ms}$ ，振幅 $300\ \mu\text{V}$ の恒常な収縮活動中に，振幅 $500\ \mu\text{V}$ の高電位の放電が短い放電間隔で一斉に活動に参加し，しばらくの間 Interference voltage となるが，長く活動を持続することはなく， $1\sim 2$ 秒で急速に放電間隔が延長し，2 秒後には著しく活動を減弱して遂には electric silence の状態になる．腹腔の内圧を急に増加することにより，一過性の放電活動の増強とそれに続く活動の抑制が起ることがわかる．(c) 直腸内圧の増加による放電の変化 気道管の Cuff をバルーンとして用い，肛門から挿入し，直腸内で膨脹させて加圧した．挿入位置は比較的浅くした．Fig. 8 の矢印の間が加圧の位置を示す．これによってバースト放電の振幅の減少と放電間隔の延長が起り，活動は明らかに抑制されたが，加圧を停止すると再び加圧前の状態に復帰し，緊張性の放電活動が持続した．

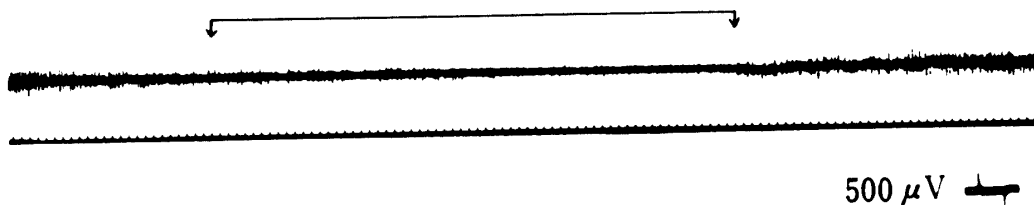


Fig. 8. Influence of raising intra-rectal pressure on the discharges in the external anal sphincter

The part between the two arrows shows the period of maintained distention of rectum by air inflation
Time mark, 10 cycle/sec.

筋に対する直接刺激（電極刺入），近隣組織への刺激（会陰触刺激）は，いずれも筋の活動を増強するように働き，腹腔，直腸内圧の増加は逆に活動を減弱するように働き，この筋の作用を素直に反映した．活動の変化からの復帰はいずれの場合も緩徐であった．このことは，本筋の活動が持続的な緊張性収縮を基盤にして，その上に相働性の収縮を加重することを裏書きしている．

第2項 単一 NMU の活動様式

筋活動の機能的単位は，個々の NMU のスパイク放電として表現する．本筋の放電活動を，一芯の同心型針電極で誘導し，個々のスパイク放電を分離して記録すれば Fig. 9 のごとき活動電位をえる．収縮の強さに応じて放電間隔が増大もしくは減少し，放電に参加する NMU の数が変動することは他の骨格筋と全く同様である．収縮の強弱にかかわらず，個々の NMU が一定の波形，振幅および持続時間をもつことは当然である．本筋の単一 NMU は多くの場合 2 相性で，持続時間は $4\sim 6\text{ ms}$ ，振幅は $300\sim 500\ \mu\text{V}$ である．スパイク放電の波形，振幅および持続時間は，誘導の条件，例えば筋線維群に対する電極の相対的位置，刺入の深さ，誘導電極の形式もしくは増幅器の種類などによって多少異なることがある⁵¹⁾が，

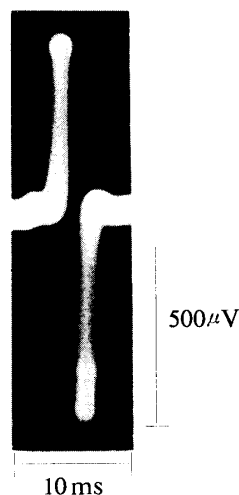


Fig. 9. Discharge pattern led from single NMU

電極の横断面の直径が $80\sim 100\mu$ であって、横断面が筋線維に平行である場合は、同心型針電極で誘導する限り、2相性のスパイク放電になる。前掲のスパイク放電は従来、人や動物の骨格筋から導出された正常な NMU と比較して、何らの差異は認められない。以後取扱う放電間隔の計測はこのような単一 NMU のスパイク放電を対象にした。

第3項 放電間隔時系列の性質

50サイクルを時標として、単一 NMU の放電を連続して長時間記録する。この記録における各スパイク間の距離、すなわち放電間隔を放電の順序に従って測定し、横軸に放電間隔の番号をとり、縦軸に放電間隔をとってグラフに表現する。これが放電間隔図 Discharge interval diagram である。放電間隔図は NMU の活動も統御する神経機構の活動の様相を反映すると考えられており、その解釈のために特別な方法が考案されている^{32-33), 49-52)}。一般に骨格筋においては、1つの NMU の放電間隔ダイヤグラムは、見掛け上不規則な数字の系列であるが、それを構成する要素が2種類あって、これが重畳して、不規則な概観を呈すると考えられている。2種類の要素を緩慢な動揺 Slow undulation と、不規則な変動 Irregular fluctuation とする⁵¹⁾。

(1) 本筋の放電間隔ダイヤグラム : Fig. 10
A は平均放電間隔 (各放電間隔の総和をその数で除したもの、 τ と表現する) の異なる3つの NMU の放電間隔時系列である。いずれも、規則性のない変動を反復している。このダイヤグラムにつき前述の2つの要素を分離するには、放電間隔ダイヤグラムに適当な長さの算術的移動平均を1回または数回施して、移動平均値を求める。実測値からそれに対応する移動平均値を引き去って差を求める。前者すなわち移動平均値の系列が Slow undulation であり、後者が Irregular fluctuation である。B は Slow undulation, C は Irregular fluctuation で当然 B と C の和が A になる。図でみる通り、平均放電間隔の長い系列ほど Slow undulation の振幅が大きく、平均放電間隔が短いほど動揺の幅が狭い。Irregular fluctuation の変動の幅もまた、平均放電間隔が短い系列ほど狭く、平均放電間隔が延長するに従って変動の幅が増大することがわかる。

(2) 本筋の τ -S 曲線 : 緩慢な動揺はダイヤグラムの平均経過を示し、後述する通り動揺の振幅と形に意味があるが、不規則な変動の振幅もまた、NMU の反復放電の神経的統御に密接な関係をもつと考えられている。ただし、変動

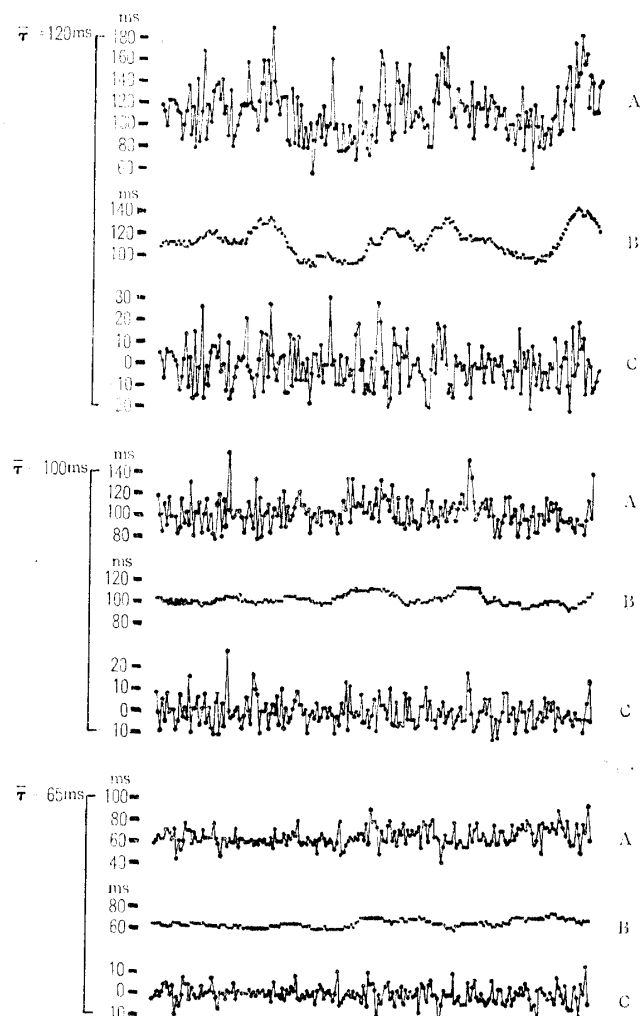


Fig. 10. Diagrams of discharge intervals
A, Original time-series
B, Slow undulation
C, Irregular fluctuation

の内容ははなはだしく複雑であるから、そのままの取扱いは不便である。よって、次の公式によって統計的代表値をもって変動を表現し、その性質を論議する。1つの系列の変動の幅を表わすために標準偏差 (S) を求め、その系列の平均放電間隔 ($\bar{\tau}$) と対応させれば、 S は $\bar{\tau}$ に比例して増加する。数多くの系列の S と $\bar{\tau}$ を求め、各系列を代表する相関点を1つの図にまとめれば S と $\bar{\tau}$ の相関図を描くことができる。

$$\bar{\tau} = \bar{x} = \sum x_i / N$$

$$S = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / N}$$

但し、 x_i は測定値、 N は総数を示す。

Fig. 11 は、同じ犬の本筋からえた数多くの単一 NMU の放電間隔ダイヤグラムにつき S と $\bar{\tau}$ を計算し、1つの相関図にまとめたものである。個々の点を $\bar{\tau}$ - S 点と呼称し、 $\bar{\tau}$ - S 点の密度の高い所を通る

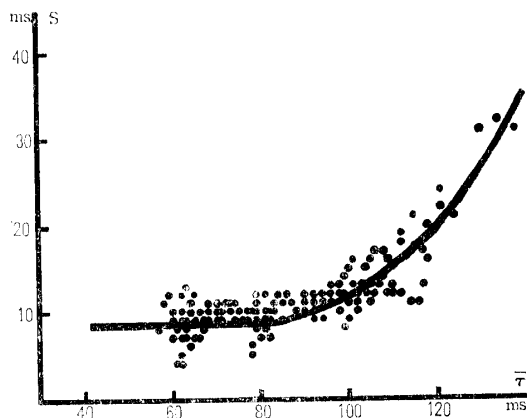


Fig. 11. Diagram showing the $\bar{\tau}$ - S curve during the normal standing

$\bar{\tau}$, Average of discharge-interval-time-series of single NMU

S , Standard deviation of discharge-interval-time-series of single NMU

ような滑らかな曲線を引くと、その曲線は、 $\bar{\tau}$ の短い部分で横軸に平行で、 $\bar{\tau}$ の大きな部分で斜めに上昇してくることがわかる。前者を水平部分 Initial plateau、後者を上昇部分 Upward limb と呼ぶ。 $\bar{\tau}$ - S 曲線に、水平部分と上昇部分を区別できる意味を、原系列にひきなおして解釈すれば、平均放電間隔がある値に達するまでは放電間隔のばらつきが一定に保たれているが、それ以上に延長すれば、急速に変動の幅が大きくなることを物語っている。 $\bar{\tau}$ - S 曲線のもつ性質は、種々の骨格筋について詳しく調べられており、その位置の変化や傾斜の度合などについて、神経機構の面から詳しい考察がされている^{8~11)14~16)29)34)49~52)}。

Fig. 11 の $\bar{\tau}$ - S 曲線は安静な駐立姿勢を維持している1頭の成犬から、数多くの NMU の放電を誘導して作成したものである。この曲線は、以下各

種の条件づけを行なう場合の日安とするので、これを正常曲線 Normal curve と呼ぶことにする。人の骨格筋の $\bar{\tau}$ - S 曲線は、筋の機能の差によってその位置と傾斜が異なり、また同じ筋について性質の異なる K および T 2本の曲線があることが知られている。しかし、犬の骨格筋では K, T 曲線の弁別が付き難く、一般にこれを区別せず、それぞれの筋について1本の $\bar{\tau}$ - S 曲線を与えることにしている³⁴⁾。本筋の場合も同様で、その $\bar{\tau}$ - S 曲線は Fig. 11 に示すように 80 ms の平均放電間隔までの水平部分と、90 ms を越えてゆるやかに傾斜する上昇部分をもっている。

(3) $\bar{\tau}$ - S 曲線における個体差：同一名の骨格筋であっても、それぞれの $\bar{\tau}$ - S 曲線の位置が異なり¹⁵⁾、傾斜の程度に差があり、また個体差が認められる。個体差の原因の最も大きなものは、年令と筋に対する訓練の程度であるが、この筋について同様の説明が成り立つかどうか詳らかでない。Fig. 12 は、臨床的に異常のみられない成犬6頭について求めた駐立時の $\bar{\tau}$ - S 曲線である。供試犬は、いずれも実験に供試する前に、長期間電極の刺入や、駐立姿勢の保持に関して訓練をしたものであるが、訓練の効果には多少の差がある。图中、No. 1, 2 および6号犬は、No. 3, 4 および5号犬に比べて、よりよく実験に習熟していたと認められたが、それを裏書きするように、 $\bar{\tau}$ - S 曲線は、この3頭の方が他の3頭よりも水平部分が長く、上昇部分の勾配がゆるやかである。本筋の働きの面からみ

て、これを直ちに訓練による効果とみなす訳にはゆかないが、他の骨格筋の τ -S 曲線と同様の配列であるから、全く無関係であると断言する訳にもゆかない。

本筋の放電間隔時系列は、他の骨格筋と全く同じ性質をもっている。個々の NMU の τ -S 点を集めて作成した τ -S 曲線は、水平部分と上昇部分を区別しうる、骨格筋と同様の形式のものである。 τ -S 曲線の位置と傾斜には、個体差があるようにみえるが、水平部分はおよそ τ が 80 ms までで、上昇部分の傾斜は、 τ が 120 ms に対し S が約 20 ms で、傾斜はゆるやかである。

小 括

同心型針電極により誘導した単一 NMU は、持続時間 4~6 ms、振幅 300~500 μV の 2 相性放電として記録される骨格筋 NMU と同様のものである。本筋は、作用上定常な Tonic な放電を、常時継続的に発現する。電極の挿入により発現する Insertion voltage は、持続時間が長く、常時の Tonic 放電に移行する境界が明らかでない。Tonic 放電は、腹腔、直腸内圧の上昇により electric silence の状態になり、肛門周辺の触刺激により増強する。単一 NMU の放電間隔時系列もまた、骨格筋と同様のものであるが、その τ -S 曲線は、すべての骨格筋より水平部分が長く、本筋の活動に、Spinal 要素の関与が著しく大きいことを示す。

第 3 章 外肛門括約筋の機能

第 1 節 外肛門括約筋の機能分化

1 つの骨格筋が、機能の異なる 2 つ以上の筋線維によって構成されているという考え方は、組織学的研究によって知られている、白筋と赤筋の差異、前柱細胞の大きさの差異、末梢神経の太さの差異、などから推定され、また生理学的な研究による筋線維の収縮速度、および収縮曲線の差異、末梢神経の伝導速度の差異、薬物に対する反応の差異、などから実証されてきたのであるが⁵²⁾、少なくとも、Rapid component と Slow component が存在して、機能的に分化していることがわかってきた。そして筋電図学的研究が筋の機能の解析に利用されることによって、NMU の活動の面から、機能上の分化に対する考え方が、さらに強い支持をうけることになった。前章に述べた τ -S 曲線は、とくに機能分化の証明の方法として、一般に使用されているので、この方法を用いて、本筋の機能分化について詳しく検討してみた。

Fig. 13 の τ -S 相関図は、同一の成犬を用いて、棘上筋 *M. supra spinam*、腓腹筋 *M. gastrocnemius* および本筋のおのおのから、多数の NMU の放電間隔時

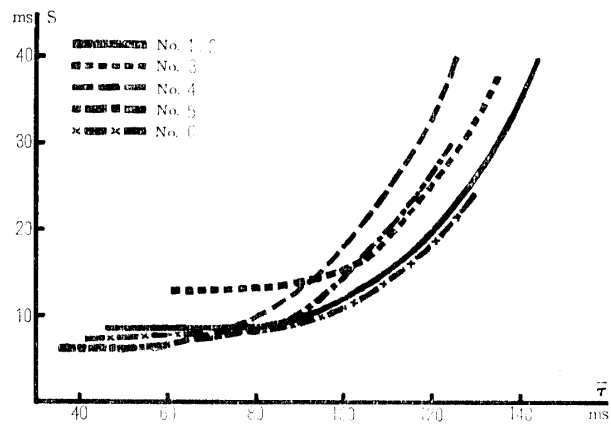


Fig. 12. Diagram showing the individual difference in the situation of the τ -S curve

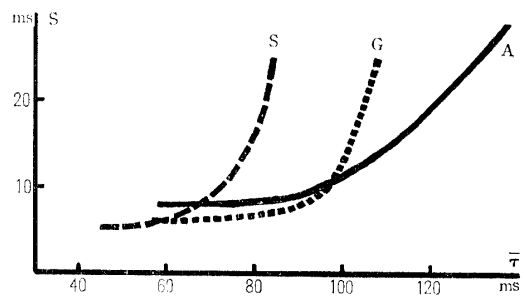


Fig. 13. Diagram showing the τ -S curve in the external anal sphincter compared with fore and hind limb muscle
 S : *M. supra spinam*
 G : *M. gastrocnemius*
 A : *M. sphinctor ani externus*

系列を求め、それぞれの $\bar{\tau}$ -S 相関図を作成して、前章の方法に従って求めた τ -S 曲線である。一見、おのおのの筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線の位置、および傾斜が著しく異なることがわかる。すなわち、棘上筋の τ -S 曲線は、平均放電間隔が 60 ms を越えれば上昇部分が現われ、 $\bar{\tau}$ が 80 ms の時に S が 20 ms 以上となり、90 ms 以上の平均放電間隔を有する NMU は、ほとんどえられない。また、腓腹筋の水平部分は $\bar{\tau}$ が 80 ms までで、100 ms から急に傾斜を強くして上昇部分に移行している。これに対して本筋の水平部分は、腓腹筋よりも一層長く 90 ms を越えて次第に上昇部分に移行するが、傾斜ははるかにゆるやかで、平均放電間隔が 120 ms を越える NMU も数多く出現してくる。従って、 τ -S 曲線の位置的な関係は、前肢筋、後肢筋および本筋の順に、左側から右側に向って配列している。

時実⁵⁰⁾は、個々の骨格筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線の位置関係について、PENFIELD & RASMUSSEN による、ひとの脳皮質における運動再現部位の広さの配列と全く同様の関係を見出し、再現部位の広い部位に存在する筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線が、左方に偏位していることを明らかにした。また、 τ -S 曲線の左偏して位置する筋ほど、脳皮質運動領第 4 野の支配（これを Cortical 要素という）を多くうけ、繊細で敏捷な運動ができ、右側に偏在する $\bar{\tau}$ -S 曲線をもつ筋は、第 4 野以外の神経機構の支配（Spinal 要素という）を多くうけ、持続的な収縮に適する、と述べた。この考え方に従えば、個々の筋の τ -S 曲線の位置を決定することによって、その筋を支配する Cortical 要素と、Spinal 要素の多寡を決定することができ、また筋活動に変化が起った場合、その活動に対する神経機構の支配の要素が、Cortical または Spinal 要素のいずれを多くうける状態に変化したか、を推定することも可能になる。同様の考え方を、Fig. 13 に示した棘上筋、腓腹筋および本筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線の配列の順序に適用してみると、本筋は 3 種の筋のうち、最も多く Spinal 要素の支配をうけ、従って、随意的な敏捷な運動に不適當であるが、持続的な収縮には適している、と説明できる。前章に述べた本筋の活動の態度は、この推論に合理的に説明できると思われる。KAWAKAMI¹⁴⁾が、ひとの外肛門括約筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線についてえた結論は、これと全く同様である。KAWAKAMI が分離しえた、 $\bar{\tau}$ -S 曲線の K および T 曲線に相当する要素は、犬においてはやはり分離しえなかった。

要するに、本筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線は、前肢筋、後肢筋のいずれよりも水平部分が長く、上昇部分の傾斜がゆるやかで、その位置がはるかに右側に偏在し、その収縮活動は、より多くの Spinal 要素、すなわち随意運動を支配する脳皮質運動領野以外の神経機構の支配をうけており、相働的な運動には適しないが、緊張的な持続的収縮活動に適合している、と考えることができる。

第 2 節 発育に伴う機能の分化

筋の機能は、発育に伴って次第に変化するものである。その変化の原因が全く機能的なものであるか、解剖学的実体の発育成長を背景にするものであるか明らかではないが、単に大きさや働き方の強さの変化だけでなく、その筋を支配している神経機構およびその支配下にある NMU の活動様式が変化することも、その原因の一部になっている、と推定される。成犬の $\bar{\tau}$ -S 曲線の位置が最も右に偏し、Spinal 要素の支配が大きく、緊張的な活動に適することは前節で述べたが、さらに発育に伴う機能上の変化の有無を調べてみた。

同腹の仔犬につき、生後 2 カ月から 8 カ月に至る 6 カ月間、毎月 1 回定期的に観察を行なった。この間、電極刺入に対する訓練は行なわなかった。誘導中、駐立姿勢を保持させておくことができなかつたので、手で軽く保持しながら横臥位をとらせた上、できるだけ痛みを伴わないように電極を装着し、放電が単一になって安定するまでまって記録した。

Fig. 14 は、個々の NMU の放電間隔時系列における Slow undulation の経時的变化を、月別お

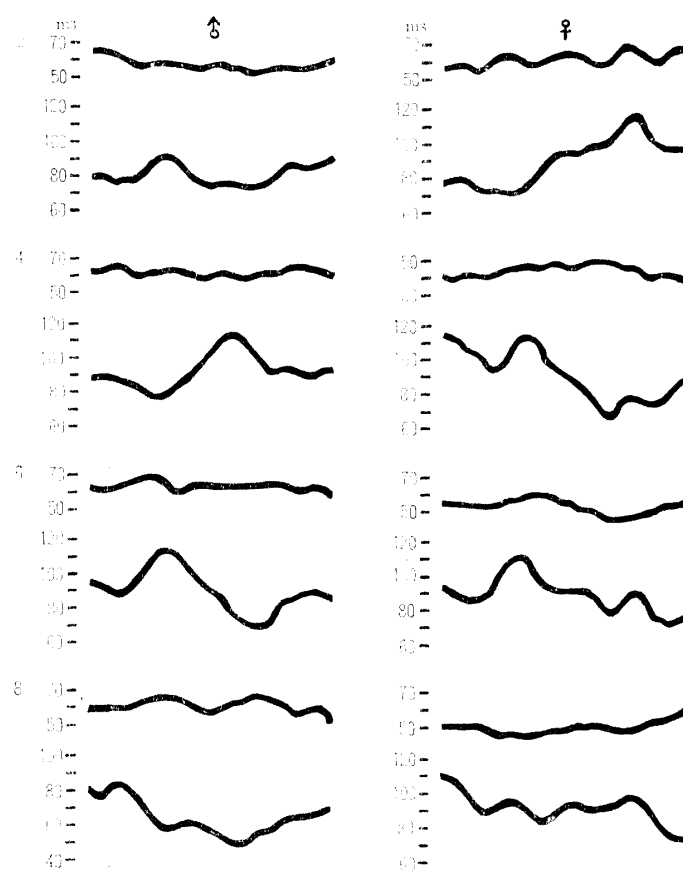


Fig. 14. Diagram showing the change of the slow undulation accompanied by the development

2, 4, 6, 8 : The age of month

よび性別に例示したものである。性別および月令の進行と関係なく、平均放電間隔の短い系列では動揺の幅が狭く、逆に、平均放電間隔の長い系列では動揺の幅が大きく、しかも不規則であった。この状態は、成犬にみられる傾向と全く同様で、雌雄いずれの場合も、月令の増加に伴って変化することはなかった。田場ら⁴⁷⁾は、骨格筋 (*M. gastrocnemius*, *M. quadriceps femoris*, *M. supra spinam*) について、発育に伴う機能の変化を同様の方法で調べ、Slow undulation において発育初期に現われる、振幅の大きな、極めて不規則な動揺が、月令の増加と共に次第に安定して、律動的な動揺に移行してゆく、と報告しているが、本筋ではそのような変化は認められなかった。Slow undulation は、NMU の活動の平均経過を表わし、その動揺の振幅、週期、規則性を決定するのは、上位神経機構の筋活動に対する指定であって³²⁾、これを修飾するのは末梢からの求心性インパルスの多寡である、と考えられている。従って、駐立姿勢を保持するために働く骨格筋が、月令の進行と共に成犬における安定な活動に近づくことをもって、姿勢の維持に対する調節機構の発達を反映していると解釈するのであるが、本筋の Slow undulation が、月令の進行に対して、ほとんど変化しないという結果は、本筋が他の骨格筋のように、活動もしくは働きの面からの訓練、または修飾をうけることなく、その生理的役割が、単純な肛門の収縮活動にある、という理由で、発育の初期に機能的に分化を完成している、という考え方も成り立つ。実際、 $\bar{\tau}$ -S 曲線が左偏し、Cortical 要素の支配を多くうける筋ほど、機能的な分化が遅れるという研究もある¹⁴⁾¹⁵⁾。

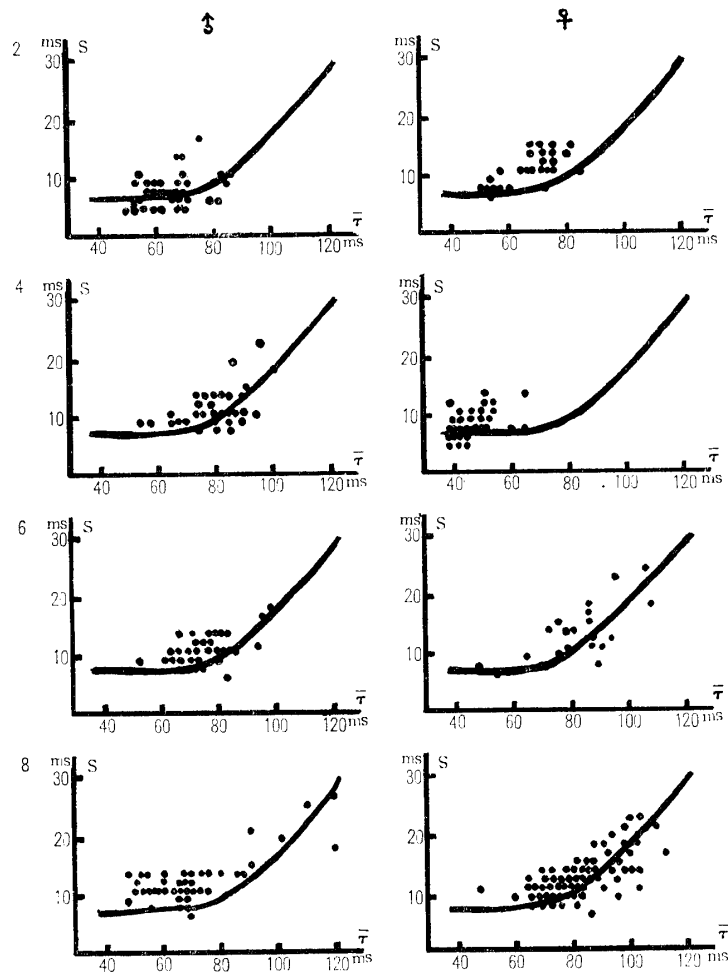


Fig. 15. Correlation chart of τ -S points accompanied by the development 2-8 : Same as shown in Fig. 13

次に不規則な変動の系列の標準偏差を計算し、平均放電間隔を対応させて τ -S 点の相関図上における分布を求めて、機能の経時的な変化を観察した。Fig. 15 がその月別、性別の τ -S 相関図で、相関図に書き入れた曲線は、成犬の横臥姿勢における τ -S 曲線である。各月における τ -S 点の分布は、大体成犬の τ -S 曲線にそって分布し、月令の進行による極端な変動は認められないし、この状態は性別でみても同様である。骨格筋⁴⁷⁾においては、筋の種類による τ -S 曲線の位置の差を除外すれば、月令の進行と共に τ -S 点の分布に系統的な変動がみられる、と報告されている。すなわち、2カ月令の τ -S 曲線を基準にすると、4カ月令ではそれよりもかなり左偏し、6カ月および8カ月令では、逆に2カ月令のものより右に位置してくる。このことは、2カ月令における仔犬の筋活動は、Spinal な神経機構の要素の活動に依存し、成長と共に Cortical な神経活動の要素が加わり、ついで日常の運動や筋の器質的な成長発育によって、Spinal 要素の活動が次第に増加し、 τ -S 曲線が右偏してくると思われる。肛門の持続的収縮と、排糞時における弛緩という簡単な作業は、出生直後から開始され、もしも四肢筋にみられるような機能上の分化があったとしても、2カ月より以前には早くも完了し、以後は緊張的な収縮活動に適合するような形で、器質上の発育がなされるのであろう。この機能分化が、他のすべての骨格筋に先駆けて完了することは、Spinal 要素の支配下にある筋の分化の完了が最も早期に終了する、という従来の考え方に一致し、その作用の特徴を都合よく説明している。

第3節 外肛門括約筋における Corticalization と Spinalization

骨格筋の収縮活動は、皮質運動領の統御と、筋肉や皮膚あるいは迷路などの感覚受容器からの情報に対する中枢神経機構の応答、との複雑なからみ合いを背景にする自動制御的な機序によって営まれている。

ある姿勢を維持し続ける時に働く骨格筋の態度については、正常駐立姿勢を基本型として、これから導かれる種々の起立姿勢について論議がなされている⁸⁻¹¹⁾²⁰⁾³⁰⁾³⁴⁾³⁶⁾。それらによると、如何なる形式であっても駐立姿勢をとらせる限り、筋の収縮活動は、骨格の機構を巧みに利用した抗重力筋の合目的な活動の組み合わせによって維持されるが、姿勢に変化が起る場合は、筋、腱または関節に所在する自己受容器からの求心性のインパルスの量が増加することにより、大脳皮質運動領もしくはそれ以外の中枢神経機構に活動の増加または減少が起り、これがNMUの、すなわち筋の活動の変化として出現してくる、と考えられている。このような筋の活動に対する中枢神経系の支配の差異と、その程度を表わすのに、時実⁴⁹⁾は、Corticalization と Spinalization という新しい考え方を導入した。前者は、随意運動に対する運動領第4野の神経活動を表わし、 $\bar{\tau}$ -S 曲線における左偏化、後者は、それ以外の神経機構、主として脳幹および脊髄における不随意または反射的な神経活動を表わし、 $\bar{\tau}$ -S 曲線の右偏化を惹起するものとして、NMU の活動の変化を説明したのである。

第1項 横臥、犬座、仰臥および腹臥による $\bar{\tau}$ -S 曲線の移動

本筋は、他の骨格筋のごとく拮抗筋もしくは協同筋となって、チームとしての活動に参加することがなく、独特な収縮活動をするのであるが、日常生活の中にある様々な姿勢や動作や運動の中で、直接的ではないが間接的に影響をうけて、それ自体として収縮活動の機序の中に何らかの変化を起してくるのではないかと考える。いいかえれば、本筋においても Cortical 化または Spinal 化の現象が観察されるであろう、と想像するのである。そこで、次の実験を行なってみた。

犬に横臥位、腹臥位、仰臥位および犬座姿勢など、種々の姿勢をとらせて誘導した単一NMUの時系列から、各姿勢における $\bar{\tau}$ -S 点を算出し、それを1つの相関図上にプロットしてみた。Fig. 16 がそれである。個々の姿勢によって分布の仕方に多少の相違はあるが、全体の傾向はほぼ相似し、いずれも正常な駐立姿勢の場合と比較して幾分左寄りに分布している。まず横臥位についてみると、放電叢の密度が増加し、個々のNMUの放電間隔が短縮し、平均放電間隔が110msを越すNMUはほとんど現われてこない。その分布域は、図中に示した正常曲線よりやや左側に偏って分布してくる。腹臥位および犬座姿勢においても、ほぼ同様な変化がみられる。仰臥位をとらせると、放電間隔はさらに短くなり、大部分が平均放電間隔90ms以内のNMUのみが現われ、長い間隔のものは全くみられない。体位が変わることによって放電間隔が短縮し、しかも時系列の変動の幅が逆に増大する。すなわち、これらの点群を代表するような曲線を描けば、正常駐立時の $\bar{\tau}$ -S 曲線に比べて水平部分のより短い、上昇部分のより急峻な曲線がえられることにな

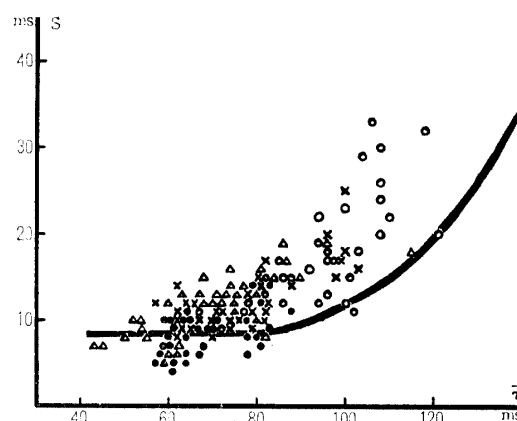


Fig. 16. Distribution chart of $\bar{\tau}$ -S points in various postures

- , Recumbent posture
- , Prone posture
- ×, Supine posture
- △, Sitting posture

る。換言すれば、坐位、臥位などにおいては、駐立時よりも **Cortical** 要素をより多く受けると考えられるような筋活動に変化してくるのである。

第2項 体重の移動による $\bar{\tau}$ -S 曲線の変化

つぎに、駐立姿勢の修飾型であるが、体重を前後に移動した前より姿勢および後より姿勢を保持させて、その時の収縮活動を観察してみた。抗重力筋については、すでに詳しく調べられていて、活動する筋群の分布や筋の活動の強さが異なるだけでなく、訓練の効果がこの方法で明瞭に $\bar{\tau}$ -S 曲線の移動となって現われることが知られている¹⁰⁾²⁹⁾³⁰⁾³⁸⁾。さて、この姿勢をとらせるには、駐立している地盤の頭側または尾側を 25° まで傾斜させるだけでよい。Fig. 17 にみるように、えられた $\bar{\tau}$ -S 点群は併記した正常曲線に比べて、平均放電間隔が短縮し、しかも変動の幅が相対的に拡大し、点群の分布の傾斜がかなり増加している。体重を前または後に偏倚して駐立し続けるために **Cortical** な神経機構の活動の要素が増加するだけでなく、筋もまたその影響を受け $\bar{\tau}$ -S 点群は左に偏って分布し、活動の **Corticalization** を表わすのである。

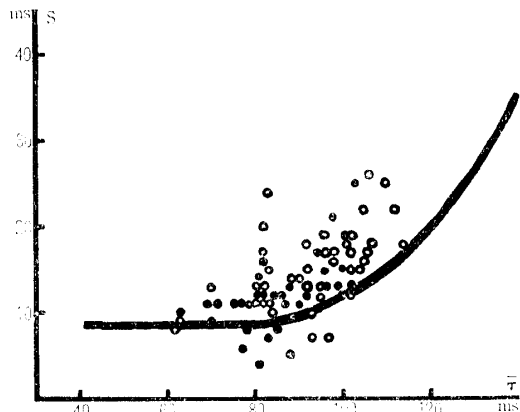


Fig. 17. Distribution chart of $\bar{\tau}$ -S points in forward- or backward-inclined standing posture

- , Forward-inclined standing posture
- , Backward-inclined standing posture

第3項 シーソー運動による $\bar{\tau}$ -S 曲線の移動

駐立する地盤の頭側と尾側を交互に上下し、NMU の活動に現われる変化を観察してみた。すなわち、第1の方法は頭側を徐々に挙上して 25° まで傾斜させ、ただちに水平の位置までもどす運動、第2の方法は頭側を固定して、尾側を 25° まで挙上してから水平にもどす運動を負荷することである。第1法では、正常駐立姿勢と前より姿勢、第2法では正常駐立姿勢と後より姿勢の間の種々の移行型がみられる。地盤の挙上および降下に要する時間はいずれも 1.5 秒としたが、実験に使用した犬は徹底的に訓練した習熟犬であるから、移動がかなり急速であっても、姿勢のくずれや四肢の踏みかえは起らず、極めて滑らかに体重を移動し、誘導した単一 NMU の放電は終始連続して現われた。この時の放電間隔ダイアグラムの1例を Fig. 18 に示した。A は頭側を挙上して前より姿勢をとらせた場合、B は尾側を挙上して後より姿勢をとらせた場合の放電間隔ダイアグラムと、それらの **Slow undulation** である。いずれも地盤の上下を3回反復している間、持続的に活動している1つの NMU の記録である。図中の上向きの矢印は地盤の挙上開始、下向きの矢印は降下開始の時期を示している。併記した **Slow undulation** から平均経過をみると、地盤の移動する以前および終了後の正常駐立時の放電間隔には、四肢の骨格筋にみられる **Swaying movement** に随伴する動揺と思われる不規則な揺らぎがみられる。地盤の挙上が始まると、放電間隔は急速に短縮し、地盤の降下と共に、すなわち姿勢の回復と共に、放電間隔は再び延長する傾向が現われる。とくに、前より姿勢の場合は、間隔の延長と短縮とが規則正しく反復している。重心の前方移動が、後肢の伸筋群の収縮活動の強化により、重心の後方移動がその減弱によって行なわれ、それに随伴してこの筋の活動がその強さを変えていることを裏書きしている。後より姿勢の保持は筋の活動の面からみると、前より姿勢に比べてはるかに複雑であるが、後軀の関節群の中間位保持が主な要素になる。それを反映するように、この運動の負荷の場合は、ゆらぎがやや不規則であるが、やはり同じ運動を行なった場合の後肢の伸筋に現わ

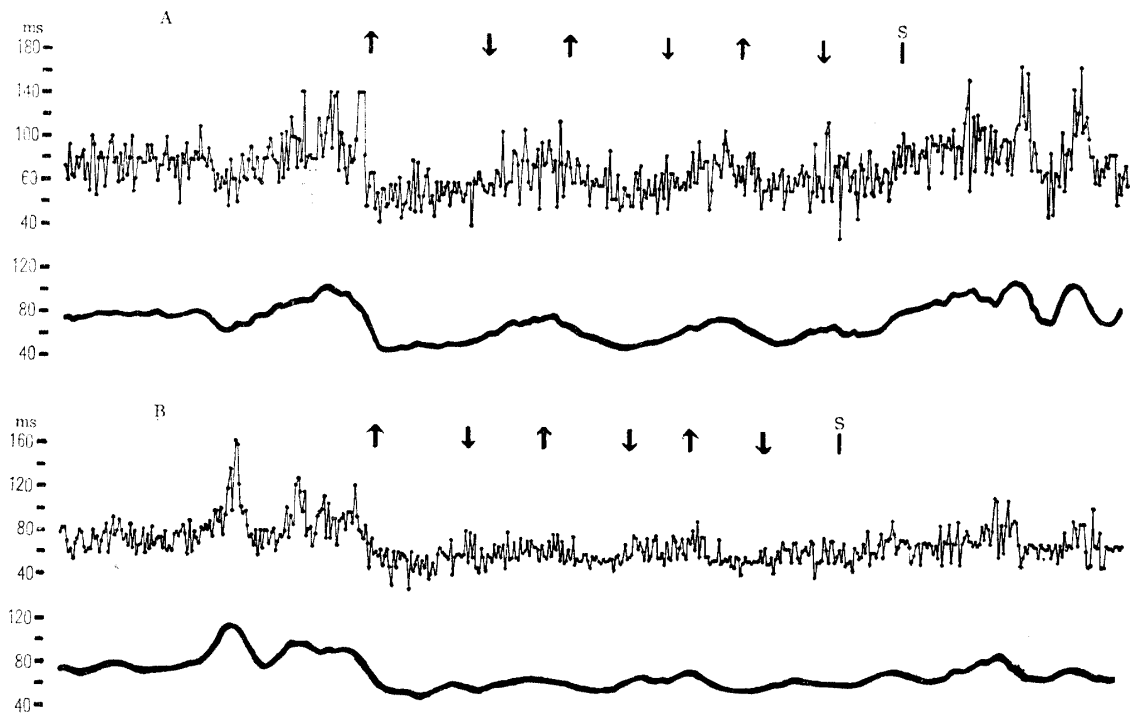


Fig. 18. Diagram showing the original time-series and slow undulation of discharge intervals during the seesaw movement (A, B)
Upper tracing : Original time-series. Lower tracing : Slow undulation

A, Forward-inclined standing posture
B, Backward-inclined standing posture
↑, Lifting of the board
↓, Sinking of the board
S, Stopping of the seesaw movement

れる変化と近似している。放電間隔の Slow undulation は上位中枢の興奮準位の動揺に関連し、また身体の Swaying movement と一致しているといわれるが、そのいずれであっても本筋が後肢の骨格筋の弛張と密接の関係を保って動揺すると考えてよいようである。

つぎに放電間隔の不規則な変動について、 $\bar{\tau}$ -S 点の分布を調べてみよう。Fig. 19 (A, A') に示した $\bar{\tau}$ -S 相関図は、いずれも 1 回の実験における NMU の放電間隔時系列の全体の数値をそのまま使用して計算したものである。頭側を挙上した場合 (A) でも、逆に尾側を挙上した場合 (A') でも運動中の $\bar{\tau}$ -S 点 (白丸) は、平均放電間隔の短い側に偏っていて、駐立姿勢の維持におけるよりもより強く本筋が収縮していることを示している。Fig. 19 (B, B') は、原系列から Slow undulation を除いた残り、すなわち Irregular fluctuation から求めた $\bar{\tau}$ -S' 相関図である。前の場合よりもはるかに放電間隔の変動の幅が減少しているが、 $\bar{\tau}$ -S' 点の分布はおよそ正常駐立時の $\bar{\tau}$ -S' 曲線の周辺に分布している。地盤の動揺に対する平衡とりのための身体の動揺の振幅の増大となっているほかに、 $\bar{\tau}$ -S 点の分布の左偏が起っているように見える。なかんづく、前より姿勢からの回復における $\bar{\tau}$ -S 点の左偏が強いようである。また尾側の挙上の場合をみると、 $\bar{\tau}$ -S 点の分布はおよそ正常駐立姿勢の維持時の $\bar{\tau}$ -S 曲線に沿って分布するか、またはそれ以上の変動の幅が減少している。 $\bar{\tau}$ -S 点の移動に限って言えば、前者では重心の移動を積極的な神経活動によって行ない、従って、NMU の活動の Corticalization を誘発し、後者は平衡維持を被動的な形で行なうために、逆に NMU の活動の Spinalization が起っているとみなせないこともない、いずれにしても、駐立する地盤に随伴させることによって、

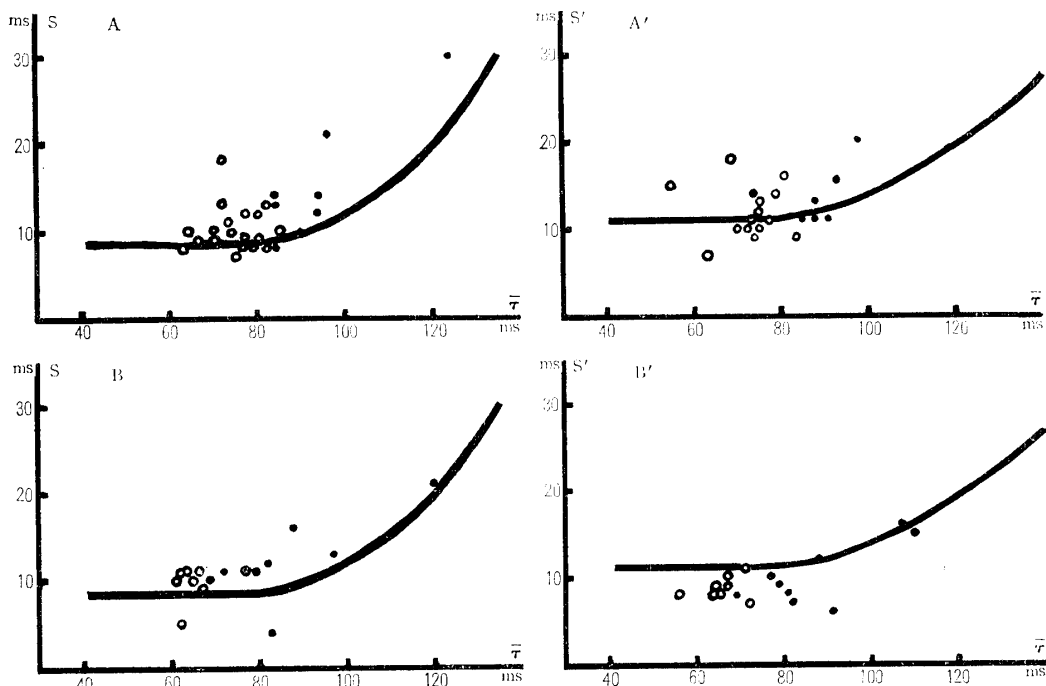


Fig. 19. Correlation chart of \bar{T} -S points during the seesaw movement

- A, A' : Forward-inclined standing posture
- B, B' : Backward-inclined standing posture
- , During the seesaw movement
- , Before and after the seesaw movement
- S, Standard deviation calculated from the original time-series
- S', Standard deviation calculated from the irregular fluctuation

姿勢の維持に関連がないと思われる本筋の活動の中に、それを支配する中枢神経の活動の交代を誘発することができるということは、極めて興味深い知見である。

骨格筋の随意運動における **Cortical 化** と **Spinal 化** は、機能分化の面からの数多くの研究があって、諸家の意見はほぼ一致しているが、本筋のそれを被動的な運動または姿勢の保持の中から導き出すことができたのは新しい知見である。そして、固定した形式での姿勢の保持がおおむね **Corticalization** をひき起し、運動を加えるような形式での姿勢保持が、重心の積極的な移動の場合は **Corticalization**、被動的な負荷の維持が **Spinalization** に傾くという事実は、体制の保持の機序から考えても納得できることである。

第4節 外肛門括約筋の活動に対する薬物の作用

本筋は横紋筋であって、体性運動系の支配を受ける。従って、本筋の収縮活動をひき起すインパルスは、常に最終共通路である前柱細胞を経由し、インパルスの原因が中枢由来のものであっても、反射中枢由来のものであっても反応の形式は同様であって、促進あるいは抑制のいずれかを示すことになる。この点は骨格筋の収縮活動と全く同様に考えてよいから、本筋の薬物に対する反応の態度も骨格筋と同様に考えてよいと思われる。もしそうであるとすれば、本筋の独特の性質として既に述べたように、協同的な活動という面での他の筋との競合がないから、筋の反応を単独でみるための材料として極めて都合のよい標本になりうる。よって、本筋の薬物に対する反応を知っておくことは意味があると思われる。薬物は、中枢神経系興奮薬として **Methamphetamine** および **Caffeine, Choline-**

sterase 抑制薬として Prostigmine, そして中枢神経系抑制薬として Chlorpromazine を使用した.

第1項 Methamphetamine に対する反応

Methamphetamine は, Philopon として知られている覚醒アミンの1種で, Adrenalin の誘導体であるが, Adrenalin とその生機的作用を著しく異にする. 交感神経末端に対する刺激作用は弱いが中枢神経刺激作用は著しく強い⁴⁶⁾.

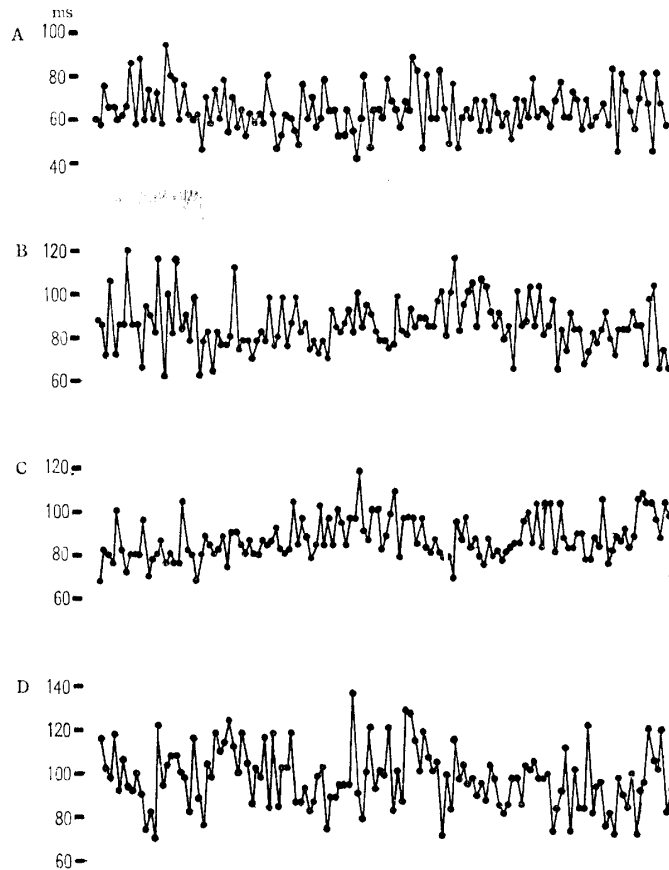


Fig. 20. Effect of subcutaneous injection of Methamphetamine on the discharge intervals

Dose, 1mg/kg

A, Before injection

B, 30 minutes-1 hour after injection

C, 1.5 hours after injection

D, 2.5 hours after injection

投与量は, 5 mg/ml のものを 1 mg/kg の用量で皮下注射し, 注射後2時間 30分まで駐立姿勢において観察を行なった. Fig. 20 は, その時の放電間隔ダイヤグラムの経時的变化の例である. 注射後1時間までの経過では, 大体注射前と変わらないが, 1時間30分を経過して, 平均放電間隔はほとんど同等であるにも拘らず, 変動の幅が著しく狭くなって来る. しかし, 2時間30分に達すると, 再び注射前と同様の変動の幅に復するか, または逆に平均放電間隔の大きさに対する相対値ではかえって変動の幅が増大している. 時間経過に伴う本筋の活動の変化をさらに詳しく知るために, 原系列から緩慢な動揺を分離してみた. Fig. 21 は Fig. 20 の放電間隔ダイヤグラムの緩慢な動揺である. すなわち, 不規則な変動の幅が明らかに減少しているとみられた1時間30分の段階でも, 緩慢な動

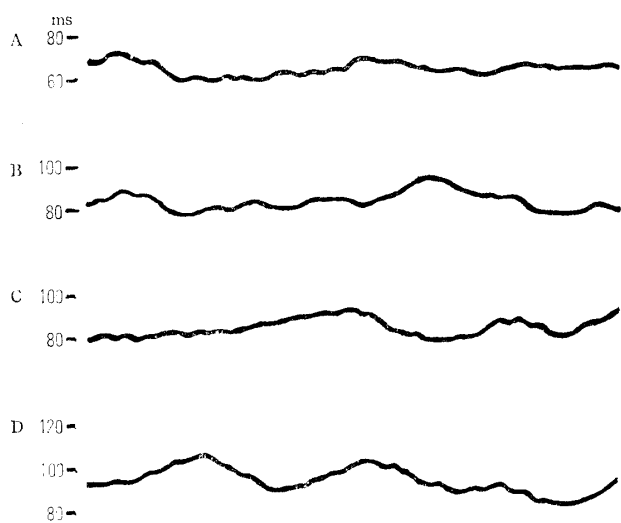


Fig. 21. Effect of subcutaneous injection of Methamphetamine of the slow undulations
Dose, A-D : Same as shown in Fig. 20

一致している。注射後2時間30分を経過すれば、 τ -S点群は再び注射前の状態にもどるか、さらに変動の幅を増大してCortical化の傾向さえみえるが、その原因については明らかでない。

揺の幅は少しも減少していない。そこで、今度は時間毎に区切った数多くの放電間隔の系列から τ -S点を計算し、正常曲線に対する分布の変化をみてみると (Fig. 22), 原系列において巨視的に変化の認められた1時間30分における τ -S点は、正常曲線よりも明らかに右側に分布域が移動して、Spinalizationすなわち筋活動に対するSpinal要素の増加が起っていることを示している。筋活動のSpinal化は、中枢運動領野の随意運動に対する指定が減弱し、脳幹、脊髓を中枢にする反射的な活動が強化し、筋の収縮活動がTonic化してくることを意味する。この成績はMethamphetamine投与時における骨格筋の収縮活動のtetanicを証明した大久保ら³⁹⁾の成績と

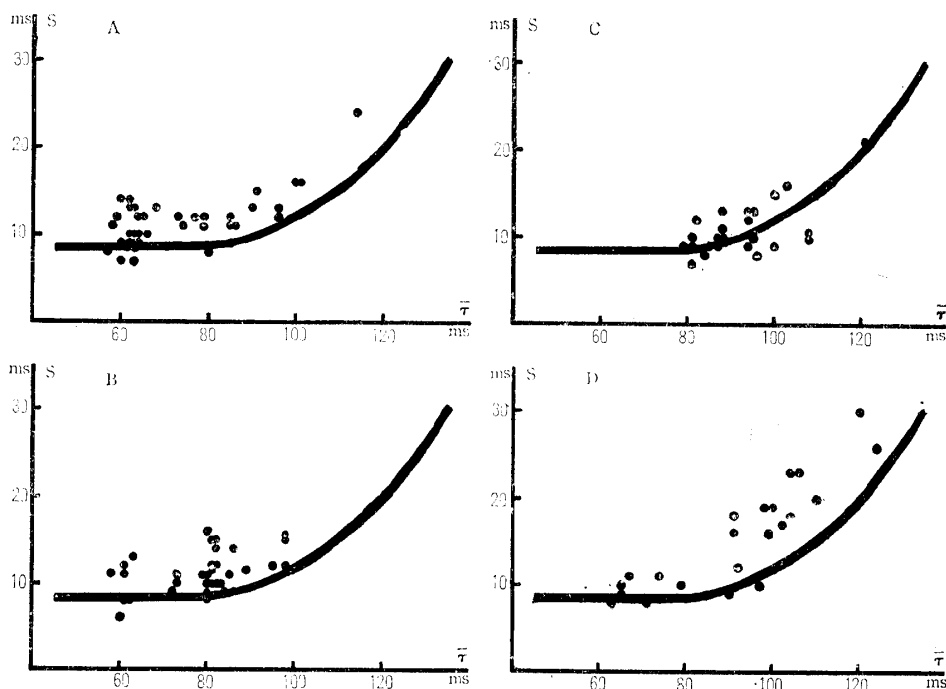


Fig. 22. Effect of subcutaneous injection of Methamphetamine on the τ -S points
Dose, A-D : Same as shown in Fig. 20

第2項 Caffeine に対する反応

Caffeine は中枢神経系のすべての部分に刺激的に働き、作用は大略下行性で、大脳皮質ついで延髄に及び、大量では更に脊髓を賦活する。

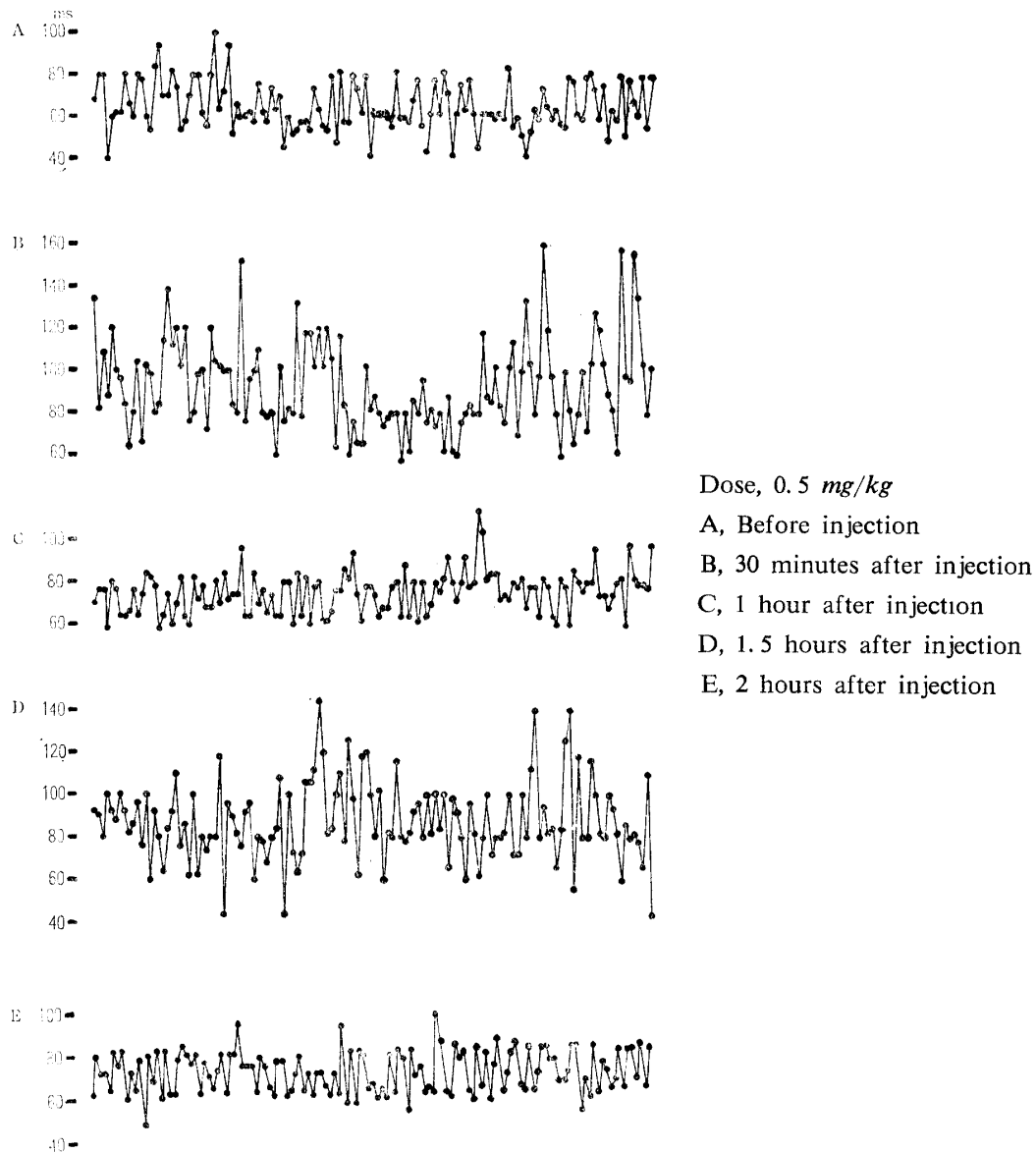


Fig. 23. Effect of subcutaneous injection of Caffeine and Sodium Benzoate (CSB) on the discharge intervals

投与したのは安息香酸ナトリウムカフェイン（アンナカ，CSB）で，Caffeine 実量 0.5 mg/kg を皮下に注射した。Fig. 23 は投与後の放電間隔ダイヤグラムの経時的变化を示したものである。中枢興奮薬であるが，Methamphetamine の場合とは変化の現われ方が異なり，注射後約 30 分の比較的早い時期と，1 時間 30 分頃に，放電間隔の変動の幅が著しく増大している。このダイヤグラムから緩慢な動揺を算出して配列してみると，Fig. 24 の通り，前述の 2 つの時期では動揺の幅が甚だ広く，しかも不規則である。緩慢な動揺が上位中枢の興奮レベルの変動を反映するという仮説をいければ，この図はその変動の発生を明らかに示すものである。実際 Caffeine を投与された犬は，刺激に敏感に反応し，活潑な動作を現わしたが，直接，中枢の興奮と結びつける客観的な証拠はなく，推定の範囲をでない。つぎに残りの時系列から τ -S 点を求め，その分布をみると，Fig. 25 でみる通り， τ -S 点の分布域は正常曲線よりもはるかに左方に偏し，明瞭な Corticalization を示している Caffeine の中

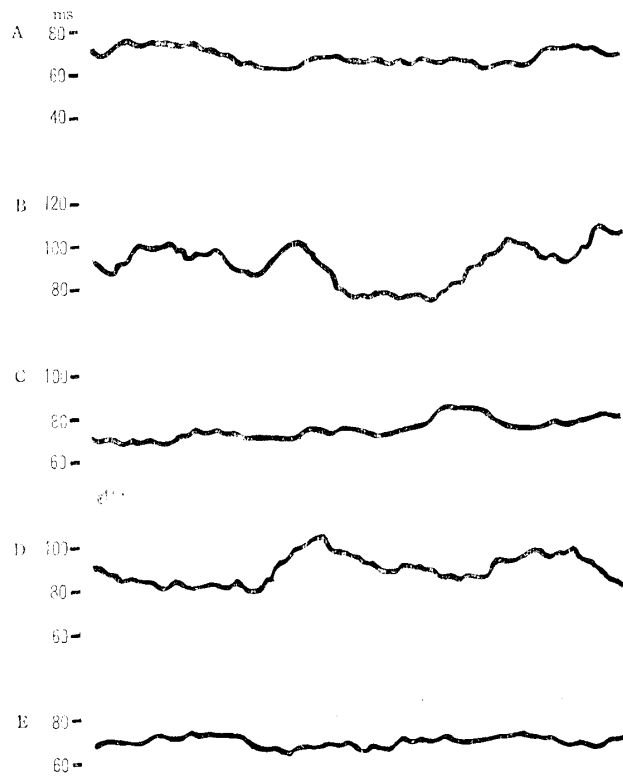


Fig. 24. Effect of subcutaneous injection of CSB on the slow undulations
Dose, A-E : Same as shown in Fig. 23

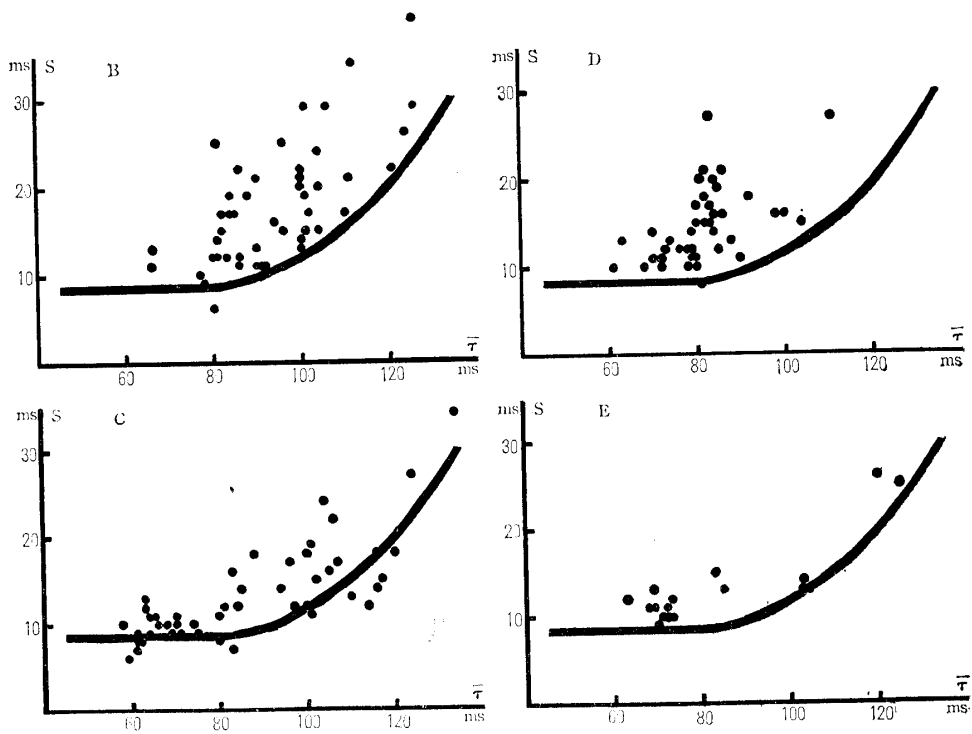


Fig. 25. Effect of subcutaneous injection of CSB on the τ -S points
Dose, B-E : Same as shown in Fig. 23

枢運動系の賦活作用は、筋収縮の **Cortical** 化として現われ、前述した **Methamphetamine** における脳幹もしくは脊髄準位における賦活と、作用機序が異なることを示している。これほど明瞭な **Cortical** 化は、骨格筋においては認められないので、本筋の特異的作用に好都合に反映したわけである。

第3項 **Prostigmine** に対する反応

Cholinesterase 抑制薬としての **Prostigmine** は、投与によって **ACh** の蓄積を来し、副交感神経興奮様作用を現わす。

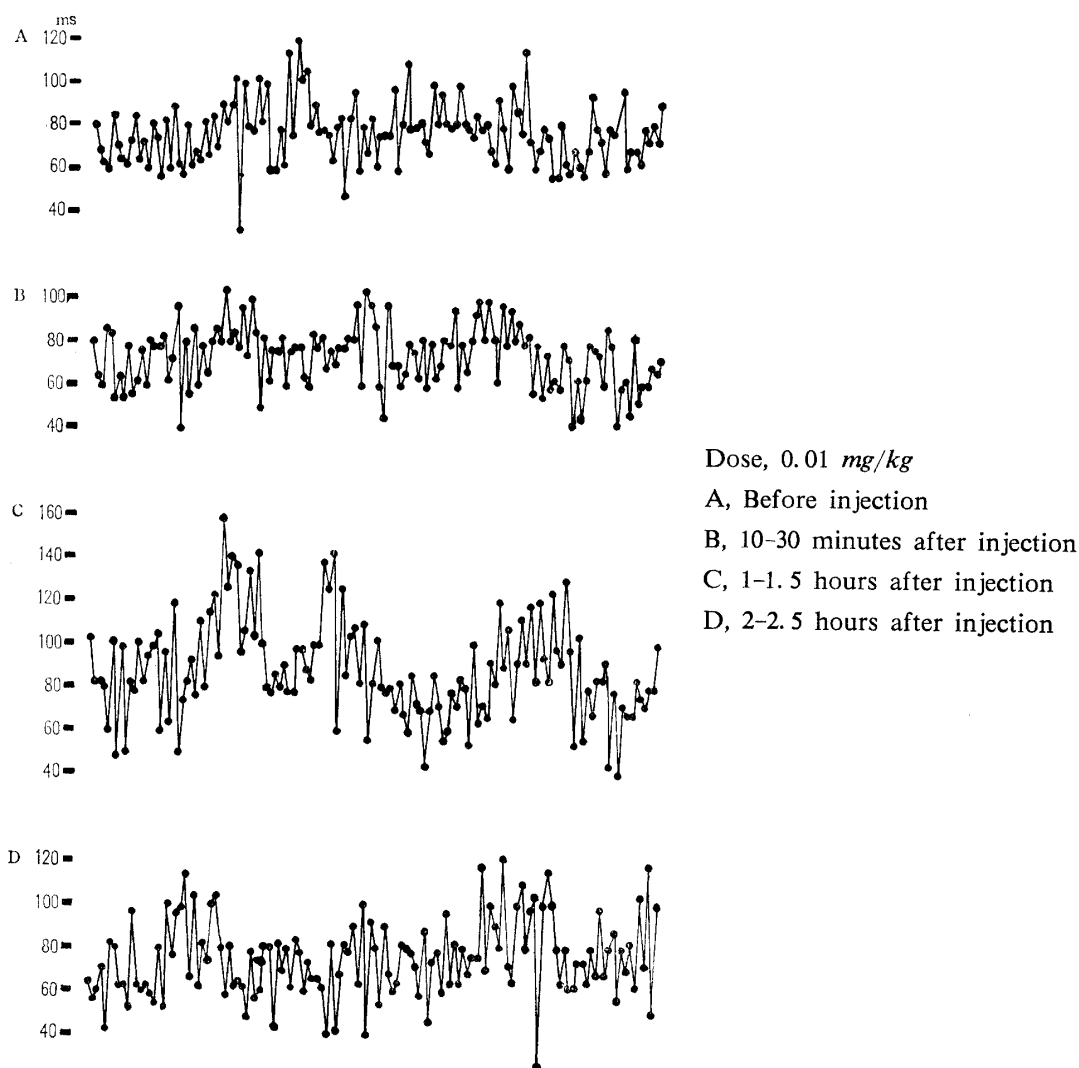


Fig. 26. Effect of subcutaneous injection of **Prostigmine** on the discharge intervals

使用した薬物は **Vagostigmine** で、実量 0.01 mg/kg を皮下に注射した。Fig. 26 は、その時の放電間隔ダイヤグラムの変化を経時的に示したものである。注射前の放電間隔ダイヤグラムは、かなり幅の広い変動を伴っているが、注射後 10~30 分には変動の幅が減少し、全体の動揺も減少している。動揺はその後再び増加し、1 時間 30 分には動揺の振幅が著しく、ついで投与前の状態に復帰している。この時系列から緩慢な動揺を分離してみると、Fig. 27 に示すように、投与後 10~30 分においても動揺の振幅は注射前と殆んど変わらず、1 時間 30 分のものだけが著明に振幅を増加している。

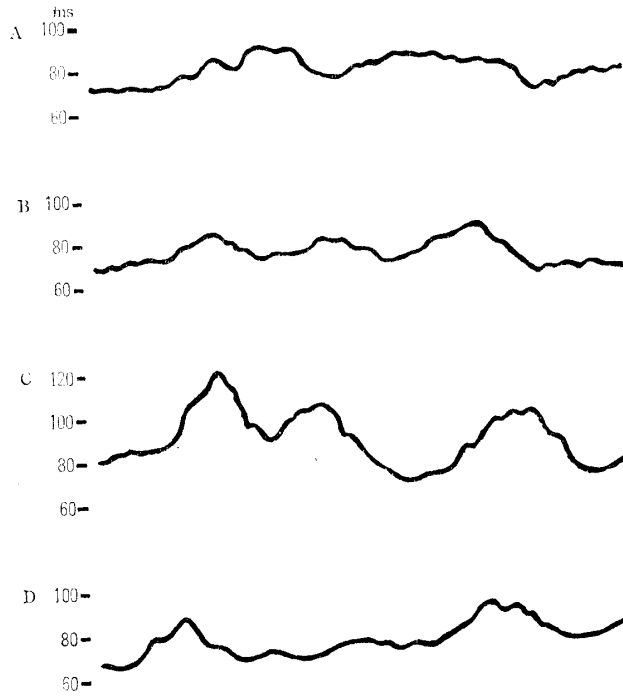


Fig. 27. Effect of subcutaneous injection of Prostigmine on the slow undulations

Dose, A-D : Same as shown in Fig. 26

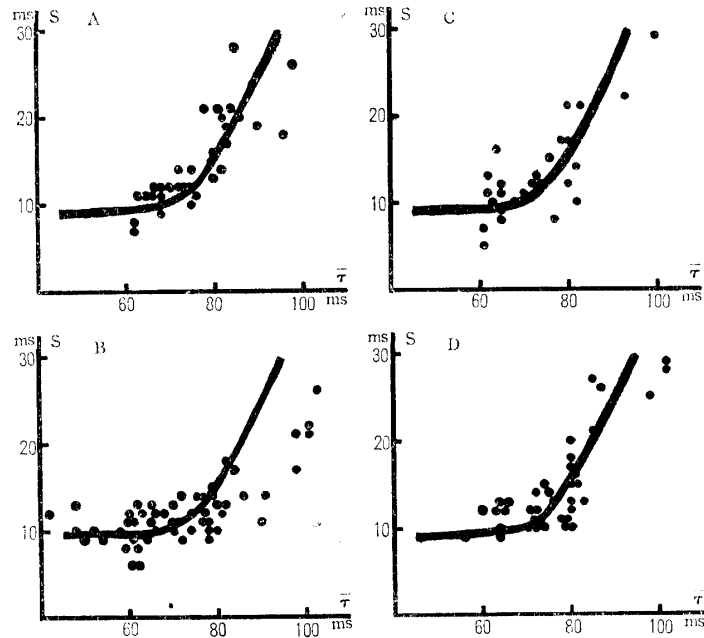


Fig. 28. Effect of subcutaneous injection of Prostigmine on the $\bar{\tau}$ -S points

Dose, A-D : Same as shown in Fig. 26

さらに $\bar{\tau}$ -S 点の分布域の変動でみると、10~30 分の時期に、注射前の $\bar{\tau}$ -S 曲線に比べてかなり右側に偏在して分布し、明らかに Spinalization が起っていることを示している (Fig. 28). Acetylcholine

の中樞神経系シナプスに対する作用は弱いと考えられているが、また一方に Neuron のシナプス伝達が ACh による事を明らかにした報告もある⁴⁸⁾。いずれにしても神経終末における興奮伝達に ACh が関与し、筋の興奮に促進的に働きうると同時に、脊髄準位に Prostigmine が役立っているという所見であるが、この場合にも本筋の反応は他の骨格筋に比較してはるかに鮮明である。

第4項 Chlorpromazine に対する反応

以上は、興奮薬を投与した時の本筋への作用を検討したのであるが、つぎに中枢神経系に対して抑制的に働く Chlorpromazine を投与してその反応を調べてみた。

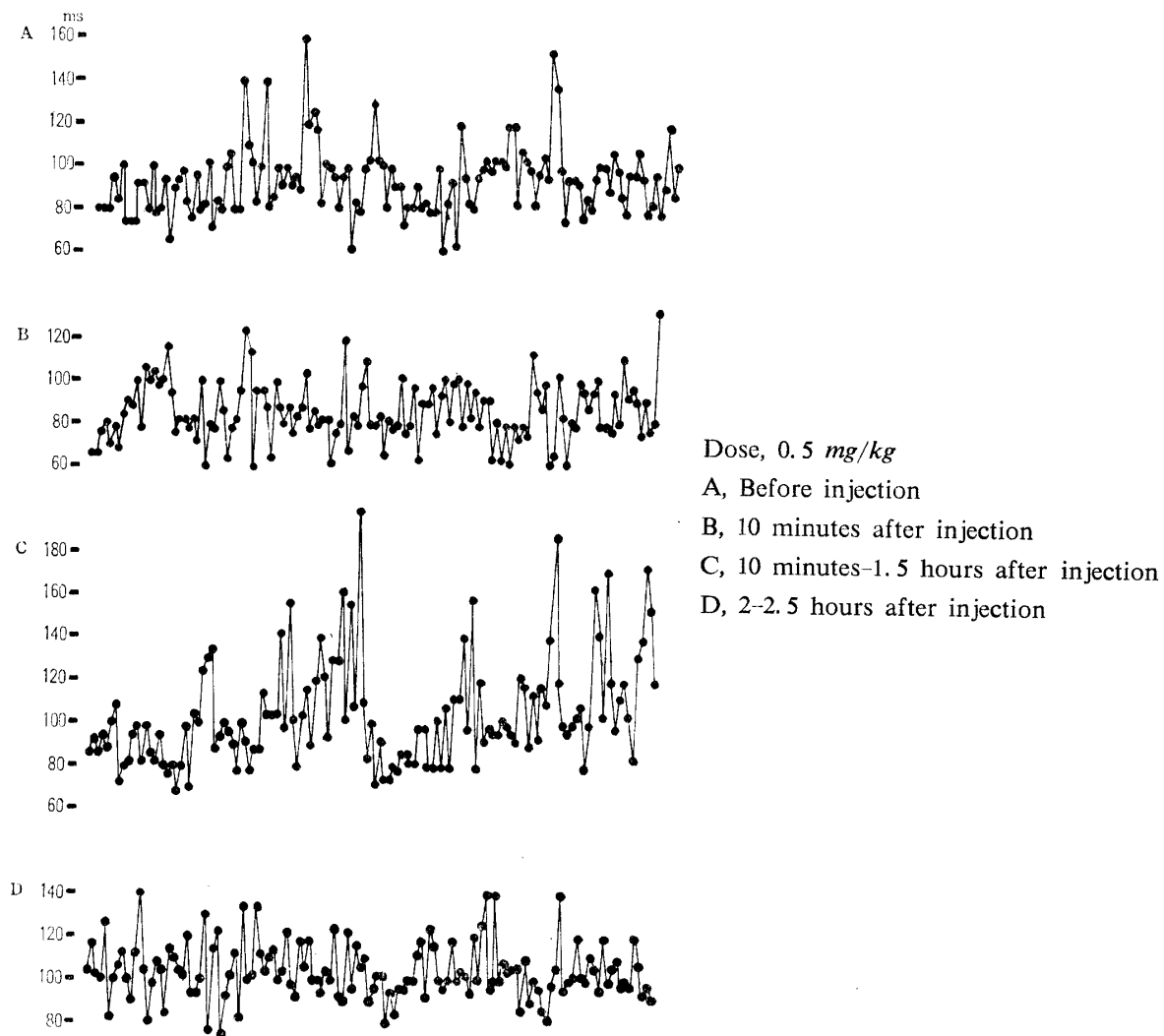


Fig. 29. Effect of subcutaneous injection of Chlorpromazine on the discharge intervals

使用した薬物は Wintermine で、用量は 0.5mg/kg とし、普通使用量の 1/2 を用いてみた。肛門は注射後 10 分頃から哆開しはじめ、1 時間 30 分までその状態を持続し、2 時間を経過してようやく緊縮しはじめ、まもなく正常の放電活動に復帰した。経時的な放電間隔ダイヤグラムの変動の様様を Fig. 29 に示した。前述したように、10 分から 1 時間 30 分の間は肛門の周辺が弛緩し、本筋からの放電は消失した。従って、正常の状態において認められる Tonic な放電を記録することができなかつ

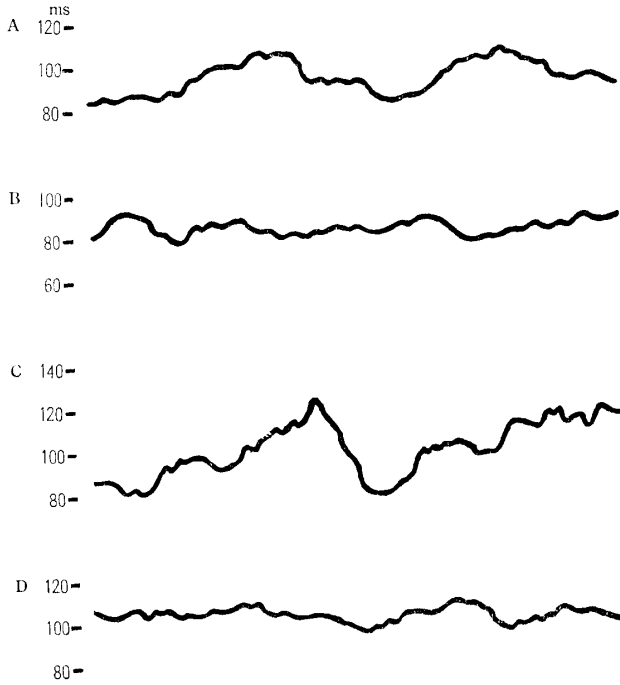


Fig. 30. Effect of subcutaneous injection of Chlorpromazine on the slow undulations

Dose, A-D : Same as shown in Fig. 29

たので、人手を加えて尾を挙上し、この時に出現する放電を記録して分析に使用した。Fig. 29は弛開を開始する直前、尾をあげて放電を記録しうる時期、および緊縮が認められて、ほぼ薬物投与前に復帰した時期の放電間隔ダイアグラムの例である。Fig. 30は緩慢な動揺の経時の変化であるが、10分ないし1時間30分までにえられた系列は、揺らぎが極めて不規則で、振幅もまた著しく大きい。 $\bar{\tau}$ -S点を求めてみると(Fig. 31)注射後10分までは、わずかに左偏の傾向をみせる程度に留まっているが、肛門が弛開し、挙尾によってようやく放電を発現せしめた10分以後1時間30分までの $\bar{\tau}$ -S点は、変動が等しく増大して左偏している。ついで再び注射前の状態に復帰し、Tonicな放電を開始するようになるに従って、 $\bar{\tau}$ -S点もまた正常曲線に近付いて分布するようになる。Chlorpromazineは、本筋の収縮活動に対して抑制的に働くことがわかったのであるが、挙尾によって誘発した放電がCortical化していることについて正

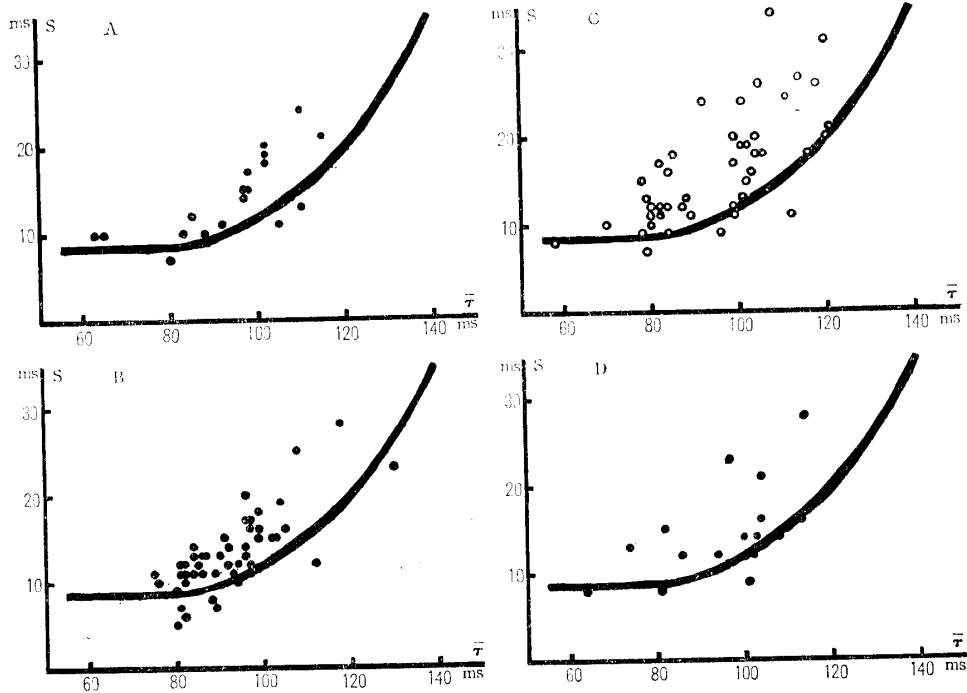


Fig. 31. Effect of subcutaneous injection of Chlorpromazine on the $\bar{\tau}$ -S points

Dose, A-D : Same as shown in Fig. 29

●, $\bar{\tau}$ -S points at spontaneous discharge

○, $\bar{\tau}$ -S points during maintained raising of tail (artificially)

当な理由を見いだすことはむづかしい。この点については後に検討する。

外肛門括約筋が独立して存在することは、骨格筋における活動様式を単純な形でとらえるのに極めて好都合である。上述したように、中枢興奮薬としての Caffeine と Methamphetamine が、一方は Cortical 要素を賦活し、他方は Spinal 要素を賦活するという明確な証明をうることができたのは、この筋の特異な位置と機能による。また Prostigmine の ACh 蓄積作用による Spinal 化は、一般に極めて軽微で、しばしば看過する。さらに、Chlorpromazine の投与による弛緩の途次、適当な操作で活動を呼び起すことは、一般の骨格筋においては不可能であり、賦活された骨格筋が Cortical 要素の支配を強く受けていることを知ったのは、この筋に対する神経支配に対し、新しい問題を提起していると思われる。

小 括

本筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線は著しく右偏し、Spinal 要素の支配が強いが、その水平部分は 100ms まで続き、棘上筋の 60ms、腓腹筋の 80ms に比べて著しく長い。また、その機能分化を发育の面からみると、すでに生後 2 カ月で成犬とほぼ同じ程度の分化を遂げており、その機能の内容を率直に表わしている。 $\bar{\tau}$ -S 曲線はひとのそのように、K, T 2 種の曲線に分離しにくい。姿勢変換、重心の移動、シーソー運動の負荷により容易に Corticalization を誘発し、Cortical 要素の参加を増加しうる。また、中枢神経系興奮薬、ChE 遮断薬などの投与によって、本筋の活動を Cortical 化または Spinal 化することができる。なかんづく、Caffeine の Cortical 化、Methamphetamine の Spinal 化を横紋筋において、本筋のごとく明瞭に分離しうるものはない。

第 4 章 外肛門括約筋の活動に対する感覚刺激の影響

本筋が他の骨格筋と同様な神経支配を受けながら、それらと著しく異なった性質をもっていることを如実に反映するものの代表的な現象が、感覚刺激に対して敏速な反応を示すことである。ただし、従来行なわれた刺激試験は触、刺、熱刺激などで、いずれも骨格筋に協同的な逃避反射としての収縮を誘発するもので、しかも本筋を直接刺激するような形でされており、反応の及ぶ範囲や収縮に直接関係がないと思われるような刺激に対する反応については検索されていない。ここでは、犬が日常体験すると考えられる種々の刺激、たとえば音、光、あるいはにおいなども加え、また予め中枢興奮薬を投与した上で、適当な刺激を加えることなどを試みた。

第 1 節 物理的的刺激に対する反応

負荷した刺激は電鈴による聴刺激、電燈の点滅による視刺激および針の穿刺による痛刺激である。

第 1 項 聴 覚 刺 激

犬を暗室内にしばらく駐立せしめ、誘導している筋電図が安定したところで、電鈴を 1 秒間隔で 10 回叩打した。Fig. 32 A は、数多くの単一 NMU の放電間隔時系列からえた $\bar{\tau}$ -S 相関図で、B は刺激中の放電間隔の平均経過を示す Slow undulation、および同時に誘導した心拍間隔ダイヤグラムの 1 例である。 $\bar{\tau}$ -S 相関図中の○印は刺激中、●印は刺激前または後（以下同じ）の時系列からえた $\bar{\tau}$ -S 点である。図によってみると、刺激中の $\bar{\tau}$ -S 点の分布は、刺激前後の分布と格別異なることなく、正常な駐立時の $\bar{\tau}$ -S 曲線に沿って分布している。緩慢な動揺にも刺激のために発生したと思われる変化は認められない。同時誘導した心拍間隔ダイヤグラムにも、刺激のための拍動の促進や遅滞は現われていない。聴刺激は、本筋の収縮活動の状態を変える原因にはならない、と思われる。

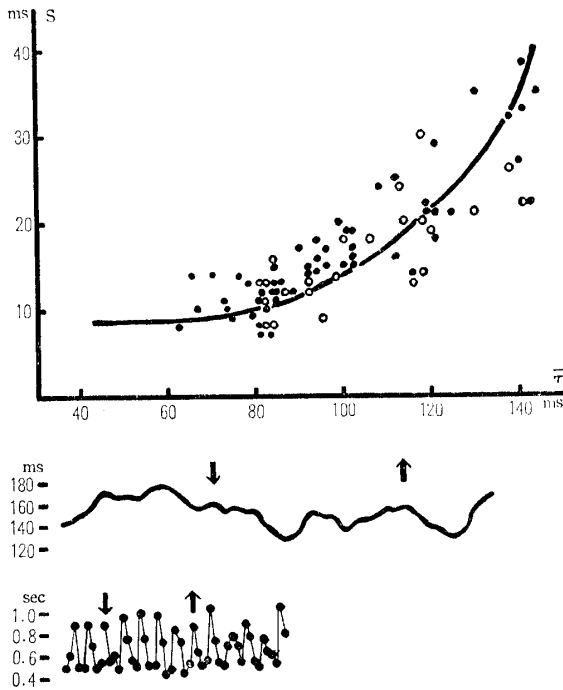


Fig. 32. $\bar{\tau}$ -S curve responding to the stimulation of auditory sensation by ringing the bell

Upper figure : Distribution of $\bar{\tau}$ -S points
 ○, During the stimulation by ringing the bell 10 times at intervals of 1 sec.
 ●, Before and after the stimulation
 Middle figure : Diagram showing the slow undulation during the stimulation
 Lower figure : Diagram showing the cardiac beat intervals during the stimulation
 Between arrows the auditory sense was stimulated by strike of bell

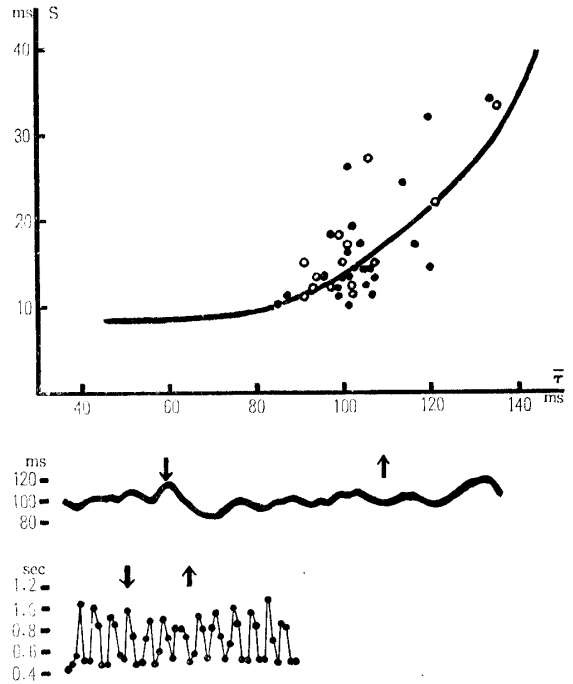


Fig. 33. $\bar{\tau}$ -S curve responding to the stimulation of visual sensation by switching-on and-off of electric torch

Upper figure : Distribution of $\bar{\tau}$ -S points during the stimulation
 ○, During the stimulation by switching-on and -off 10 times at intervals of 1 sec.
 ●, Before and after the stimulation
 Middle figure : Diagram showing the slow undulation during the stimulation
 Lower figure : Diagram showing the cardiac beat intervals during the stimulation
 Both arrows indicate the period of the stimulation

第2項 視 覚 刺 激

前と同様に、暗室内において実験を行なった。視刺激は、1秒間隔 10回の懐中電燈の点滅で、筋電図の誘導の方法は前項と同様である。Fig. 33 に掲げた τ -S 点の分布でみればわかるように、光の刺激によると思われる影響は全く認められない。Slow undulation にも目立った変化は起っていない。心拍間隔は、刺激中にわずかに短縮したようであるが、それほど判然とした変動とはいえない。視刺激もまた、本筋の活動に影響を与えることはできなかったと考えてよい。

第3項 痛 刺 激

駐立姿勢をとらせ、筋電図を誘導しながら、前軀および後軀のそれぞれ 3 部位に刺激を加えた。前軀では頸礎部、前膝部および前指間、後軀では会陰部、踵部および後趾間を刺激部位とし、注射針によって 1 秒間隔で 10 回軽く穿刺して刺激とした。刺激部位別に $\bar{\tau}$ -S 相関図を描き、正常曲線を附記し Fig. 34 にまとめて示した。前軀の諸部位に対する刺激によって、それぞれの分布状態には何らの変化も起らず正常曲線に沿って分布しているが、刺激中の $\bar{\tau}$ -S 点を刺激前後の $\bar{\tau}$ -S 点と比較すればわかるように、刺激中の $\bar{\tau}$ -S 点はおおむね平均放電間隔の短い方に移動して分布してくるようである。刺

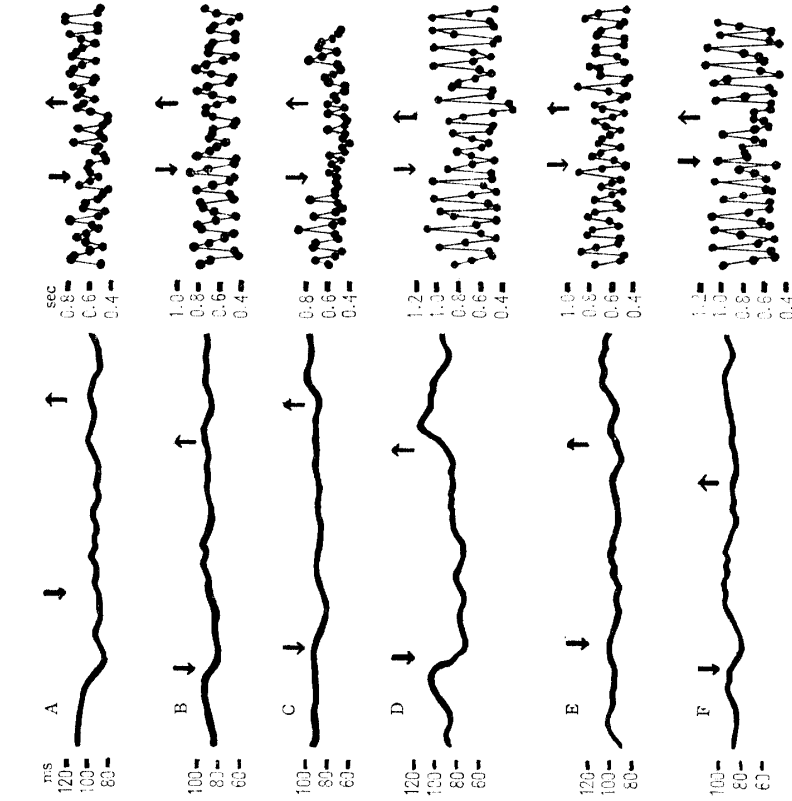


Fig. 35. Diagram showing the slow undulation and cardiac beat intervals responding to the stimulation of pain sensation
A-F, Same as shown in Fig. 34

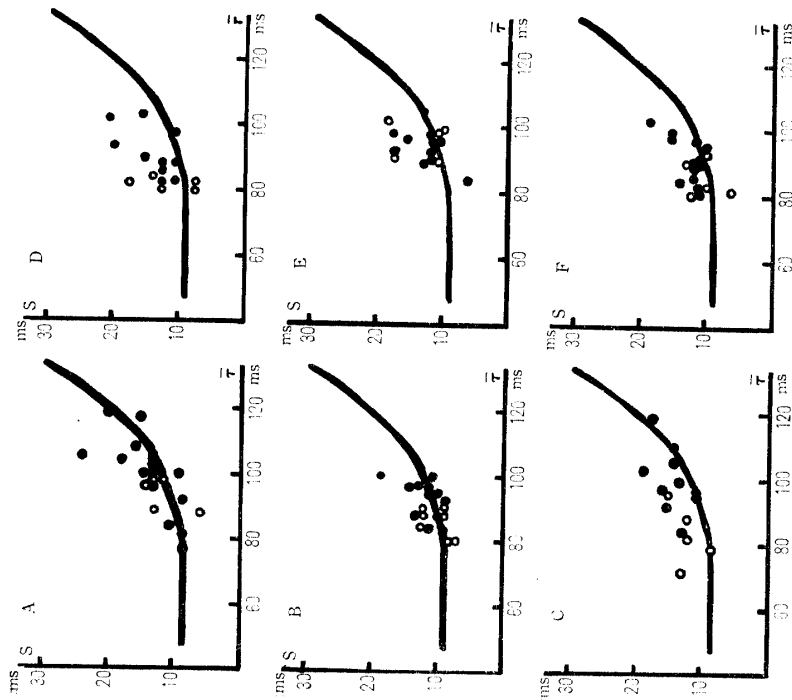


Fig. 34. $\bar{\tau}$ -S points responding to the stimulation of pain sensation by pricking with an injection needle
○, During the stimulation by pricking 10 times at intervals of 1 sec.
●, Before and after the stimulation
A, Neck B, Knee C, Fingers D, Perineum
E, Heel F, Toes

激によって筋の収縮がわずかだけ強くなっていると思われる。後軀では踵部を除いて、会陰部、後趾間共に刺激によって放電間隔はかなり短縮している。なかんづく、会陰部では一様に放電間隔を短縮し、明瞭な反応を示している。この状態を **Slow undulation** によってみるとさらに明らかである。Fig. 35 左半部の曲線は、各部位の刺激に対する放電間隔時系列の **Slow undulation** の例で、右半部は同時に記録した心拍間隔ダイヤグラムの例である。Slow undulation のうち、会陰部に対する痛刺激の反応が最も明瞭で、刺激の開始と同時に放電間隔の短縮が起り、この状態が刺激中継続し、刺激終了と共に再び放電間隔を延長している。また \bar{r} -S 相関図において変化のみられた部位は、いずれも軽度ながら **Slow undulation** にも変化が起っている。この状態をさらにバースト放電、その積分曲線および心電図の記録によって観察してみる。Fig. 36 に頸礎部、前指間、会陰部および後趾間刺激時

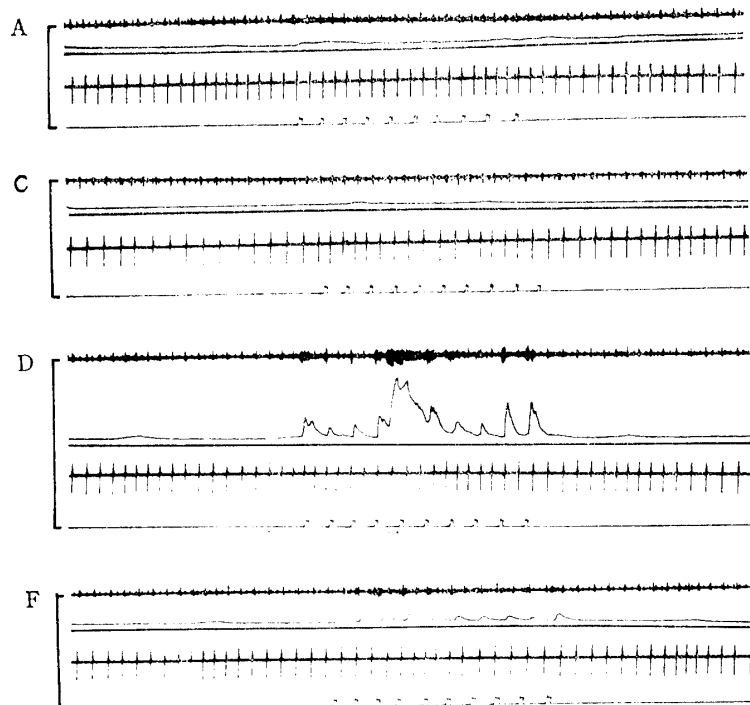


Fig. 36. Original records of the electromyogram (EMG), EMG's integrate curves and electrocardiograms (ECG) responding to the stimulation of pain sensation

The recordings indicate EMG, integrate curve of EMG, ECG, and signal of the stimulation downward from upper row respectively
A-F: Same as shown in Fig. 34
Time mark, 1 sec.

の記録を示した。バースト放電は、会陰部の刺激時に最も強く現われ、刺激のたびごとにそれと同期して筋電図の斉射が起っている。これについて、後趾間の刺激に対する斉射が明瞭である。斉射は刺激に同期しているが、斉射の開始する位置は刺激より少しく遅れている。これに対し頸礎部、前指間における反応ははるかに弱く、刺激の全体にわたって筋の活動がやや増強している程度にとどまる。この結果からみると、痛刺激は体のどの部分に加えても本筋の活動の増化をひき起すと考えられる。後軀の刺激は、前軀に比べてより強い収縮をひき起すことができる。Fig. 35 および Fig. 36 に併記したダイヤグラムからわかるように、痛刺激によって心拍間隔にもまた変化が起り、間隔の短縮をひ

き起すが、各部位のうち、前指間を刺激した場合に最も著明な短縮が起り、頸礎部および前膝部がこれにつぎ、後軀では後趾間の刺激が最も強く、会陰部、踵部の刺激はほとんど変化を起していない。これによってみると、本筋に対する刺激による活動の増加は、痛覚の大小によるのではなくて、刺激に対する反射の径路もしくは反射中枢の部位別な差を選択させるような形式が内在しているものと考えられる。

第2節 化学的刺激に対する反応

局方アンモニア水を蓋付の小瓶に入れ、鼻孔の前で一瞬、蓋を開放することによって行なった。Fig. 37 に筋電図、その積分曲線および心電図の記録を示した。バースト放電は、刺激に対して一過

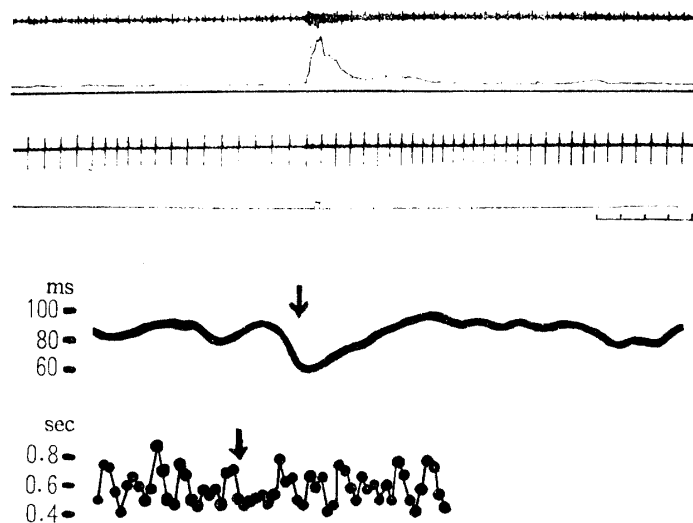


Fig. 37. Influence of the stimulation of olfactory sensation by Aq. ammoniac

Upper figure : Original records of the EMG, EMG's integrate curve, and ECG during the stimulation

Remarks : Same as shown in Fig. 36

Middle figure : Diagram showing the slow undulation during the stimulation

Lower figure : Diagram showing the cardiac beat intervals during the stimulation

The arrows indicate the stimulation

性の強い Phasic な反応として現われ、放電の密度が急激に増大している。正常の Tonic な放電活動への移行は緩徐で、電極の刺入による Insertion voltage の消失する経過と類似している。単一 NMU の放電は、刺激と同時に急激に間隔を短縮し、ついで徐々に間隔が延長して刺激前に帰る。Slow undulation にも一過性の動揺が現われている。単一 NMU の時系列に長期傾向があるので、 \bar{r} -S 点を求めることができないが、 \bar{r} -S 点の分布は刺激時著しく左偏して、放電間隔の短い部分に集合して行くことになる。また同時に誘導した心電図から心拍間隔を計測してみると、これもまた刺激の瞬間に間隔を短縮し、調律が乱れている。嗅覚に対する刺激もまた本筋の活動を増強せしめるように働くことがわかる。

第3節 中枢神経系興奮薬と聴刺激の二重負荷に対する反応

中枢神経系興奮薬のうち、Methamphetamine は本筋に活動の Spinalization を誘発し、また Caffeine は活動の Corticalization を誘発することを前章において明らかにした。OHKUBO⁴⁰⁾ は犬を用いて、中枢神経系興奮薬投与時に負荷した聴刺激は、心拍のリズムに著明な変化を与え、持続の長

い、心拍間隔の短縮をひき起すことを報告している。そこで、上述の薬物を投与し、その効果が現われる間に更に聴刺激を加えた場合、無処置の場合に全く無効であったこの刺激が、本筋の活動に変化をひき起しうるかどうかを改めて検討してみた。

第1項 Methamphetamine

既述の投与量と同量、即ち 1 mg/kg を皮下注射し、30分間隔で前と同じように電鈴を鳴らして聴刺激を行なった。筋電図の誘導、 $\bar{\tau}$ -S 点の表現なども前の方法に従った。Fig. 38 は時間を追ってま

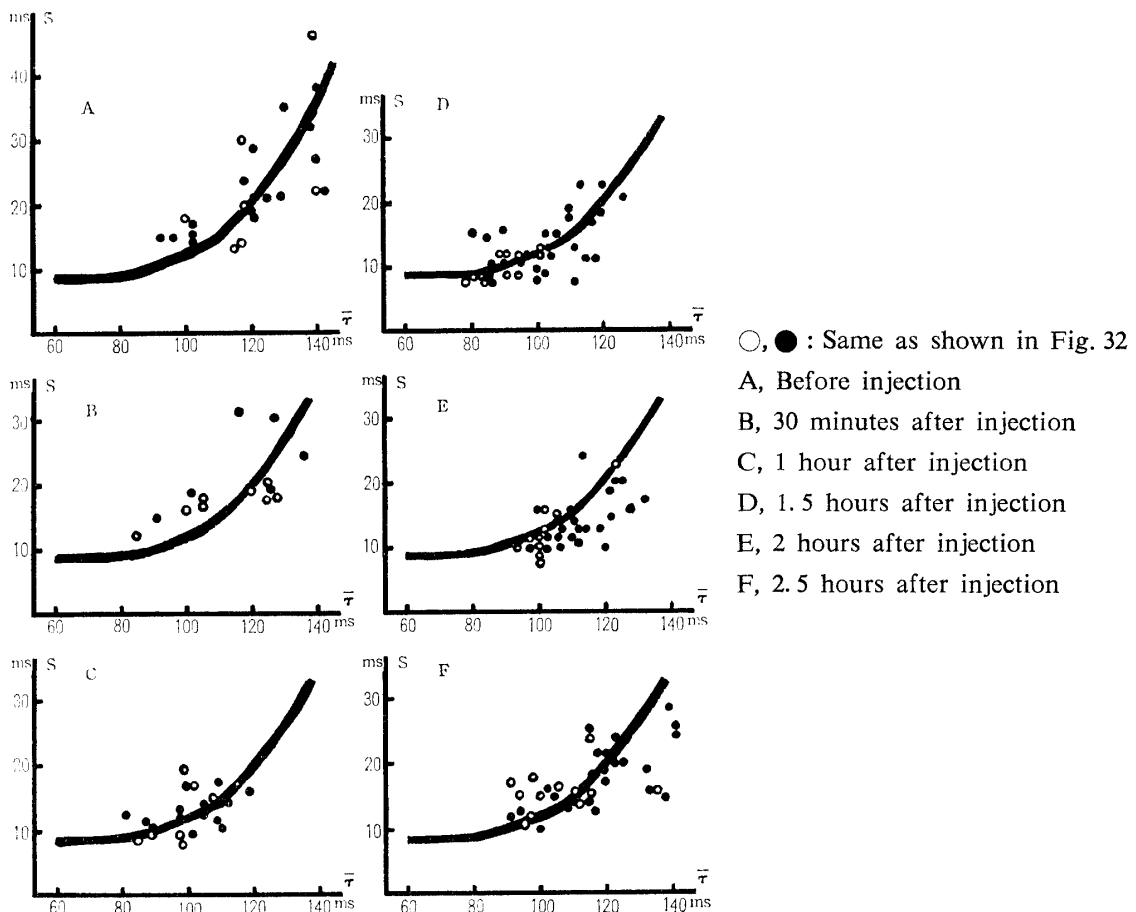


Fig. 38. Distribution chart of $\bar{\tau}$ -S points responding to the stimulation of auditory sense after the administration of Methamphetamine

とめた $\bar{\tau}$ -S 相関図である。○印は電鈴による刺激中の $\bar{\tau}$ -S 点を表わし、●印は刺激の前後の $\bar{\tau}$ -S 点である。 $\bar{\tau}$ -S 点の分布は前述した通り、薬物投与後1時間30分～2時間に著明な Spinalization を誘発しているが、刺激によって放電間隔が短縮するだけで、刺激による特別な変化は現われていない。この状態をさらに Slow undulation によってみると (Fig. 39)、薬物の投与後1時間30分において、放電間隔の短縮により、動揺の振幅の減少が起っているだけで、OHKUBO のえた心拍間隔の極端な短縮をひき起すような効果は現われていない。Methamphetamine の効果が、Spinal 化を筋にひき起すような皮質以下の中枢神経機構の賦活に留まる、という推定をさらに強化させたことになる。

第2項 Caffeine

0.5 mg/kg の投与により Corticalization が起り、これが30分～1時間の間隔で繰り返しを起すこ

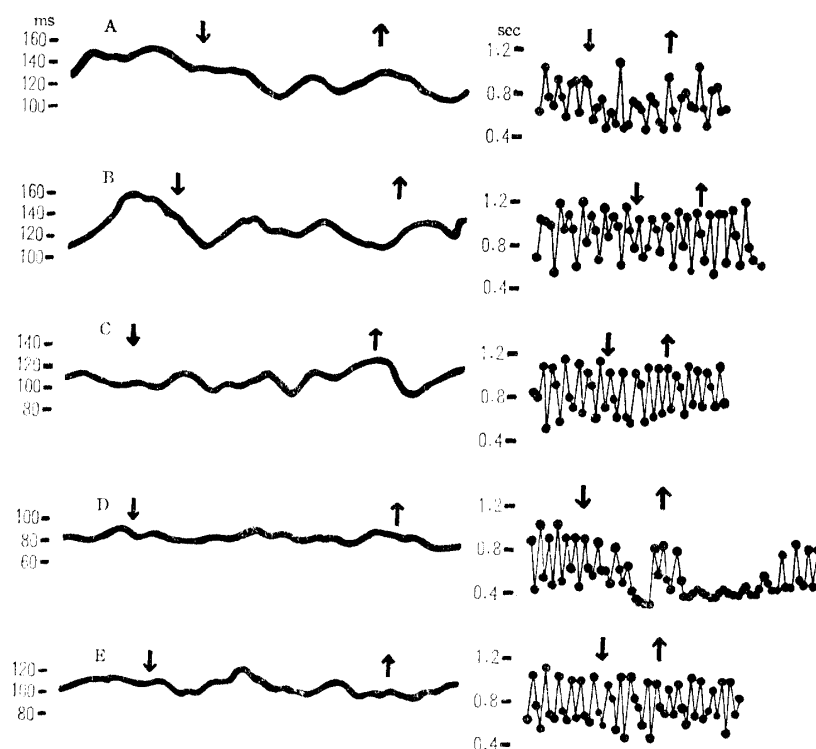
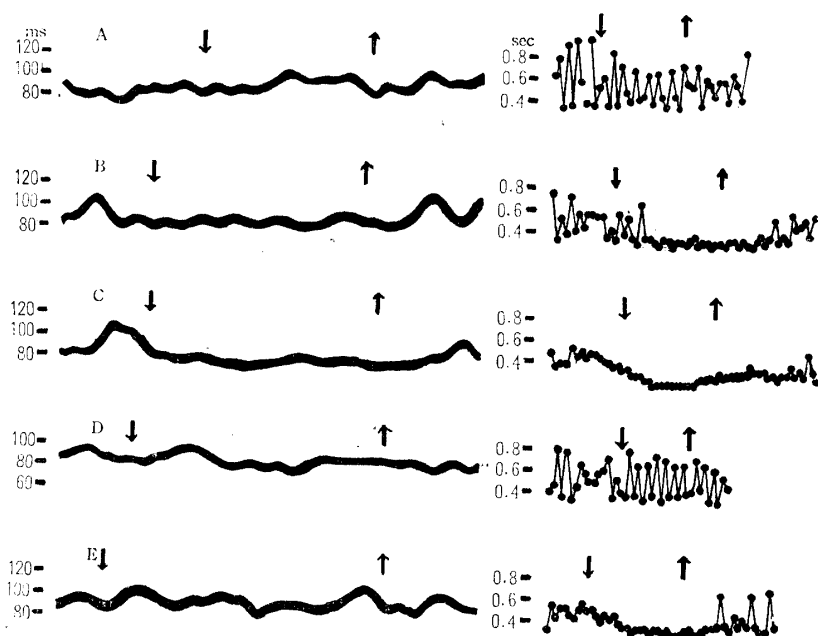


Fig. 39. Slow undulation and cardiac beat intervals responding to the stimulation of auditory sense after the administration of Methamphetamine

Dose, Same as shown in Fig. 20

↓↑, Same as shown in Fig. 32

A-E, Same as shown in Fig. 38



Dose, Same as shown in Fig. 23

↓↑, Same as shown in Fig. 32

A, Before injection

B, 15 minutes after injection

C, 45 minutes after injection

D, 1 hour after injection

E, 1.5 hours after injection

Fig. 40. Slow undulation and cardiac beat intervals responding to the stimulation of auditory sense after the administration of CSB

とを前に述べた。同量を投与してから、5分間隔で電鈴による刺激を加えたところ、投与後15分に刺激と同時に放電間隔の著しい収縮が認められ、少くとも30分以上継続した。この状態は *Slow undulation* にも現われ (Fig. 40) 15分および45分における聴刺激によって、動揺の振幅の減少と平均放電間隔の短縮の状態を弁別することができた。OHKUBOのえた心拍間隔ダイアグラムと比較してみると、その対応関係は更に明瞭である。しかし、心拍間隔の上では、なお薬物による効果の現われている1時間30分時には、*Slow undulation* における聴刺激の影響は認められない。次に、不規則な変動について $\bar{\tau}$ -S 相関図を用いて観察してみよう。Fig. 41は、注射前、15分~45分、45分~1時

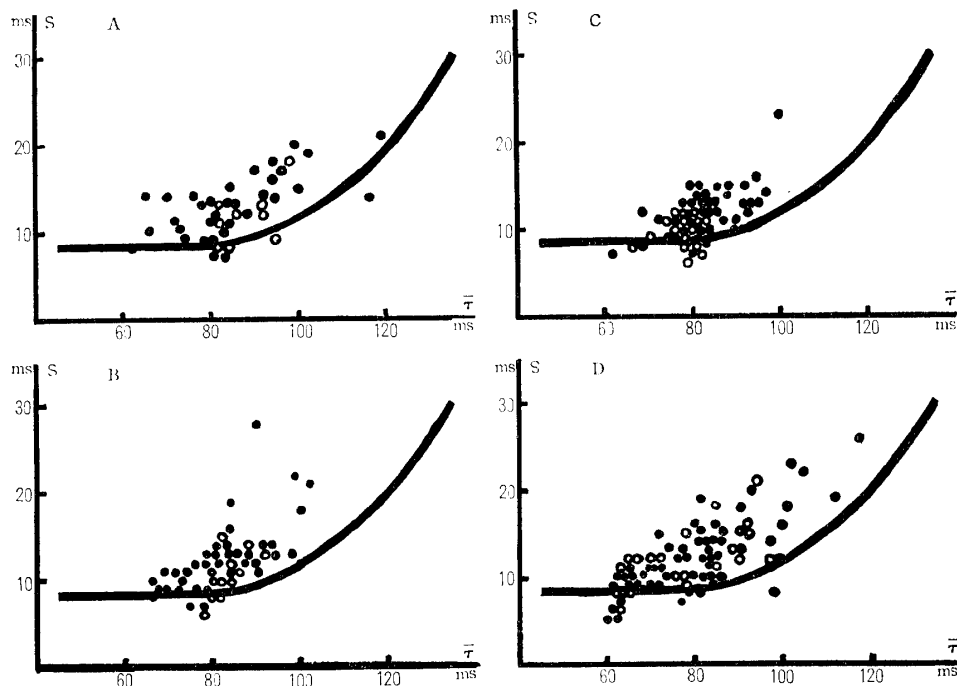


Fig. 41. Distribution chart of $\bar{\tau}$ -S points responding to the stimulation of auditory sense after the administration of CSB

○, ● : Same as shown in Fig. 32

A, Before injection

B, 15 minutes after injection

C, 1 hour after injection

D, 1.5-2 hours after injection

間、1.5時間~2時間における $\bar{\tau}$ -S 相関図である。15分~1時間における聴刺激は、明らかに放電間隔の短縮を起しているが、1.5~2時間においては短縮は認められない。しかし、 $\bar{\tau}$ -S 点の分布は、注射後15分から2時間にわたって正常曲線よりもかなり左偏して分布している。Caffeineの投与による *Corticalization* を反映していることがわかる。

第4節 脊髓犬における感覚刺激の影響

前述の実験によって嗅覚に対する刺激のほかは、中枢の感覚領を興奮させるような音、光などの刺激は本筋の活動に影響を与えないが、皮質運動領を賦活すると考えられている Caffeine を投与することにより、無効であった刺激が影響を与えることをみる事ができた。しかし、それにもかかわらず本筋は活動の支配の主なる要素を皮質以下、おそらくは脊髓の準位における中枢から受けているであろうと想像されるので、上位中枢の影響を全く遮断した状態でこれを確認するために、脊髓犬を用



Fig. 42. Discharges from the external anal sphincter showing the responses to the tactile stimulus on the circumanal region (cordotomy)

The arrow indicates touching on the circumanal region with fingers
Time mark, 10 cycle/sec.

いて若干の実験を追加した。

まず、脊髓を第1腰髄の高さで切断する。切断後も *intact* な状態と全く同様に *Tonic* な収縮活動は依然として継続している。痛刺激による反応が最も顕著に現われる会陰部に刺激を加えてみると、Fig. 42 にみるように *intact* な場合と同様に、刺激に対応して *Phasic* な放電の斉射が発現し、しかもその反応は著しく強い。刺激前の *Tonic* な放電の振幅は約 $200\mu V$ であるが、刺激によって発現する放電の振幅は、優に $1 mV$ に達する大振幅のスパイク放電を混入している。また収縮の持続時間は著しく長く、この間にたびたび斉射を反復する。脊髓切断による興奮水準の低下、または中枢性抑制の廃絶による解発現象とみることができ。つぎにバルーンを挿入し、直腸内圧を増加することを試みた。内圧を次第に増加してゆくと、放電は急速に減弱してゆき、間もなく完全に *electric silence* になる。ついで減圧を始めると、一時、放電の斉射が現われ、短い *electric silence* の時期をはさんで、再び一せいに放電を始め、やがて加圧以前の定常な放電の状態に復帰する。直腸内圧増加によって放電が減少し、十分な加圧によって収縮活動が全く消失する状態は *intact* な場合と同様であるが、反応の仕方ははるかに明瞭である (Fig. 43)。

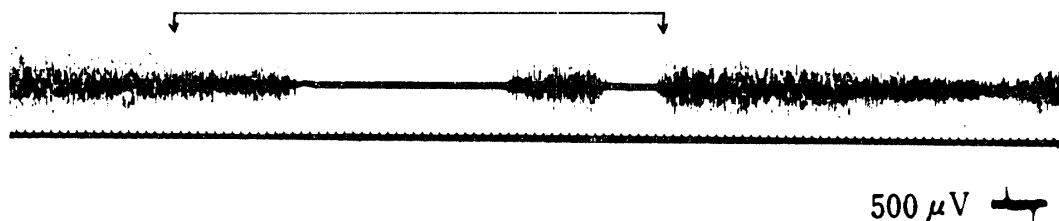


Fig. 43. Influence of raising intra-rectal pressure on the discharges in the external anal sphincter

The part between the two arrows shows the period of maintained distention of rectum by air inflation
Time mark, 1 sec,

切断の場所を尾側に移し、第4と第5腰髄の間を結紮して上位との連絡を断った³¹⁾。この位置は、本筋を支配している会陰神経が起源する、仙骨神経叢の高さに当る。結紮は $1.5 cm$ の間隔で2カ所に施した。結紮後2日目から35日目まで、4ないし7日の間隔で観察を反復し、変化の様態を記録した。脊髓結紮の効果を見るために、既述の数種類の刺激を加え、それらに対する反応を記録した。

聴刺激は *intact* な犬では、本筋の活動に何らの影響も与えなかったが、結紮後も同様で、その影響と思われる活動の変化は認められない。アンモニア水による嗅刺激は、正常な犬では著明な放電の斉射を発現したが、結紮の直後から全然反応がみられなくなり、観察中この状態が続いた。中枢性の支配が、直達的に本筋の活動を惹起することが確認されたわけである。音、光などの刺激による効果は

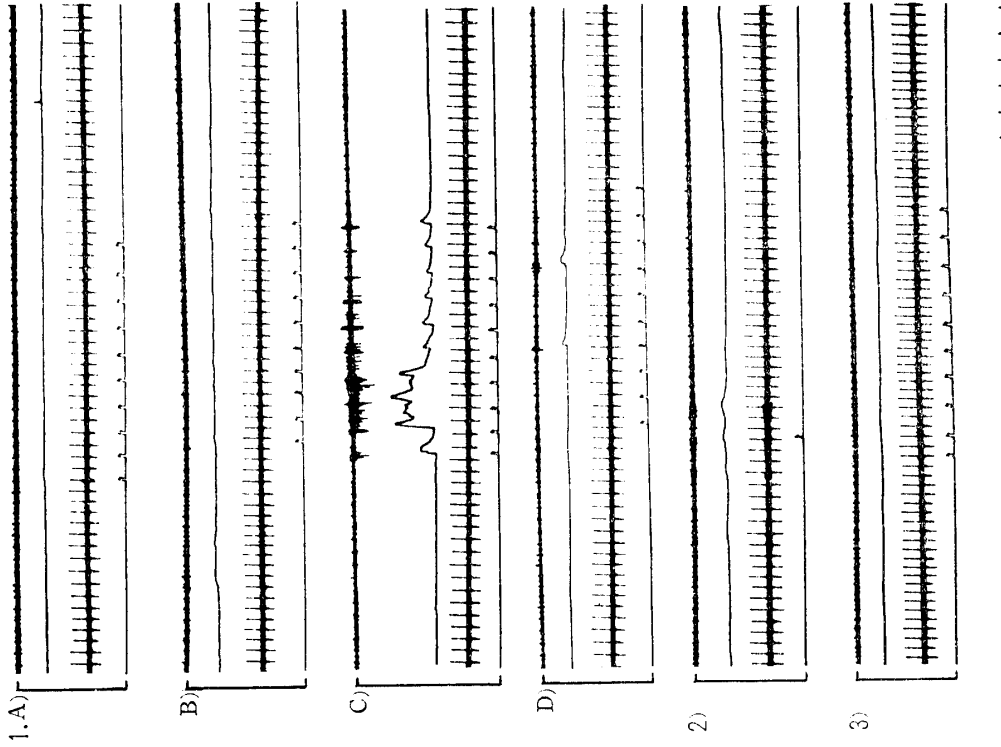


Fig. 45. Response of the external anal sphincter to the ligation of spinal cord (6 days after ligation)

The recording indicates EMG, integrate curves of EMG, ECG, and signal of the stimulation downward from upper row respectively

- 1, A-D, 2, Time mark : Same as shown in Fig. 44
- 3, Stimulation of auditory sense

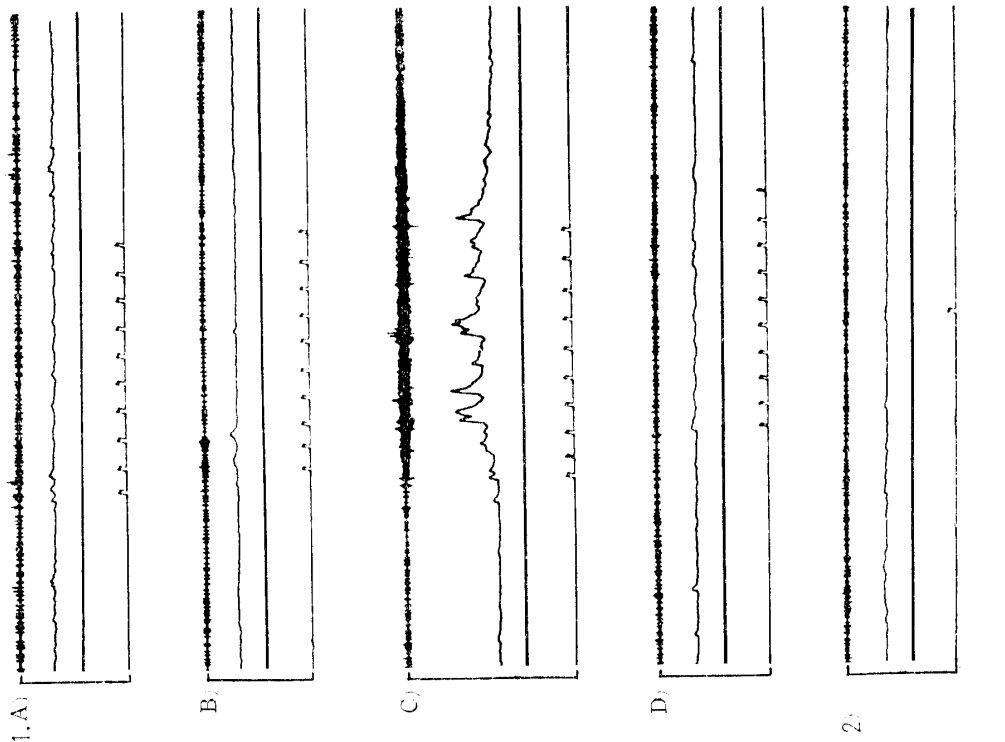


Fig. 44. Response of the external anal sphincter to the ligation of spinal cord (2 days after ligation)

Upper record : EMG

Middle record : Integrate curve of EMG

Lower record : Signal of the stimulation

- 1, Stimulation of pain sense
A, Neck B, Fingers C, Perineum D, Toes
- 2, Stimulation of olfactory sense
Time mark, 1 sec.

認められなかった。体軀各部位に対する痛刺激は、結紮後の日数の経過につれて、反応の形を少しく変化してくることがわかった。この模様を Fig. 44~47 に掲げた。脊髓を切断することによって、前軀に対する痛刺激による反応は著しく減弱し、6日以後は頸礎部、肩端部、前肢ならびに前指間などの場所を刺激しても反応を示さなくなった。後軀の刺激に対する反応は当然残存したが、時日の経過と共に次第に減弱していった。結紮後約1週間までは (Fig. 44, 45), 会陰部に対する刺激は毎回強い斉射をひき起し、後趾間への刺激も、その都度放電を増加させた。しかし2週間を経過すると (Fig. 46), 常時の Tonic な放電が密度を疎にし、後趾間の刺激に応ずる斉射がしばしば脱落し、数回に1度反応するようになり、会陰部の刺激に対する反応もかなり弱くなった。しかしこの時期でも肛門を直接刺激するか、肛門に指を挿入すれば強い放電の斉射が現われ、持続的な刺激 (クリップで10秒間はさむことにより行なう) に対しては、斉射が繰り返して起った。しかし、会陰部の刺激に対する反応は、前と異なって漸増的で、刺激を開始しても数回はほとんど反応がなく、刺激を繰り返し

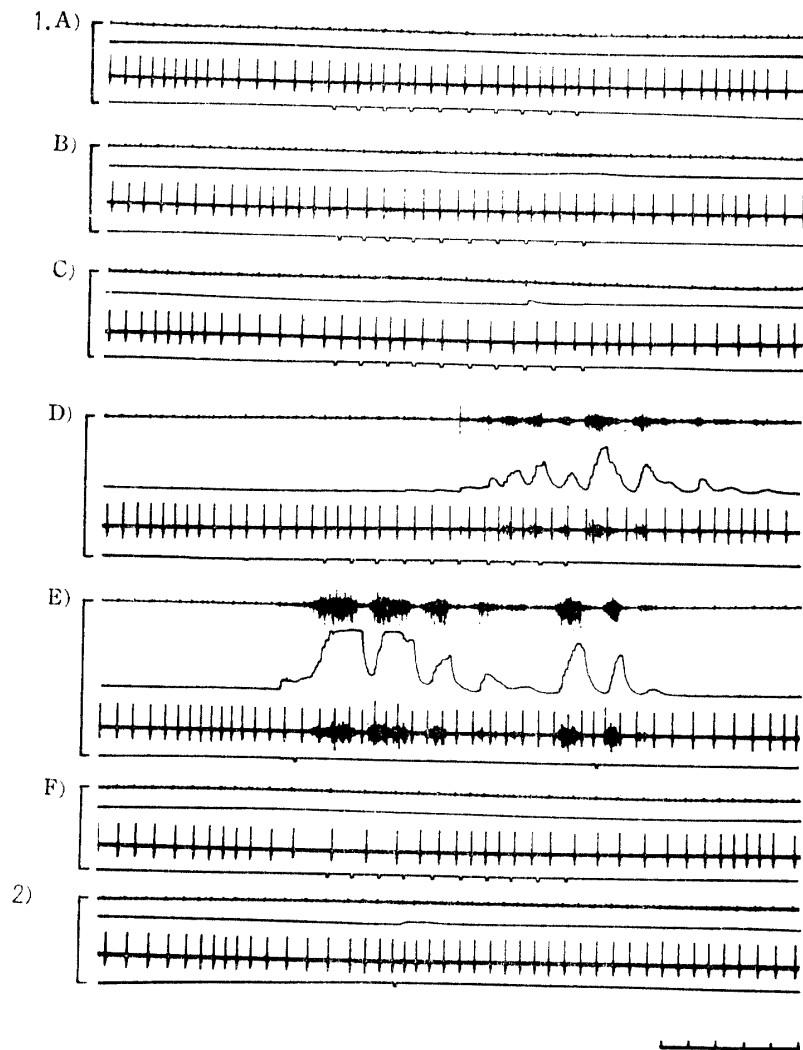


Fig. 46. Response of the external anal sphincter to the ligation of spinal cord (14 days after ligation)

- 1, A-D, 2, Time mark : Same as shown in Fig. 44
 E, Anus : Stimulation by pricking with an injection needle at 10 times intervals of 1 sec.
 F, Anus : Between signals the anal skin was nipped with a clip

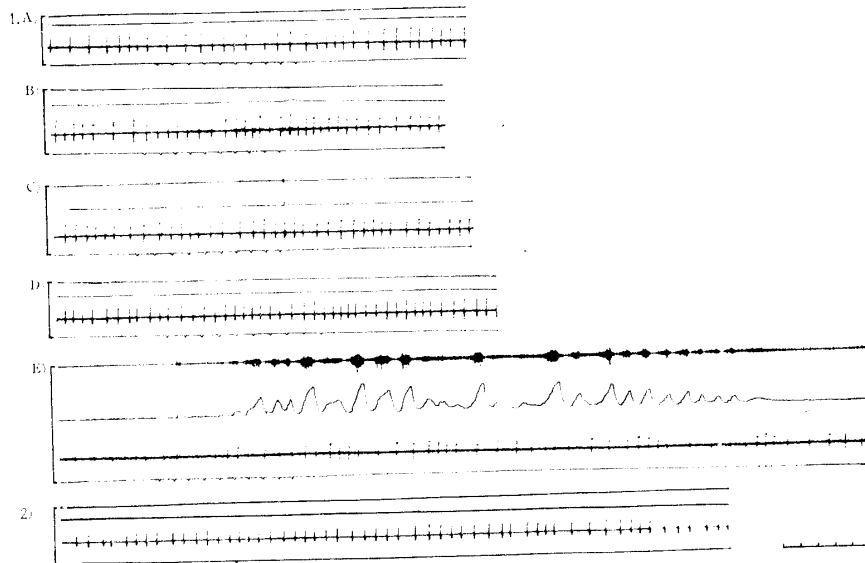


Fig. 47. Response of the external anal sphincter to the ligation of spinal cord (35 days after ligation)

1, A-E, 2, Time mark : Same as shown in Fig. 46

ているうちに、始めて強い収縮が現われた。結紮後5週間を経過すれば (Fig. 47), 会陰部の刺激に対してもほとんど反応しなくなり、肛門をクリップではさんでおくような持続的な刺激に対しては、繰り返し繰り返し筋の活動の斉射が反復したが、各々の間隔は著しく延長していった。結紮によって、結紮部位以下の脊髓組織が変性に陥ると考えられる。結紮後1カ月以上を経過すれば、組織はほとんど死滅し、筋自体に対する直接の刺激が自発的な斉射放電をよび起すのではないかと思われた。これらの実験から、本筋の Tonic な放電活動は、脊髓準位における反射的な神経機構の活動によって発現し、高位中枢の活動による放電活動は、感覚刺激のあるものにみられたように、Tonic な放電の上に重複する Phasic な放電の斉射となって現われることが知られた。

小 括

物理的、化学的刺激に対する本筋の反応は特異的であって、他の骨格筋にはこのような明瞭な反応はえられない。反応を表わしたものは嗅刺激であるが、痛刺激に対してはよく反応し、なかんづく会陰部、後趾間の刺激に対する反応が明瞭であった。中枢興奮薬の予備投与により、常態では無効であった刺激も効果を表わした。中枢を介しての刺激に対する反応は、脊髓切断により消失し、切断部以下の部位の痛刺激は著明に増強し、本筋の収縮が脊髓を中枢とする反射を背景にしていることが推定された。

第 5 章 外肛門括約筋の NMU 放電に対する時系列解析の応用

第 1 節 筋電図における時系列解析の応用とその意義

筋の収縮機序およびその神経支配の解析に筋電図を用いるのに、単一 NMU の放電間隔の変動を利用することができる。その1つの方法が今まで述べてきた放電間隔ダイヤグラムにおける平均放電間隔 \bar{r} および分散 S の相関図における Cortical 要素と、Spinal 要素の分離に関する時実の解析法である。しかし、この方法の利用は、いわゆる定常な放電活動の相当長く継続されている状態を対象とすることに限られる。そのことはしばしば実験の施行を非常に難しくし、その上変化の特徴が明瞭に現

われない限り、しばしば分析を不可能にすることがあった。しかしそのことは、今日ほぼ定式化された型で応用されている野村⁽³²⁾⁽³³⁾⁽³⁵⁾の放電間隔時系列解析法によって著しく改善され、極端な変動を含まない限り、ほとんどすべての場合に適用されるような解析がなされるようになった。本筋は最初に述べたように、常時は極めて安定な放電活動をするが、種々の刺激に敏感に反応し、しばしば甚だしい活動の変動を現わすことがある。そこでそれらのものを含めて、野村の時系列解析法を用いて、更に詳しく本筋の活動様式を分析してみた。以下、その解析法の概要を記述する。

単一NMUの放電間隔の系列は、これを統計学的観点からみると固定された1つの母集団からの標本ではなく、「時間の経過と共に変化する母集団系列(確率過程)からの標本」と考えるべきものである。放電間隔を変動させる要因は、生理学的な意味をもつもののほかに、観測方法に原因する変動や、偶然の変動が混在するが、これを含めて、放電間隔の変動はある形式化された確率過程であると仮定し、これらの特性を通してその母体である確率過程の性質を知ろうとするのがこの解析の要点である。

1つの長い放電間隔の系列には、巨視的に波のような揺らぎ、すなわち *Slow undulation* が認められる。時系列解析法は原則的に、放電間隔の時系列が定常である時にのみ使用できるという制約があるから、分析の適用はあらかじめその系列が定常であることを証明してからなされなければならない。もしその系列が定常でないことが判明された場合は、まずそれを定常化してからでなくては、この解析法は用いられない。この点で最初に問題になるのは前述の *Slow undulation* であるが、このものは適当な数学的方法で除去できるし、残りの変動、すなわち *Irregular fluctuation* もまた、各々の数値の分布を確かめることによって、必要な数値変換を行えば定常化できることがわかっている。野村は放電間隔時系列について(1) 緩慢な動揺の平均経過や動揺の振幅に長期傾向がなく、(2) 不規則な変動の平均値、分散および自己相関係数に長期傾向がない場合、この放電間隔時系列は定常であるとみなし、この時の筋がある状態で安定な活動を続けていると考えて分析を進めてよい、と述べている。次に、具体的な解析方法を述べる。

第1項 放電間隔時系列の解析方法 (Fig. 48)

(1) 放電間隔時系列は従来考えられているように、*Slow undulation* と、*Irregular fluctuation* の2つの異なった変動の要素が合成するものである。変動の週期が異なる2つの要素を分離するには、適当な長さの算術的移動平均を1回または数回反復し、移動平均値と実測値との差をとればよい。

(2) 緩慢な動揺は、放電間隔時系列の平均経過で、統計的には移動平均値の系列である。動揺の規則化、成分、振幅の増減が考察の材料となる。

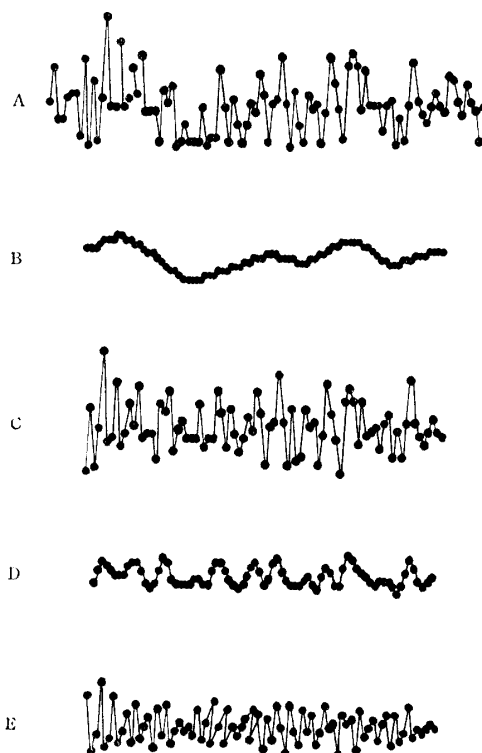


Fig. 48. Diagram showing the steps of procedure in the time-series-analysis by NOMURA

- A, Original time-series
- B, Slow undulation
- C, Irregular fluctuation
- D, H-type fluctuation
- E, R-type fluctuation

(3) 不規則な変動は、**Slow undulation** を除去した残りで、平均値はもちろん 0 で、長期傾向はない。この変動は不規則な小変化の連続であるが、おおむね変化の仕方の異なる 2 つの要素が集合して形成している。即ち、調和波に似た変動をする要素 (**H 型変動**) と、迅速に変化する持続の短い要素 (**R 型変動**) とである。この 2 つの変動の要素を分離するには、まず **R 型変動** を適当な加重移動平均を用いて選択的に除去する。残りが **H 型変動** であって、変動は不規則だが調和波に類似する。この変動の週期は **WHITTAKER** のペリオドグラム解析法を用いることによって計測できる。この変動は一般に、2 ないし 3 回の週期の異なる変動の合成であるようにみられるが、それぞれの週期と、もとの時系列の平均放電間隔との間には一定の関係があるので、その相関図を作り、 τ -**S** 曲線におけると同様な意味の 2 種類の週期の異なる調和波成分に大別することができる。

不規則な変動から **H 型変動** を除去すれば、変化の迅速な **R 型変動** が残る。**R 型変動** の週期や規則性の観察はコレログラム分析法による。一般に **R 型変動** のコレログラムは、減衰振動のそれに類似するので、この変動の母集団過程には、自己回帰型が予想できる場合が多い。よって、その解析法を利用することにより、週期や減衰比を計算することができる。

以上述べてきたように、この解析法はかなり複雑であるが、これを放電間隔時系列に適用することによって、この変動の成分は (1) 緩慢な動揺 (2) 不規則な変動の **H 型** および (3) **R 型** 成分に分離することができ、さらにそれぞれの変動の週期およびその規則性が数学的に表現できるので、詳細な検討を加えることができるのである。

第 2 項 各変動要素のもつ性質

放電間隔時系列の変動の要素は、上述の通り 3 種に大別することができるので、その各々の要素のもつ性質と意義について述べておく。

第 1 の要素は、単一 **NMU** の活動の平均経過とみなされる **Slow undulation** で、筋の収縮が見掛け上定常であっても、常在するこの動揺は、収縮の強さに対応してその振幅と規則性を変化し、しばしば呼吸と同期し、また体の **Swaying movement** を反映するが、ある種の疾病では特異な変化をすることがある。いずれにしても、この動揺には末梢受容器からの報知に対して、敏感に反応する中枢神経系の興奮活動の変化がよく反映されてくると考えられている。

第 2 の要素は、**H 型変動** と名付けられた不規則な変動の中の調和波成分である。週期分析法によって求められた優勢の週期と、原系列の平均放電間隔を対応させて週期図を描くと、**C** 曲線および **S** 曲線の 2 つの曲線に沿って分布する点群に分離する。**C** 曲線に沿う点群は、既述の τ -**S** 相関図における **Cortical** 要素の週期に相当し、**S** 曲線に沿う点群は **Spinal** 要素の週期を表わしていると考えられる。筋の収縮活動に対する **Corticalization** と **Spinalization** の具体的な説明が可能になる。

第 3 の要素は、**R 型変動** と名付けられる不規則な変動の中の成分であって、脊髄単位の神経活動の変化を表わしている。週期とその規則性 (減衰比) が問題にされる。**R 型変動** に対して、脊髄単位の神経機構における自己調節作用を結びつけることによって、**NMU** に **Kinetic (K-NMU)** および **Tonic (T-NMU)** の 2 種類の機能の異なったものがあるという考え方を明確に説明することができる。たとえば、**K-NMU** は互いに **negative** な関連をもって放電を反復し、これによって迅速な、しかし変化しやすい調節の方式をとり、**T-NMU** は放電の配列が不規則であるが、間隔の変動の幅の少ない、より安定な調節の方式をとる。そして、何らかの原因で求心性インパルスが減少すれば、**K-NMU** は本来の調節作用が乱れて不規則となり、求心性インパルスが増加すれば、**T-NMU** は放電間隔が互いに負になるような簡単な調節の方式をとってくる。このような調節の方式を基礎にして判断するこ

とによって、 $\bar{\tau}$ -S 相関図において重複する、水平部分における K, T 2 種の NMU を分離することができることになる。

第 2 節 時系列解析法による外肛門括約筋の神経支配に対する検討

野村³²⁾³³⁾の提案した放電間隔時系列解析法を、本筋からえられた放電間隔時系列に応用し、その神経支配と機能について詳しい観察を試みた。

犬に賦課した課題は、正常駐立姿勢のほか 8 種類の姿勢変化である。解析は、平均放電間隔の大きさの異なる時系列をできるだけ数多くとり、平均経過と分散に趨勢が認められないことを確かめた 100 項以上連続したもののみを用いて行なった。

第 1 項 緩慢な動揺

緩慢な動揺は、統計的には移動平均値の系列である。ここでは、7 点算術的移動平均を 3 回繰り返すことによって求めた。平均放電間隔の異なる時系列につき、動揺の型と振幅に注目すると、Fig. 49 A に掲げた例のように、一定の傾向が認められる。即ち、平均放電間隔の長い系列ほど動揺の幅が広く、短い系列ほど振幅が狭い。この性質は、姿勢の如何にかかわらない。そこで、平均放電間隔 ($\bar{\tau}$) を横軸に、動揺の平

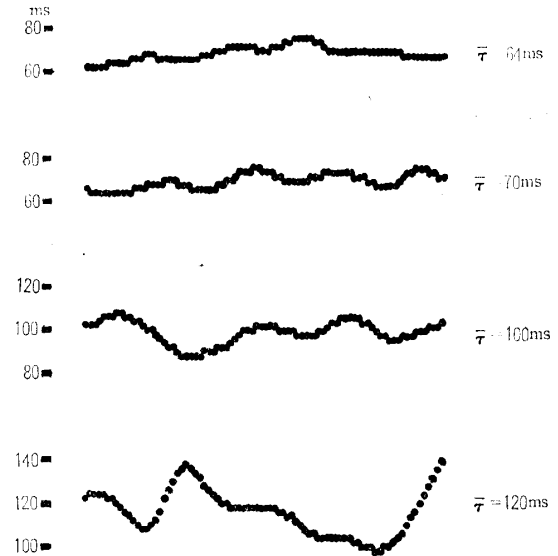


Fig. 49. Diagram showing the different types of slow undulation

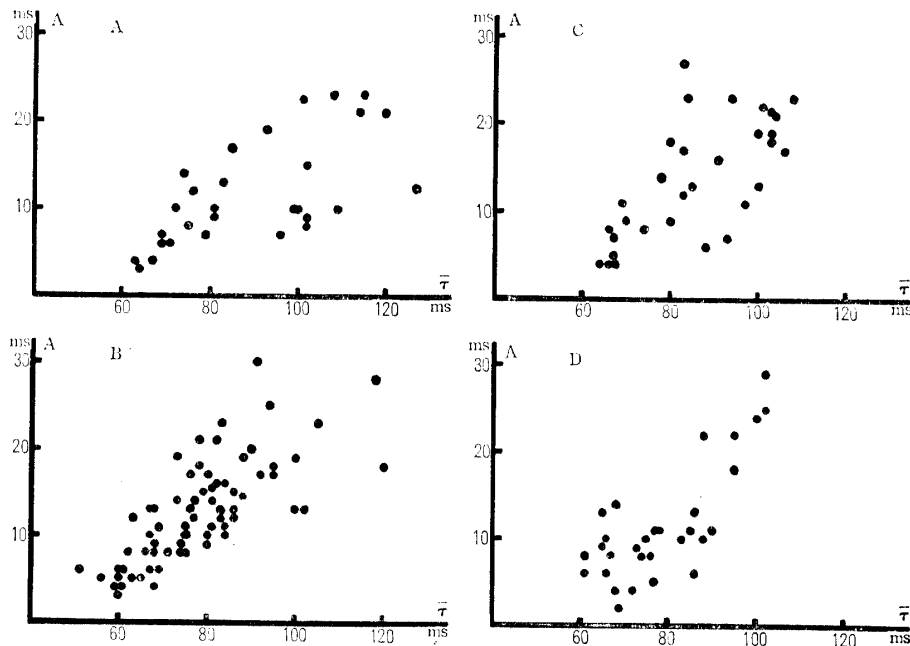


Fig. 50. Correlation diagram between $\bar{\tau}$ (Average of discharge-interval-time-series of a NMU) and A (Amplitude of slow undulation)

- A, Normal standing posture
- B, Recumbent, prone, supine and sitting posture
- C, Forward- and backward-inclined standing posture
- D, Standing posture on a moving board

均振幅 (A) を縦軸にとって、両者の相関図を描くと Fig. 50 のようになる。この $\bar{\tau}$ -A 点の分布は、ほぼ尻上りの直線に沿って分布するが、その回帰直線を求めると、正常な駐立姿勢における勾配が最もゆるやかで、前より、後より姿勢および犬座、腹臥姿勢などがこれよりやや急、シーソー運動における回帰直線が最も急である。

緩慢な動揺の発現には、上位中枢の興奮の動揺が反映されていると考えられている。正常な駐立姿勢と比較して、他のすべての姿勢において動揺の振幅が相対的に増大し、なかんづく、最も不安定なシーソー運動において、その振幅が著しく増加している。姿勢の保持における不安定さに伴って、皮質運動領における筋の収縮活動に対する指定の動揺を反映していると考えたいが、これだけでは単に姿勢の変化による筋活動の平均経過の動揺の増加を指摘できるだけである。

第2項 H 型 変 動

不規則な変動の中に、相隣る放電間隔が互いに負の関連をもち、2個で1週期を作るような連なり方をする変動の要素が多くあるので、これを選択的に除去するような加重移動平均を施し、それよりもはるかに週期の長い H 型変動を分離した。WHITTAKER のペリオドグラム解析法を施し、優勢な週期を求めた。平均放電間隔とその週期とを対応させて相関図 (τ -P 相関図) を描けば Fig. 51 のよう

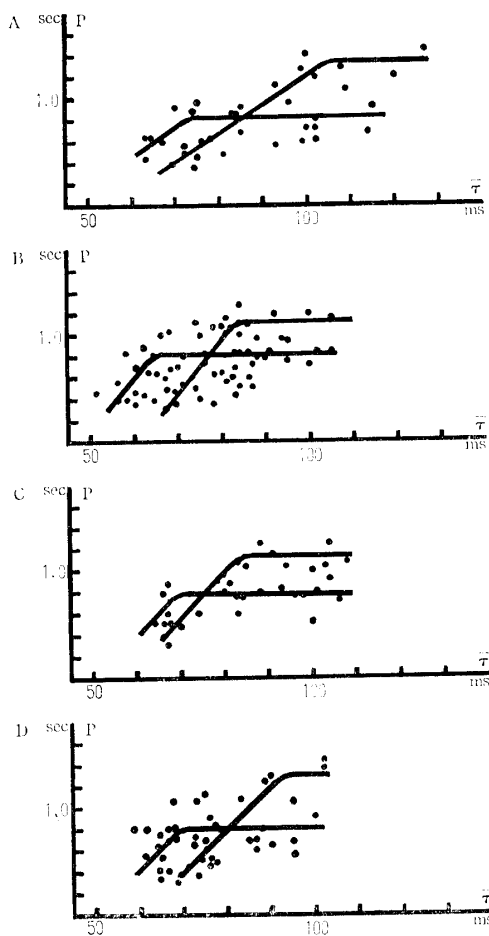


Fig. 51. Correlation diagram between τ and Period (P) of H-type fluctuation

A-D: Same as shown in Fig. 50

になる。一般に H 型変動では1つの変動から週期の異なる2つの要素がえられる³²⁾³⁵⁾が、その各々をプロットし、それぞれの密度の高い部分を通る曲線をひくと、C 曲線および S 曲線がえられる。正常な駐立姿勢における本筋の C 曲線は、 τ が 70 ms で 0.40 sec, 90 ms で 0.95 sec, 110 ms で水平部分に達し、最大週期 1.30 sec である。S 曲線の水平部分は 70 ms から始まり、その最大週期は 0.80 sec である。これに対して横臥位、犬座などの姿勢をとらせると、C 曲線の水平部分は 1.10 sec に下行し、上昇部分の傾斜は著しく急峻になっている。すなわち、平均放電間隔が 70 ms で 0.40 sec, 80 ms で 1.00 sec, そして 85 ms で水平部分が出現している。また S 曲線は 65 ms で水平部分に達し、最大週期は 0.80 sec である。S 曲線の位置は前者とほとんど変わらない。前より姿勢または後より姿勢をとらせると、C 曲線は 65 ms で 0.40 sec, 80 ms で 1.00 sec, 水平部分は 90 ms から始まり、その最大週期は 1.10 sec で、やはり最大週期が短縮し、S 曲線は前の状態と較差はない。さらに駐立面を動揺させてシーソー運動を賦課すると、C 曲線は 70 ms で 0.40 sec, 90 ms で 1.10 sec, 95 ms で水平部分が現われ、その最大週期は 1.40 sec となり、むしろ逆に延長してくるが、S 曲線の水平部分はやはり 0.80 sec である。

H 型変動の週期図における2種の曲線の中、C 曲線

は **Cortical** 要素の活動に関係し、**S** 曲線は **Spinal** 要素の活動の週期に関係すると考えられている。**C** 曲線の水平部分が出現する位置は、既に述べた $\bar{\tau}$ -**S** 曲線の水平部分が上昇部分に移行する彎曲点におよそ一致し、この位置から $\bar{\tau}$ -**S** 曲線の上昇部分、即ち **Cortical** 要素の本来の働きが表出してくる。駐立時の本筋の $\bar{\tau}$ -**S** 曲線では 100 ms を越えてはじめて上昇部分に移行したが、この週期図における水平部分の現われる位置と一致している。また横臥位、犬座などの姿勢をとらせるか、または傾斜面に立たせた場合は、 τ -**S** 曲線はいずれも正常曲線より左に偏り、平均放電間隔 80 ms の位置から上昇部分に移行していたが、**H** 型変動の週期図の水平部分もほぼ同じ位置に現われている。また、シーソー運動における $\bar{\tau}$ -**S** 点はおよそ正常曲線に沿って分布し、前より姿勢に移行するような運動を含めた場合に、分布がわずかに左偏してきた。週期図における **C** 曲線の水平部分は 90 ms 、即ち正常駐立姿勢に比べて約 10 ms 短縮した位置から現われており、丁度前より姿勢と、後より姿勢を交互に賦課したシーソー運動時の $\bar{\tau}$ -**S** 曲線の中間の位置に当たっている。

これらの所見を、野村のえた四肢の骨格筋の週期図³⁵⁾と比較すると、正常駐立姿勢における週期図では、**C** 曲線の水平部分が現われる位置はるかに遅く 100 ms を優に越え、四肢筋に比べて **Spinal** 要素の関与がはるかに多いが、姿勢を変えることによって、 20 ms 以上の短縮をみ、むしろ **Cortical** 要素が容易に参加しうることを示している。このことは、四肢筋ではほとんど認めることができない。感覚刺激によって本筋の活動を誘発し、また中枢興奮薬の影響が明瞭に現われてくることなどからも推測することができる。**S** 曲線は姿勢の異同によってほとんど動かないが、これもまたあらゆる時期において肛門の持続的な収縮が持続されている **Tonic** な活動に対する **Spinal** 要素の支配を反映するものと考えられる。

第3項 R 型変動 (Fig. 52)

不規則な変動から **H** 型変動を抜き去ると、**R** 型変動が残る。**R** 型変動の自己相関係数を算出し、コログラム分析法によってその変動の週期の減衰比を求め、その相関図を描いた。ただし、ここでいう週期は、各波動を構成する放電間隔の数のみを表わし、時間の要素は除いてある。また、週期 2 以下の変動は存在しない。計算された減衰比は、駐立姿勢では $0.5\sim 0.9$ 、腹臥位などでは $0.45\sim 0.9$ 、前よりおよび後より姿勢では $0.55\sim 0.9$ 、シーソー運動では $0.55\sim 0.85$ の筋囲内に分布し、ほぼ同等であって、変動の規則性には差がないとみられる。週期は、駐立姿勢ではおよそ $2.2\sim 3.0$ の範囲に分布しているが、週期 2.5 を境にしてそれ以下およびそれ以上の週期を有する変動の割合をみると $1:6.5$ になっている。腹臥位、犬座位などでは分布域は $2.2\sim 2.9$ 、比率は $1:3.4$ 、前よりおよび後より姿勢においては分布域が $2.3\sim 2.8$ で $1:2.2$ の割合を示し、シーソー運動時には $2.3\sim 2.9$ の範囲内に $1:2.7$ の比率で分布している。姿勢を変化することによって、変動の週期は静止駐立時よりも短縮していることがわかる。

ひとの骨格筋における単一 **NMU** は、相働的な **K-NMU** と、緊張的な **T-NMU** の 2 種類が存在し、その **R** 型変動の減衰比は、**K-NMU** では $0.5\sim 0.8$ 、**T-NMU** では $0.4\sim 0.9$ である。**K-NMU** の減衰比の変動範囲はやや狭く、**T-NMU** ではこれよりやや広いが、規則性にはさほどの差がない。上の成績の減衰比の範囲は大部分が重複し、姿勢による差は現われていない。また週期については、週期 2.5 を境にして区切ると、ひとの **K-NMU** は $1:0.05$ 、**T-NMU** は $1:1.79$ であって、**K-NMU** では 2.5 以上の週期をもつものは、ほとんど現われてこない。すなわち、**K-NMU** は互いに負の関係をもって変動する場合は圧倒的に多いのであるが、**T-NMU** では 1 週期を $2\sim 4$ 個の放電が構成し、はるかに週期の長い複雑な構成になっている。本筋に限らず犬の骨格筋では、一般に $\bar{\tau}$ -**S** 曲

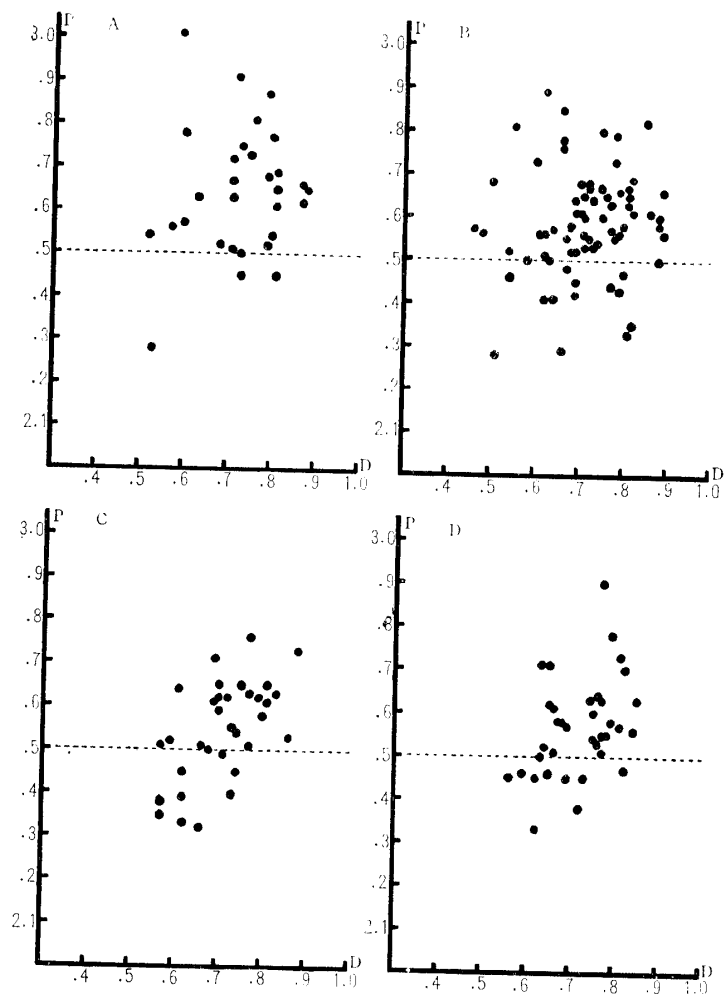


Fig. 52. Correlation diagram between Period (P) and Decrement (D) of R-type fluctuation

A-D : Same as shown in Fig. 50

線が K, T 2本の曲線に分離することなく R型変動の週期によっても明瞭に K, T-NMU を分割することはむつかしいものと思われる。

しかし、前述の成績によると、駐立姿勢における本筋の分離を週期 2.5 を境界にしてみた場合、2.5 以下の週期のものが 1 に対して、2.5 以上のものが 6.5 で、ひとの T-NMU とほとんど同等であるが、姿勢を変化することによって 2.5 以上の週期をもつものが著しく減少し、腹臥位、犬座位などでは 3.4、前よりおよび後より姿勢では 2.2、シーソー運動では 2.7 まで減少し、明らかに求心性インパルスが増加し、脊髓単位における自己調節機構の活動が R型変動の週期を短縮するように働いていることがわかる。

時系列解析法によって、放電間隔時系列を緩慢な動揺と不規則な変動に分ち、さらに後者を H型変動と R型変動に分けることによって、1つの NMU の活動に対する中枢神経機構の関与の姿の概要を推定することができる。上述した通り、本筋における緩慢な動揺は、姿勢の維持が困難になるほどその振幅を増加し、収縮活動の指定に対する上位中枢の関与の割合を増加することが想像できるが、H型変動の Cortical 要素の参加の状態を、その C 曲線の水平部分の出現する位置についてみると、姿勢の変化がどんな型であっても、容易に Cortical 化が起るようみえる。このことは、薬物刺

激などによって骨格筋にはみられない活動の増加からも推定されるところであるが、一方では **S** 曲線がすべての姿勢において固定し、**Spinal** 要素が常に収縮活動の基礎になっていることを思わせ、 \bar{r} -**S** 曲線の右偏と共に本筋の緊張性収縮の基盤になっていることを裏書きしている。また、**R** 型変動における減衰比は、他の骨格筋と同等の減衰比をもっているが、週期の面ではひとの **T-NMU** と全く一致し、**K-NMU** を分離することは困難である。しかし、姿勢を変化することによって週期は著しく短縮し、求心性インパルスの増加を惹起してくる。これもまた、既に \bar{r} -**S** 曲線における分布の左偏と合わせて、本筋に対する神経機構の活動の参加が比較的容易に行なわれることを示すものである。

小 括

時系列解析法によって、放電間隔時系列を緩慢な動揺、**H** 型変動および **R** 型変動に分離することができ、**H** 型変動はさらに **C** 曲線と **S** 曲線に沿う 2 つの要素に分けることができる。緩慢な動揺により、姿勢変換、重心の移動などに高位中枢の活動の参加が推測され、**H** 型変動の **C** 成分によって、**Cortical** 要素が姿勢変換などに伴って増加することが知られたが、**S** 成分は **C** 成分が表出する場合でも存在した。このことは **Spinal** 要素が加重して、**Corticalization** を表出することを思わせる。**R** 型変動は姿勢の変換などにより、週期が著明に短縮し、これが脊髄レベルにおける求心性インパルスの増加による本筋の自動制御の状態を反映している。

第 6 章 考察ならびに結論

外肛門括約筋は、脊髄神経系の支配下にある骨格筋と、機能および構造を同一にする体性運動系の一員であるが、排糞時以外放電活動を絶対に休止しないという特異な性質をもっているため、たびたび研究の対象にあがる筋であるが、その性質について詳しい観察を加えた研究はむしろ数が少ない。

ひとの外肛門括約筋に関しては **FLOYD & WALLS**⁷⁾ の表面電極法による研究と、**KAWAKAMI**¹⁴⁾ の針電極法による研究が、最も詳しくこの筋の性質を調べている。

本筋の持続的な放電活動が、排糞時のほかに静止の状態で消失することについて、**KAWAKAMI**¹⁴⁾ は直腸内に内容が存在する時、もしくはエポナイトボールを人工的に挿入する時は、多少努力すれば筋を弛緩せしめて、放電を消失させることができ、また内容空乏時でも肛門開張の努力を続ければ同様に放電を消失させることができると述べている。益田²⁵⁾ は、生理的食塩水を注腸した場合、注入量の増加と共に放電は漸減し、遂には消滅したことを報告し、その原因に陰部神経を介する求心性インパルスにもとづく反射を推定している。さらに **SEMBA** らは、本筋の自発的収縮活動が膀胱⁴²⁾ や、小腸⁴³⁾ の内圧を高めることにより抑制され、本筋の活動に自律神経による調節機構があると推定している。著者の成績では、直腸内へバルーンを挿入して加圧することにより、放電間隔が延長して、常態における **Tonic** な放電が抑制されることを認めた。また、腰髄の高さで脊髄を切断した犬について同様の加圧を行えば、加圧に対する反応は一層著明にひき起すことができ、完全にその放電を消失させることができることを証明した。一方、**BISHOP**³⁾ が除脳猫を用いて、本筋の調節機構を研究している際に、排便にあたり、初め糞の排出に拮抗する収縮をみるが、遂には放電が消失して便塊の排出が始まり、終了と共に再び強い収縮が起り、放電の斉射が起ることを認め、また骨盤神経の切断、結腸粘膜の麻酔によりバルーン拡張による抑制作用が阻害されることを述べている。益田²⁵⁾ は生理的食塩水注入時の抑制現象に対し、直腸壁伸展による求心性インパルスが大脳皮質を賦活し、その抑制の効果として筋の弛緩をきたすものであろうと推定しているが、著者の脊髄切断犬における著明な抑制効果の知見によれば、この抑制作用は骨盤神経の求心性インパルスが、陰部神経の遠心性神経に抑制的に作用して、本筋の放電を消失せしめる反射性の効果として説明する方がよいと思われる。排便時の

本筋弛緩の機構を示す要素の1つとして、反射的な回路を考えるべきであろう。これに対して、安静時の放電活動を増加させる条件は数多くみいだされる。KAWAKAMI¹⁴⁾、FLOYD & WALLS⁷⁾ および益田²⁵⁾は、発声、咳嗽、深い呼息、重量物のひき挙げなどの時にこれを認めた。即ち、そのいずれも腹圧を増加せしめるものである。これについて益田は、腹圧による会陰の膨出を防ぐ拳肛筋の収縮に関連して、本筋の拮抗的な活動が誘起されたもので、腹圧の増加に対する反射的興奮であるとしている。しかし、著者の実験における腹圧増加に対しては、一過性の放電が起ってから、放電の停止が認められている。犬に、随意的に腹部を収縮または緊張させることはできないので、手をもって腹部を圧迫して腹圧を上昇せしめたことが、異なった結果をもたらしたとも考えられる。KAWAKAMI¹⁴⁾は、排便の感覚を伴う腹圧増加は放電の抑制を伴うが、直腸が空虚な場合、意識的に行なわれる肛門の強制拡張により放電が消失するという現象に対して開張の努力により漸次増加した腹圧が、本筋を支配する前柱細胞に抑制的に働き、その結果、放電が消失すると説明しているが、犬においてみられる放電活動の抑制は、腹部圧迫による直接の効果と同時に、圧迫によって臓器への物理的圧迫が加わり、その結果生じる臓器内圧の高まりによって自律神経を介しての反射による抑制⁴²⁾⁴³⁾によって、本筋の活動が抑制されてくるとも考えられるので、益田の説明が全部を尽しているとはいえない。

本筋の放電を促進する原因として、さらに感覚刺激による収縮の誘発がある。KAWAKAMI¹⁴⁾によると、この現象は肛門周囲に対する機械的、温熱的刺激による Anal reflex のみならず、体軀の各部分に対する触刺激、痛刺激によっても誘発することができるといっている。また FLOYD ら⁷⁾の指頭挿入実験でも、指の軽い肛門周囲への接触によって、緊張性放電が強化することを認めている。著者の成績によると、痛刺激を行なった体軀6部位の中、刺激に対して放電の増加に効果があったのは後軀諸部位における刺激で、前軀諸部位の効果ははるかに弱かった。後軀諸部位中、会陰部に対する刺激はとくに強い反応をひき起し、後趾間の刺激はこれより更に弱かった。また、脊髓切断犬に対する会陰刺激は極めて顕著な放電を誘発した。直腸内にバルーンを挿入して、その膨脹により加圧すると、本筋に抑制的效果が現われ、会陰部の触刺激によって放電に促進的效果を与えるのであるが、脊髓を切断して同様な実験を試みると、バルーン加圧による抑制、会陰部の触刺激に対する促進、いずれも intact な犬におけるよりも顕著に現われた。このことは、脊髓切断による本筋の収縮活動に対する上位中枢の調節がありうることを裏書きしているもので、脊髓の切断による一時的な興奮によるものではなく、中枢抑制の欠除した解発現象と解釈した方がよいと思われる。実際、脊髓を結紮し中枢の支配から離断した状態で、長時間にわたって観察を継続すれば、結紮後の初期においては連続刺激に対して強い反応がみられるが、数日を経過して、結紮による興奮が消失したと思われる時期では、放電活動は更に増強し、刺激に対して大振幅の、持続の長い Interference voltage が発現する。結紮後約1週間を経過すれば、刺激に対する反応も次第に弱くなり、2週間後にはほとんど刺激に反応しなくなる。結紮によって、それ以下の脊髓に変性が起り、その進行に伴って反射中枢の機能が廃絶するためである。

安静時の放電の増加は、更にアンモニア水による嗅刺激によって誘発することができる。嗅刺激により一過性の強烈な Phasic の収縮活動が起り NMU の放電間隔の短縮と新規の放電の参加が認められる。ただ、嗅刺激の回路が嗅細胞から嗅三角を経て感覚領に達し、運動領もしくは皮質下の反射中枢から、遠心性インパルスとして前柱細胞を興奮せしめるのであろうが、よく発達した嗅球と、鋭い嗅覚を持つ犬において、視・聴覚に対する刺激をはるかに越えて強い賦活作用をもたらしたことは興味深い。

筋収縮の神経的機序を説明するのに、単一神経筋単位の反復を用いることが広く行なわれている。

この方法に2種類ある。一方は、放電間隔時系列の平均放電間隔 τ と標準偏差 S を計算し、その相関図において τ - S 曲線を求め、その性質の変化をとらえて神経機序の変化を知ろうとする時実⁴⁹⁾の方法で、他方は、1つの放電間隔時系列の成分を個々に取り出して、各々の性質を求め、その変化によって神経機序の行動を知ろうとする野村³⁴⁾の方法である。前者は、方法論的にみて、後者よりはるかに簡単であるから広く普及しているが、随意運動を対象にするので、意志の発動を被動的に行なわせることの困難な実験動物に利用することはむづかしい。しかし、野村^{34)~38)}は、姿勢の被動的変化を組み合わせることによって、ひとと同様の取扱いができることを明らかにし、なかんづく犬では、ひとと同じ形の τ - S 曲線を求めうることを実験的に証明した。犬を自然に駐立させた時の本筋の τ - S 曲線は、他の骨格筋の τ - S 曲線と同様に、水平部分と上昇部分を区別しうる曲線である。また、ひとの骨格筋においては、1つの筋から K 、 T 2本の曲線が求められており、 K 曲線は皮質運動領第4野の支配を受け、迅速な相働的収縮活動に適する Kinetic NMU の分布を代表する曲線であり、 T 曲線は第4野以外の神経機構の支配を受け、持続的な緊張的収縮活動に適する Tonic NMU の分布を代表する曲線である⁴⁹⁾⁵⁰⁾。犬の τ - S 曲線は一般に、明確に K 、 T 曲線に分離しないが、駐立する踏板的傾斜を変え、偏倚姿勢をとらせ、また踏板的のシーソー運動によって、姿勢を律動的に変化させることによって不確実ながら2種類の曲線を分離することができ³⁶⁾、また脊髄神経の後根を切断し、求心性インパルスを量的に減少させることによって、明瞭に K 、 T 2種の曲線を分離することができるので、犬の骨格筋もまた、ひとと同様に収縮の性質を異にする2種類のNMUによって構成されていると考えられている³⁷⁾。

本筋の τ - S 曲線もまた、*intact*な犬においては2本の曲線に分かれなかった。しかし、その τ - S 曲線を他の骨格筋、たとえば四肢の諸筋のそれと比較してみると、**KAWAKAMI**⁴⁴⁾がひとを材料にしてえたものと同様に、水平部分が著しく長く、上昇部分の傾斜が緩徐で、その位置が骨格筋のどれよりも右偏していた。水平部分の位置は一般に、骨格筋の位置よりも高い(分散 S が大)が、これについて**KAWAKAMI**は、本筋に対する調節機序は、筋以外の皮膚、粘膜などに存在する感覚受容器による外受容性(*exteroceptive*)の調節に依存していると推定し、筋の固有受容性(*proprioceptive*)感覚器による調節は、放電間隔の変動の幅を小さくする性質をもつことをあわせて想定している。骨格筋の活動の調節が、脊髄準位において、筋肉内に存する筋紡錘からのインパルスに依存することは周知の通りである。筋紡錘を賦活し、筋の緊張を維持するのは、筋紡錘の内包筋線維に分布する γ 線維であるが、本筋における筋紡錘の存在についてはなお明確な証明がない。**BISHOP**⁴³⁾や**WALKER**⁵³⁾により不確定ではあるがその存在に対する機能の面からの証明があるが、本筋が粘膜や皮膚に対する刺激に対して、むしろよく反応すること、および τ - S 曲線の水平部分の位置が相対的に高いことを根拠にして、*exteroceptive*の感覚器によってより多くの報知をうけ、それによって反射的な調節がなされているものと考えておく方がよいと思われる。

発育に伴って形態上の変化が起ると同時に、機能的な変化が随伴することについて疑うものはない。筋の発育も同様であって、形態の変化は常に機能の発育と共に起っている。犬の四肢筋の発育に伴う筋活動様式の変化については、田場ら⁴⁷⁾が次のように報告している。発育に伴って単一NMUの放電間隔時系列における緩慢な動揺は、振幅の大きな不規則な動揺から次第に安定した律動的な動揺に移り、筋活動が月令と共に安定性と恒常性を増すことを示し、一方不規則な変動では、発育の初期において、筋活動に対するCortical要素の増大を裏書きする τ - S 曲線の左偏がみられ、ついで τ - S 曲線は次第に右偏して、筋活動を支配する神経機構の活動の皮質下への移動が起ってくると推測する。生後2カ月から8カ月までの本筋からえられた放電活動について、放電間隔時系列の緩慢な動揺

は、発育の初期における平均放電間隔の短い系列では振幅が小さく動揺が規則的であるのに対して、長い系列では極めて不規則な動揺とその振幅の増大がみられたが、月令が進んでも、また雌雄別にみても、この傾向は変わらず、成犬と全く同様の性質をもっていた。従って、生後2カ月において既に本筋は、機能的に成長を完了していたと解釈せねばならなかった。川上¹⁵⁾はひとの本筋について、7カ月早産児と成人の $\bar{\tau}$ -S 曲線を比較して、早産児の T 曲線が著しく右偏していることを認め、早産児、初生児の筋活動に皮質運動領の神経機構の活動の参加の割合が著しく少ないと推定している。また発育に伴う上下肢筋の機能分化に関する観察において、上肢筋の τ -S 点は 10 才前後で成人に近づくのに、下肢筋のそれは 2~4 才で既に完成に近づくことを証明して、Tonic 要素をより多く持った筋ほど早く機能の分化が終ると述べている。著者の成績もまたそれと相似し、2カ月令において、 $\bar{\tau}$ -S 曲線の位置が成犬と同様にすべての骨格筋より右偏して分布し、機能の面では最も早く分化が完了すると推測された。

駐立姿勢における $\bar{\tau}$ -S 曲線の分布に個体差が認められた。FLOYD⁷⁾がひとの本筋の個体差について、情緒の要因が強く、警戒心の強い人では、そうでない人より放電の密度が高く、反射の態度も異なると述べている。この実験に使用した6頭の犬は、それぞれ育成の環境が異なり、飼育の期間もまちまちであり、また実験に対する慣馴の程度も異なるので、この差を生じたのであろう。個々の $\bar{\tau}$ -S 曲線を詳しくみると、見掛け上実験に習熟した犬ほど右偏する傾向がみられる。稲田¹¹⁾と川上¹⁵⁾は、四肢の骨格筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線が、訓練によって右偏すると述べ、また川上は長期間使用しなかった上下肢筋の T 曲線は左偏すると述べている。個体による τ -S 曲線の分布の位置に現われる小差は、おそらく慣馴することはないといわれている痛刺激（針電極の刺入）に対してさえ、反応の態度が変移してくることを示していると思われるので、訓練の効果が主な役割を演ずると解釈しておく。

本筋の活動に中枢神経系の関与があると考えられるので、薬物を投与してその影響をみるほか、薬物の投与後さらに刺激を負荷することを試みた。中枢神経系興奮薬として Methamphetamine と Caffeine を投与したところ、両者の作用効果には明らかな差異が認められた。即ち、Methamphetamine により、放電間隔ダイヤグラムの変動の幅は、注射後1時間30分に短縮するが、2時間30分後には注射前の状態に復し、 $\bar{\tau}$ -S 相関図においては、本薬の大量を投与することにより、骨格筋の収縮活動が tetanic になり、 $\bar{\tau}$ -S 曲線が右偏する、という大久保ら³⁹⁾の成績と一致する。これに対し、Caffeine を投与した場合は、注射後30分と1時間30分の両時期に放電間隔ダイヤグラムの変動の幅は逆に増大し、この時点における $\bar{\tau}$ -S 曲線は、正常曲線より左に偏り、Corticalization の傾向が認められた。中枢神経系に対する Caffeine の効果は下行性で、大脳が最も早く賦活され、ついで順次に下位中枢に進行する¹⁷⁾が、大脳皮質ではとくに感覚領の機能充進が著しいとみられている。これは主として作用の現象面からの観察であるが、脳波学的研究により高木¹⁷⁾は、大脳皮質の速波成分を増加させるので、Caffeine は脳幹網様体の賦活系に作用するといっている。Methamphetamine の中枢作用点について BRADLEY¹⁸⁾ は中枢網様体を推定し、LANGOら¹⁸⁾ は視床下部を考えている。Caffeine と Methamphetamine のいずれも作用点が確定しているとはいえないが、現象における類似性は WEISS & LATIES¹⁷⁾ が述べている通り、Caffeine および Methamphetamine の作用が、筋的活動を賦活するという点にあるが、前述した通り、筋の構成単位の活動は異質のものであって、一方は Cortical 要素の賦活、他方は Spinal 要素の賦活である。

ところで、OHKUBO⁴⁰⁾ は、犬について心拍数または心拍間隔に対する Methamphetamine と Caffeine の作用を比較している。Methamphetamine を投与した犬では、投与1時間30分後に電鈴によって聴刺激を加えると、刺激に反応して急激な心拍数の増加が起るが、それは一時的で、2時間以後

には現われなかった。Caffeine の場合は、投与 15 分後に早くも聴刺激によって心拍数が増加し、45 分後に最高度に達した。その後、刺激に対する反応が減衰するが、1 時間 30 分後再び前と同様の現象が起きてきたと報告している。この成績と著者のえた成績を比較すると、著しい類似性があることがわかる。たとえば、Caffeine の本筋に対する作用は 30 分において最も強く、その後回復するが、1 時間 30 分後に再び効果が現われる。Methamphetamine の作用が表出する時間についてもほぼ一致している。OHKUBO の方法に準じ、著者も両薬物を投与した犬で聴刺激を行なったところ、Methamphetamine を投与すれば 1 時間 30 分後に平均放電間隔の短いものが出現し、Caffeine を投与すれば、投与 15 分後に与えた聴刺激により Slow undulation が平坦となり、 τ -S 相関図における分散が減少した。Caffeine の作用は Methamphetamine に比べると、聴刺激に対しはるかに鋭敏に反応した。野村³²⁾によれば、Slow undulation は筋の活動を指定し、その収縮の強度を規定する上位中枢の興奮状態の遷移を反映するとしている。従って、Caffeine の投与における Slow undulation の変化は、上位中枢の段階における変化で、筋活動に対する Corticalization に対応し、Slow undulation に全く作用せず、Irregular fluctuation にのみ作用して筋活動の Spinalization を誘発する Methamphetamine とは作用点が異なるのである。OHKUBO は、Caffeine の投与が Methamphetamine のそれよりも聴刺激に対する感受性の亢進をより高めると述べているが、このような両者の質的相違にまで言及していない。著者の成績は、両薬物の作用効果は Caffeine において Corticalization, Methamphetamine において Spinalization で、質を異にするものであることを明らかにしているのである。いずれにしても、薬理作用の単なる現象面のみによって区分し難い中枢神経系興奮薬が、本筋を指標とすることによって、その異質性を弁別できる可能性があることに注目しておきたい。

薬物の効果に対する問題の 1 つとして Prostigmine の投与を行なった。Prostigmine の主な作用は抗 ChE である。ECCLES⁴¹⁾ は、猫の脊髄におけるシナプス電位を指標として、抗 ACh 薬が反射興奮性にならぬ効果も及ぼさないと述べ、FELDBERG⁴¹⁾ も、脊髄の ChE 含量が極めて微量なことから ACh を重視すべきでないと述べている。しかし FELDBERG, GRAY & PERRY⁴¹⁾ は、猫の頸髄に対する近接動脈法を用いて ACh の作用を検討し、2~40 sec に及ぶ前根のインパルス発射をひき起こすことを確め、ACh が介在 Neuron に作用するためであると考えた。江橋⁶⁾は、ACh はインパルス発射に関する因子そのものであるというより、興奮性を支配する因子であると解釈している。著者の成績によってみると Prostigmine を注射して 10~30 分後に、本筋の放電間隔ダイアグラムの変動の幅が短縮し、 τ -S 曲線の水平部分が延長して、明らかに Spinalization の傾向を示したが Slow undulation には全く変化がみられなかった。Spinalization は、現象面における活動の変化を証明する 1 つの考え方に留まるけれども、Slow undulation と独立に Irregular fluctuation のみに働きかけているという成績は、脊髄準位における ACh 作用の一面を物語り、脊髄内 ACh 伝達におけるシナプスの積極的な役割を裏書きし、求心性インパルスによる自動制御の形を表現していると思われる。

また、Chlorpromazine を投与してみた。Chlorpromazine の薬理作用は複雑で、なお不明の点が数多く残っているが、諸家の見解を総合すると、その作用は、中枢神経系抑制と自律神経系遮断に大別される。このうち、中枢性抑制の主たる作用点については、脳幹網様体にあるとする考え方が支配的である。しかし、網様体のどの部位、あるいはどの機能がとくに侵襲されるか、に関しては異論があって一致しない。TERGIAN ら⁵⁾、LEHMAN¹⁹⁾、小林ら²⁰⁾ および村山²⁷⁾ は、網様体上行賦活系が主体になると考えているし、これに対して高折⁴⁵⁾は、網様体の下行路を推定している。ところで骨格筋への影響については、CATHALA ら⁵⁾は、犬の第 3 脳室に Chlorpromazine を注入することにより、完全な麻酔をひき起こし、同時に角膜反射の消失と骨格筋の弛緩を認めている。DASGUPTA ら⁵⁾は、正常

な猫の静脈内に 0.5 mg/kg の Chlorpromazine を注射することにより、交叉伸展反射が完全に抑制されるのに、脊髓猫では 5 mg/kg の大量を与えてもわずかな減弱がみられたにすぎないことを確かめた。また、大脳皮質を除去した猫で、Chlorpromazine が sham rage を著明に抑制し、かつ骨格筋の緊張を緩和することを観察している。Chlorpromazine の投与により骨格筋は弛緩するが、その薬理については現在のところまだ推定の域を出ない。たとえば、DASGUPTA ら⁵⁾ は、脳幹網様体の抑制をあげ、村山²⁷⁾ は、MAGOUN の唱える中枢性促通径路、即ち、脳幹網様体脊髓路の麻痺によると推論する。また Chlorpromazine は脊髓の複シナプス径路を遮断し、この意味で Mephenesin と類似の作用をもつという BRUCK²⁸⁾ の見解もある。ところで、著者の成績によれば (1) Chlorpromazine により本筋の放電活動は消失する。即ち、抑制される。(2) このさい、尾根部をひき上げると再び放電が現われてくる。この実験は Chlorpromazine の薬理作用を検討する目的で行なったのではないので、これ以上追究はしていないから、従来の見解に従って解釈してみると次のようになる。Chlorpromazine によって、まず脳幹網様体を中心とする中枢性の抑制が起り、さらに脊髓性反射機能の減退が加わった結果、本筋の放電活動が消失した。挙尾によって尾根部から会陰にかけて加わった刺激が、Chlorpromazine によって上昇した皮膚反射の閾値を越え、放電を惹起した。

犬を傾斜面に立たせ、また動揺する地盤の上に駐立せしめる場合、四肢の骨格筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線は K, T 2種に分離させることができることを野村³⁶⁾ が報告している。本筋においても、横臥位、腹臥位、仰臥位、犬座位などをとらせることによって、また駐立する踏板を傾斜させて、前より姿勢または後より姿勢をとらせることによって、K, T 曲線を分離させることはできないが、 $\bar{\tau}$ -S 曲線を左偏させることができることから、筋活動の Cortical 化を推定する。更に、シーソー運動を課することによって、本筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線は、放電間隔の短い方に移動し、相対的に変異の幅を増大し、姿勢保持における Cortical 化、即ち上位中枢の筋活動への参加が増加している。 $\bar{\tau}$ -S 曲線の移動は、時系列解析法を適用することにより、更に詳細に神経機構の活動の変化を知ることができる。放電間隔時系列中の平均経過としての成分 Slow undulation は、姿勢保持の場合、小脳の検出器を通して高位の神経機構における姿勢調整に対する活動の動揺を反映すると考えられているが⁵⁰⁾、水平な地盤における姿勢の変化をはじめ、傾斜をもった踏板上の駐立姿勢の保持、あるいは動揺する地盤上での駐立姿勢の保持などにおいては、迷路一小脳を介しての調整が優勢となり、高位中枢における神経機構の活動の動揺の振幅が増大し、動揺の振幅が相対的に増大してくると考えられる。本筋における平均経過の動揺もまたそれに関連し、姿勢動揺の一部を反映しているのではないかと思われる。また、H 型変動中の C 曲線の水平部分の高さおよび上昇部分の傾斜は、Cortical 要素の参加の多寡に関係すると考えている。たとえば、顔面筋³¹⁾は四肢筋に比較して Cortical な要素の支配をはるかに多く受けるが、その C 曲線は傾斜の角度は急で、水平部分の位置が 1.3 秒以上である。脊髓癱患者の下肢筋³¹⁾では、C 曲線の傾斜の角度が急で、S 曲線を欠き、姿勢保持、運動などにおける皮質の神経機構の活動の依存の著しく大きいことを物語る。また、シーソー運動負荷時の犬の骨格筋では、C 曲線の水平部分の上昇が起こることが既にわかっており³⁵⁾、Corticalization は C 曲線の傾斜の増大と、水平部分の上昇に反映されてくると考えてよいのである。姿勢変換、シーソー運動などの負荷により本筋の R 型変動における週期の短縮が起こるとの知見をえたが、野村ら³⁵⁾はシーソー運動時の一関節性骨格筋における R 型変動の週期の短縮の原因に、求心性インパルスの増加と考えているが、本筋の場合もまた、同様の説明が可能である。本筋は骨格筋と全く同様の構造をもつが、骨格筋のごとく骨に附着することなく、協同筋や拮抗筋の修飾を受けることはほとんどない。このことは、この筋を材料にすることによって、横紋筋のもつ性質を isolate した形で調べることに意味をもたせている。本筋は、その作用の面から神経

支配が脊髄の準位に中枢をもつと考えられるが、実際 **Spinal** 要素の支配が優勢で、 $\bar{\tau}$ -S 曲線は著しく右偏し、**Cortical** 化が起っても、なお、**Spinal** 要素の活動は相変わらず残っている (**H** 型変動の **S** 曲線)。しかし、一方には **Cortical** 要素の関与が、他の骨格筋よりも容易に、しかも明瞭な形をとって参加しうるという特徴もあり、そのことが **Slow undulation** の動揺の形の変化、 $\bar{\tau}$ -S 曲線の左偏、あるいは **H** 型変動の **C** 曲線の水平部分の上昇などに反映されてくる。このように、神経支配の要素の変換による反応が明瞭であるために、たとえば **Caffeine** と **Methamphetamine** の作用点の差を明らかに示すことができたわけである。本筋を利用することにより、骨格筋に対する神経支配の詳細を分析的に考察しうる可能性は、著しく高いと考えられるのである。

結 論

犬の外肛門括約筋について筋電図学的検討を加え、次の結果をえた。

1. 外肛門括約筋は、常に緊張的な収縮を継続している。
2. 直腸内容の増加および腹腔内圧の増加に伴って、安静時の放電は減弱し、または消失した。常態および排便時における本筋の活動の機構を反映している。
3. 安静時の放電は、嗅刺激または痛刺激によって増強される。特に、会陰部への痛刺激は、放電活動の斉射をひき起した。視刺激、聴刺激は、本筋の収縮活動に変化を起さない。
4. 本筋の $\bar{\tau}$ -S 曲線は、犬の骨格筋の中で最も右側に偏在し、その神経支配に **Cortical** 要素の関与が少なく、**Spinal** 要素の関与が著しく優勢であることを示した。**K** および **T** 曲線は他の骨格筋と同様に分離しえなかった。
5. 本筋の機能分化が、生後2カ月以後に起るとは考えられなかった。
6. 姿勢の変化、体重の移動、強制的な姿勢変換などにより、容易に **Cortical** 要素の参加を誘発し、いわゆる **Corticalization** をひき起すことができた。
7. 薬物投与により、放電活動を変化させることができた。その作用は、他の骨格筋に比べてはるかに明瞭で、同じ中枢神経系興奮薬でありながら **Methamphetamine** は本筋の **Spinalization** をひき起し、**Caffeine** は本筋の **Corticalization** を誘発するなどの作用点の相違を指摘することができた。また、抗 **ChE** 薬は本筋の **Spinalization** を起し、中枢神経系抑制薬は本筋の収縮活動を著しく抑制した。
8. 脊髄犬においても、正常時と同様の **Tonic** な放電活動を発現し、刺激に対して敏感に反応した。
9. 時系列解析法を適用することにより、本筋筋活動の神経支配の内容をさらに詳しく検討することができ、これによって本筋における **Spinal** 要素の優性、**Corticalization** の機序を明らかにすることができた。本筋の持続的な収縮は、**exteroceptive** な感覚器により多く依存していると考えられる脊髄準位の神経機構の活動によるが、上位の神経機構の活動の参加もまた容易であって、前者即ち、**Spinal** 要素と、後者即ち、**Cortical** 要素の筋活動への参加が、骨格筋に比べてはるかに明瞭に分離して出現するという特徴をもっている。

文 献

- 1) BRADLEY, O. C. : *Topographical Anatomy of the Dog*, Edinburgh, London (1948)
- 2) BECK, A. : *Pflüg. Arch. ges. Physiol.*, **224**, 278 (1930)
- 3) BISHOP, B., GARRY, R. C., ROBERTS, T. D. M. and TODD, J. K. : *J. Physiol.*, **134**, 229 (1956)
- 4) BISHOP, B. : *J. Neurophysiol.*, **22**, 679 (1956)

- 5) DUNDEE, J. W. : *Brit. J. Anaesthesia*, **26**, 357 (1954)
- 6) 江橋節郎 : 神経機能と ACh, 医学書院, 東京 (1954)
- 7) FLOYD, W. F. and WALLS, S. F. : *J. Physiol.*, **122**, 599 (1953)
- 8) 稲田七郎 : 日獣誌, **17**, 65 (1955)
- 9) 稲田七郎 : 日獣誌, **19**, 1 (1957)
- 10) 稲田七郎・富永 聡 : 日獣誌, **17**, 183 (1955)
- 11) 稲田七郎 : 日獣誌, **17**, 235 (1955)
- 12) 加藤嘉太郎 : 家畜比較解剖学図説, 養賢堂, 東京 (1964)
- 13) 神森真一郎 : 日大医学誌, **18**, 3289 (1959)
- 14) KAWAKAMI, M. : *Jap. J. Physiol.*, **4**, 196 (1954)
- 15) 川上正澄 : 最近の筋電図学, 永井書店, 大阪 (1956)
- 16) 国枝友雪 : 日消化機病誌, **57**, 511 (1960)
- 17) 熊谷 洋 : 臨床薬理学大系, **2**, 中山書店, 東京 (1963)
- 18) 熊谷 洋 : 臨床薬理学大系, **3**, 中山書店, 東京 (1963)
- 19) 小林竜男 : 診療, **9**, 10 (1956)
- 20) 小林竜男・村山 智・福島重太郎・小倉保巳 : 日薬理誌, **52**, 150§ (1956)
- 21) LARSON, L. L. and KICHELL, R. L. : *Amer. J. Vet. Res.*, **18**, 853 (1958)
- 22) 増井 清 : 家畜比較解剖学, 養賢堂, 東京 (1958)
- 23) 益田勝児・山田千里 : 北海道産科誌, **5**, 105 (1954)
- 24) 益田勝児 : 日産婦誌, **8**, 240 (1956)
- 25) 益田勝児 : 産婦人科の世界, **10**, 1741 (1958)
- 26) MILLER, M. E. : *Anatomy of the Dog, Philadelphia, London* (1964)
- 27) 村山 智 : 日薬理誌, **53**, 90 (1957)
- 28) 森島庫太 : 薬理学, 南江堂, 東京 (1957)
- 29) 野村晋一・稲田七郎 : 畜産学の進歩, 391 (1956)
- 30) 野村晋一・沢崎坦・稲田七郎 : 日獣誌, **16**, 261 (1954)
- 31) 野村晋一 : 動物実験のための解剖, 西川書店, 東京 (1959)
- 32) 野村晋一 : 医学の動向—筋電図, 金原出版KK, 東京 (1956)
- 33) 野村晋一 : 最近の筋電図学, 永井書店, 大阪 (1956)
- 34) 野村晋一・穴戸弘明・増村陽子 : 日獣誌, **20**, 13 (1958)
- 35) 野村晋一・穴戸弘明・増村陽子 : 日獣誌, **20**, 59 (1958)
- 36) 野村晋一・穴戸弘明・増村陽子 : 日獣誌, **20**, 99 (1958)
- 37) 野村晋一 : 日獣誌, **20**, 223 (1958)
- 38) 野村晋一 : 日獣誌, **20**, 231 (1958)
- 39) 大久保義夫・野村晋一 : 日薬理誌, **55**, 125 (1959)
- 40) OHKUBO, Y. : *Ohkubo's Report, No. III* (1959)
- 41) 大谷卓造 : 神経興奮の化学, 朝倉書店, 東京 (1955)
- 42) SEMBA, T., MISHIMA, H. and DATE, T. : *Jap. J. Physiol.*, **6**, 108 (1956)
- 43) 銭場武彦・三島久人・平岡達 : 原著広島医学, **4**, 149 (1956)
- 44) SISSON and GROSSMAN : *The Anatomy of Domestic Animals, Philadelphia, London* (1956)
- 45) 高折修二 : 日薬理誌, **54**, 7 (1958)
- 46) 立津政順・後藤彰夫・萩原 豪 : 覚醒剤中毒, 医学書院, 東京 (1956)
- 47) 田場典治・穴戸弘明 : 日獣誌, **19**, 95 (1957)
- 48) 問田直幹・内蘭耕二 : 新生理学 (上巻), 医学書院, 東京 (1962)
- 49) 時実利彦 : 科学, **25**, 229 (1955)
- 50) 時実利彦 : 科学, **25**, 291 (1955)
- 51) 時実利彦・津山直一 : 筋電図の臨床, 協同医書出版社, 東京 (1956)
- 52) 時実利彦 : 医学のあゆみ, **15**, 146 (1953)
- 53) WALKER, B. : *Anat. Rec.*, **133**, 347 (1959)
- 54) 山田千里・益田勝児 : 日産婦誌, **7**, 205 (1955)

Summary

Together with the internal sphincter, the external sphincter muscle of the anus constitutes the muscle system around the anal canal.

This muscle is composed of the striated muscle fibers, and, as is usual with other skeletal muscles, belongs to the somatic motor system, being under the control of the spinal nervous system. But, in the following items, its activities differ from those of the other skeletal muscles.

1. Having no direct participation in the somatic movement, the function of this sphincter muscle is confined to the closing of the digestive-tract-opening.

2. In the execution of the function, mentioned above, this muscle receives no modification from either co-operative muscle or antagonistic muscle as is usually the case with other skeletal muscles.

3. Constant contraction is the usual state of the sphincter muscle, and it is only in the act of defecation that it relaxes.

4. From the aforesaid mode of activity, it may be reasonably assumed that the activity of the sphincter muscle is regulated, on the one hand, by the spinal (reflexive) impulses, while, on the other, by the cortical (voluntary) impulses. However, in either case, the only one purpose of the activity consists alike in closing the anus.

Thus, the functional specific characteristics of the sphincter muscle make its myophysiological research very full of interest.

Now, in the present research, in order to clarify the physiological properties of the external sphincter muscle of the anus, some electromyographic experiments were carried out using dogs.

Successive discharges of single NMU were led by a pair of silver needle electrodes inserted with the interelectrode distance of 1.0 to 1.5cm, with the results summarized as follows.

1) The external sphincter muscle of the anus always holds a constant state of tonic contraction.

2) The rectum distention by feces or by other artificial substitutes, or the heightened intra-abdominal pressure weakens or cancels the tonic discharge of the sphincter.

3) The augmentation of the tonic activity of the sphincter is occasioned in response to the stimulation of pain or of olfaction, especially the pain-stimulation given to the perineum brings forth the vigorous outburst of action potentials, without fail. The stimulation of visual or auditory sensations, however, has no influence on the tonic activity of the sphincter.

4) The τ -S curve obtained from the discharge-interval-time-series of a single NMU of the sphincter muscle shows a longer horizontal and a more slowly ascending part than that of the muscle of the hind limbs of the dog in normal standing, and is situated on the side righter than that of the above mentioned limbs. From this fact, it may be supposed that the sphincter muscle is activated chiefly by the spinal nervous system. And this τ -S curve is not to be divided into two curves (K-curve and T-curve) as in case of other skeletal muscles of the dog.

5) Both in the amplitude of the slow undulation and in the distribution of τ -S points, no functional change of sphincter muscle taking place with the growth, from the age of 2 months to that of 8 months is to be observed. This enables us to suppose that the functional differentiation of the sphincter has been completed within 2 months after birth.

6) Sphincter activities under the various postures were examined. In the several postures on the horizontal ground (recumbent, supine, prone and sitting); in the forward- or backward-inclined standing postures on the tilting board; and in the standing posture on the moving board, the situation of the τ -S curve on the correlation chart generally removes to

the left side. It is supposed that this removal of the curve is caused by the increased activation of the motor area in the cerebral cortex regulating the activities of the muscle.

7) Administration of drugs causes some remarkable changes to take place in sphincter activity. (a) Methamphetamine administered as a central-nervous-system-stimulant induces spinalization, while Caffeine causes corticalization on this muscle. Thus, it is proved evidently that, despite that these two drugs belong to the central-nervous-system-stimulant, on their activating points, there is a marked difference between them. (b) Anticholinesterasic provokes spinalization. (c) Central-nervous-system-depressants inhibit all sphincter activities.

8) Like other intact dogs, the spinal dogs respond sensitively to the stimulus, revealing the tonic discharges of sphincter.

9) NOMURA's method was applied to EMG for the purpose of analysing the time-series of the discharge intervals of a NMU. With the application of this method, the nervous mechanism was examined substantially and minutely: the existence of a predominant regulation by the spinal components of the central nervous system was assumed, with the ascertainment of the mechanism of corticalization. The sphincter muscle was confirmed to be activated chiefly by the spinal nervous system (Spinal component). On the other hand, it was supposed that this muscle receives reflexive impulses from the exteroceptive sense organs. Moreover, the muscle also receives more or less impulses from the motor area in the cerebral cortex (Cortical component). As mentioned above, the activity of this muscle is regulated chiefly by the two components. The participation proportion of these two components in the activity of this muscle was ascertained more clearly than in case of the other skeletal muscles.