

ネコ外眼筋における速筋線維および遅筋線維の筋電図周波数分析

松 林 光 太

川崎医科大学眼科学教室

要 約

ネコ上直筋の眼窩側層および眼球側層から筋電図を導出記録して、そのパワースペクトラム解析を行った。眼球側層から得られた筋電図のスペクトラムは400~700 Hzにその中心をもち、速筋線維の活動状態を示すと思われた。眼窩側層の筋放電の振幅は35~70 μ Vであり、対応するスペクトラムは1,000 Hz以上を主体とする高い周波数成分群と、振幅がやや大きく500 Hz近傍に中央値を持つ低い周波数成分群とに分離された。高い周波数成分は多重神経支配を受ける遅筋線維に由来し、低い周波数成分は単一神経支配をうける速筋線維あるいは両者の中間型筋線維に由来すると推測された。速筋線維と遅筋線維の筋電図干渉波が、パワースペクトラム解析によって、分離して評価することが可能となった。(日眼会誌 96:572-579, 1992)

キーワード：外眼筋，多重神経支配遅筋線維，筋電図干渉波，パワースペクトラム

Power Spectral Analysis of Electromyograms in Fast and Slow Fibers of Cats Extraocular Muscles

Kohta Matsubayashi

Department of Ophthalmology, Kawasaki Medical School

Abstract

Electromyogram (EMG) was recorded from the muscle fibers in the orbital layers through the global layers of superior rectus muscle of the cat. Power spectrum analysis was applied to investigate the quantitative differences between EMG patterns in both layers. The median of the power spectrum in frequency from the global layers was 400~700 Hz, which was considered to be an EMG pattern of the fast fibers. On the other hand, EMG from the orbital layers showed a small amplitude of 35~70 μ V and two different types of power spectrum; one had the median frequency of more than 1,000 Hz and the other, about 500 Hz. It was suggested that the high frequency component was due to multi-innervated slow fibers and the low frequency component was due to singly innervated and intermediate fibers. The study of the power spectrum of interference electromyograms provides an advantage to differentiate the electrical activities of the slow fibers from the fast ones. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 96:572-579, 1992)

Key words: Extraocular muscles, Multi-innervated slow fiber, Electromyograms, Power spectrum

別刷請求先：701-01 倉敷市松島 577 川崎医科大学眼科学教室 松林 光太
(平成3年1月18日受付，平成3年10月29日改訂受理)

Reprint requests to: Kohta Matsubayashi, M.D. Department of Ophthalmology, Kawasaki Medical School, 577 Matsushima, Kurashiki 701-01, Japan

(Received January 18, 1991 and accepted in revised form October 29, 1991)

I 緒 言

外眼筋には体幹や四肢に広く存在する速筋線維に加えて、多重神経支配を受ける遅筋線維が含まれることが、Hess¹⁾、Bach-y-Rita²⁾、伊藤³⁾によって証明されてきた。Peachey⁴⁾はネコ外眼筋の微細構造を詳細に調べて、筋線維を5型に分類し、遅筋線維の中にも亜型のあることを指摘している。またMayr⁵⁾は組織化学的研究から遅筋線維は眼窩側により多く存在していることを見出している。本邦においても、箕田ら⁶⁾はコハク酸脱水素酵素の組織化学的研究から、Mayrの結果を支持する結果を得ており、松林ら⁸⁾のレーザー解析による研究もこれを裏付けた。春田ら⁹⁾は興奮伝導速度の点から速筋線維と遅筋線維の相違に関して知見を得ており、木村¹⁰⁾は興奮伝導性の違いを応用して両線維の張力割合を測定した。また長谷川ら¹¹⁾¹²⁾はウサギ上直筋の緩筋のみからなる標本を用いて、形態的、生理的な検討を加え、速筋との相違について考察している。近年Pachter¹³⁾はサル上直筋の組織学的検討を行って、眼窩側筋線維には多重神経支配をうける筋線維が20%含まれることを報告し、Spencerら¹⁴⁾はbotulinum toxinにより、眼窩側層単一神経支配筋線維が選択的变化を受けることを見出している。形態的な差以外にアセチルコリンあるいはサクシニルコリンに対する反応も2種の筋線維の間に差異があり、Nemetら¹⁵⁾はネコ外眼筋において速筋線維のみの放電がサクシニルコリン投与により増強されることを報告し、Hessら¹⁾とKern¹⁶⁾は、持続性収縮は遅筋線

維によることを証明している。

本研究においては形態的、機能的に違いをもつこれら2つの筋線維について、in vivoでの活動状態の差を検討するために、眼窩側層と眼球側層から筋電図(EMG)を誘導し、その干渉波形から遅筋線維と速筋線維との活動を分離して評価することを試みた。またEMGの解析手段としてパワースペクトラムを用いた。これらの利点は、干渉波形からは筋肉全体の活動を検討することが可能であり、パワースペクトラムからは干渉波の中に含まれる個々の筋線維の活動状態を抽出し、定量化できる点である¹⁷⁾¹⁸⁾。

II 実験方法

実験動物には体重3~5kgの成ネコを用いた。ketamine hydrochloride 20 mg/kgを筋肉内に注射し麻酔した後、気管切開を行い気管カニューレを挿入し人工呼吸器に接続した。下肢大腿静脈を露出して静脈路確保を行い、持続的に輸液しながら、頸筋から外眼筋への投射の影響を除くため第1~第2頸髄で脊髄を横切断し下位離断脳とした。続いて脳定位固定装置(David-Kopf社製)にネコを固定し、笑気ガス70%と酸素30%の混合気にて人工呼吸を行い麻酔を継続しながら眼窩上壁を取り除き上直筋を露出した。呼吸回数は毎分25回、一回の換気量は35~40mlで、体温は灌流式ブランケットにて直腸温39度を維持し、心電図を監視しながら実験の準備をすすめた。上直筋周囲の結合組織を注意深く除去し筋肉を露出、その後100%酸素にて1時間人工呼吸を行い、ネコの全身状態が安

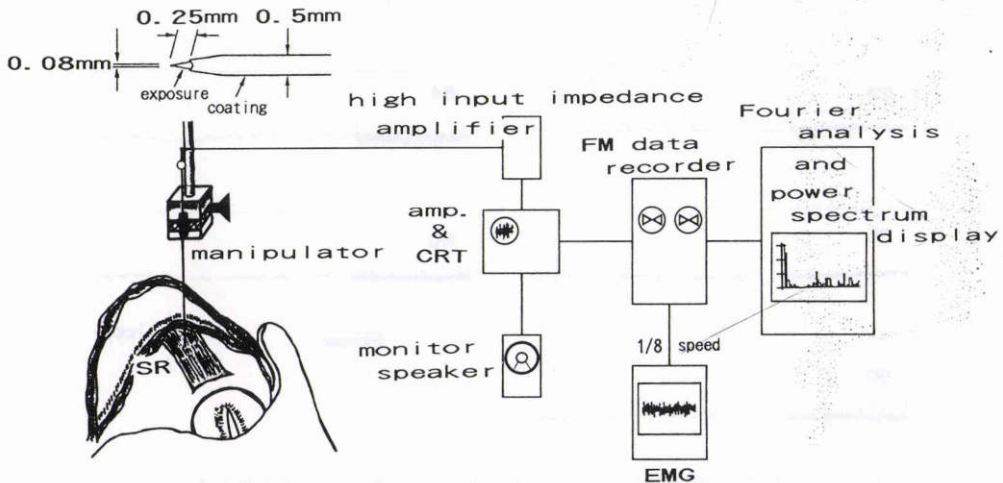


図1 実験装置の配列，模式図：説明本文。左上は電極の顕微鏡写真をスケッチした図で、電極の先端の直径と長さをあらわす。

定しているのを確認した後、上直筋に2.5gの負荷をかけて伸張を与えた。実験装置の配列を図1に示す。筋の眼窩側表面から眼球側層に向かって、manipulatorに装着した電極（先端直径0.08mm, 先端部0.25mmが露出した単極針電極を使用）を僅かに刺入し、眼球の自発運動中の上直筋筋電図を陰極線オシロスコープ（日本光電VC-10）上で観察した。得られた筋電図はdata recorder（TEAC MR-30）を通してtapeに記録した。次に電極を僅かに進めて再び筋電図を記録し、同様の操作を電極が眼球側に達するまで繰り返し行った。なお電極の深さは筋表面を0、内面を100とし相対値で表現した（図2）。更に眼窩側層、眼球側層において、サクシニルコリンに対する反応性を検討するため、筋表面と筋腹のほぼ中央部でサクシニルコリン投与前後の筋電図を経時的に記録した。投与量は100 μ g/kgで、静脈内投与とした。tapeに記録されたEMGはFourier変換した後、パワースペクトラム解析を行った（日本電気三栄 signal processor 7 T 08, power spectrum No. 210 G program）。なおdata recorderの記録周波数帯域は、DCから5KHzであり、筋電図の波形はtape speedを電位記録時の1/8に遅くして描出した。またパワースペクトラムの解析周波数は5KHz、解析時間は2,500msec、sampling clockは100 μ secで、hamming windowを使用した。

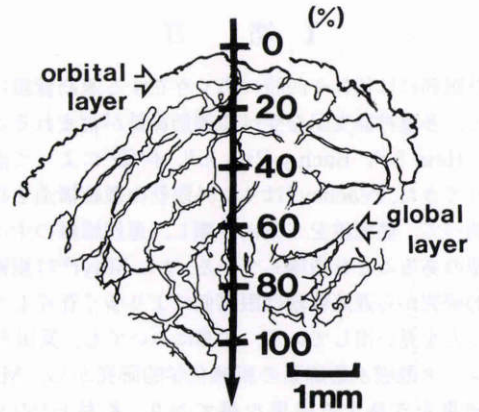


図2 上直筋の断面図：眼窩側を0%，眼球側を100%とし筋電図断面上の深さの位置を%で表示。

EMG data 記録後、最後の電極刺入部位を確認するため、30mAの直流電流を1分間、筋肉内へ通電し凝固痂を作成後、ヘマトキシリン・エオジン染色にて組織学的な確認を行った。

III 結 果

1. 眼窩側層および眼球側層から得られる筋放電
上直筋の各位置において得られた筋電図を図3に示した。眼窩側の深さ20%までの筋電図には振幅が100

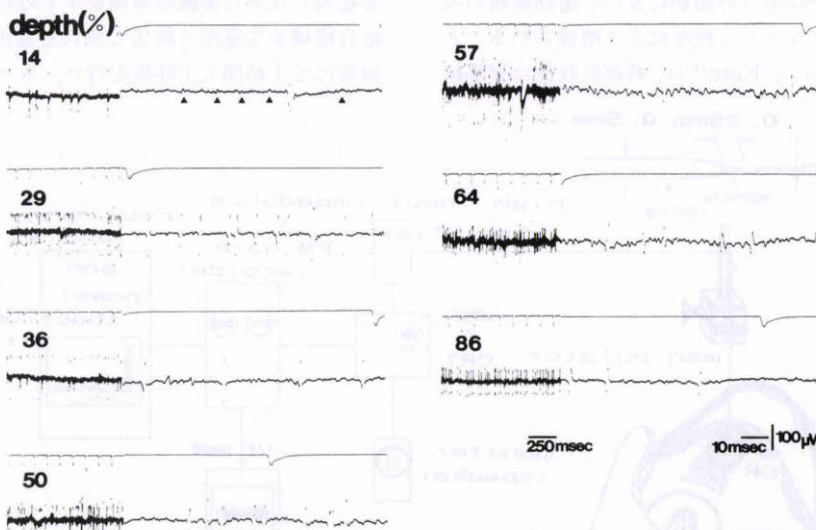


図3 眼窩側層から眼球側層に至る各層で得られる筋電図。2種の異なるタイムスケールで表している。電極の深さは各記録の左上に表示。14%の記録中の▲印は振幅の小さい単相性の活動を示す。

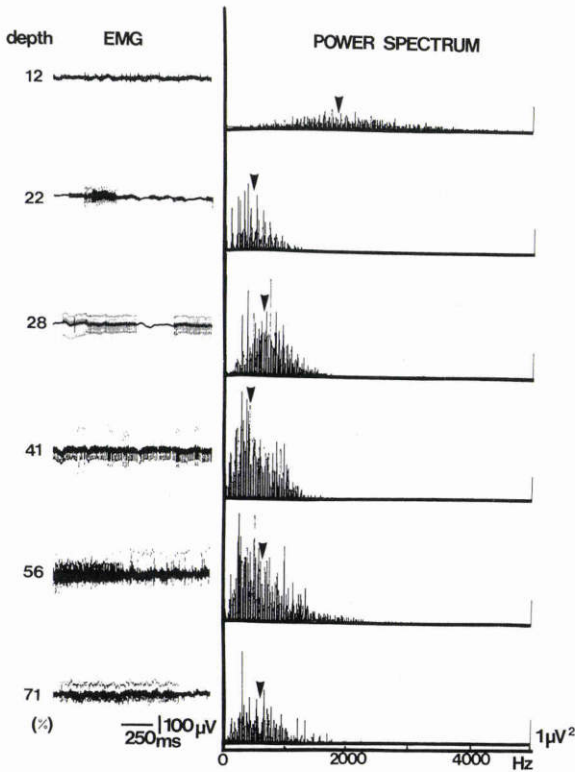


図 4 眼窩側層から眼球側層に至る各層で得られる筋電図とパワースペクトラム：深さ 12% の部位と 22% の部位で特に著明なスペクトラムの分布の違いを認める。矢印はパワースペクトラムの中央値 (fmed) を示す。

μV 以上で 3 相性を示す放電に加えて、約 $30 \mu\text{V}$ と振幅が小さく、 1.0 msec から 1.2 msec の持続時間で、単相性パターンを示すものが多く認められた (図 3 ▲印)。電極を刺入していった 20% を超える深さに達すると、 $100 \sim 200 \mu\text{V}$ の振幅をもつ 2 ~ 3 相性の放電パターンを示し、2 あるいは 3 種類の single NMU が認められるようになった。放電の持続や頻度は自発運動の持続や強さによって決まるが、振幅や頻度は刺入につれて増大し、電極の位置がほぼ 29% に達する時に最大に達した。電極の位置が眼球側に進むに従い、再び放電頻度ならびに振幅は減少した。

2. 眼窩側層と眼球側層の筋放電パワースペクトラム

筋電図波形を周波数分析してパワースペクトラムで表現すると、筋放電に含まれる周波数は $3,000 \text{ Hz}$ 以上の頻度の成分にまで及ぶことがわかる。EMG に加えて周波数分析の結果を図 4 に併せて示した。眼窩側層から得られる筋電図のスペクトラムは特定の周波数に最高値を示すことはなく、 $1,000 \sim 3,000 \text{ Hz}$ の間の広い範囲にわたってほぼ均等な分布を示した。眼球側へ電極を進めるに従い、EMG のスペクトラムは周波数の低い成分の増加が認められるようになった。周波数分布は $2,000 \text{ Hz}$ 以内で、パワースペクトラムの中央値 (fmed) は主として $500 \sim 700 \text{ Hz}$ の範囲に分布しており、このような周波数分布は電極の位置の 22 ~ 71% の広い範囲で一定に保たれていた。スペクト

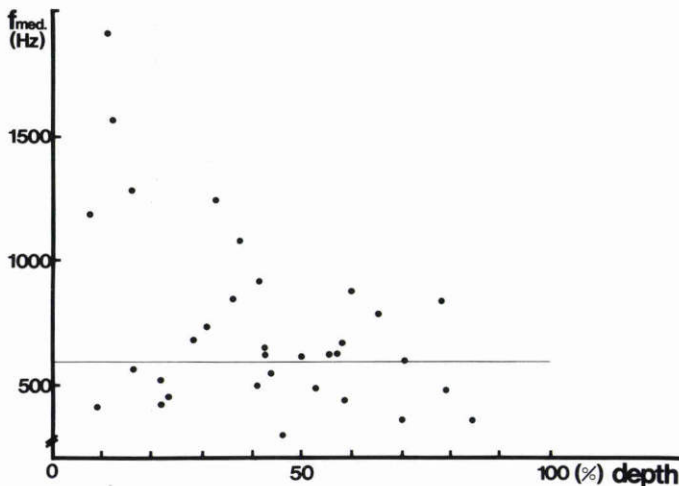


図 5 電極の深さと fmed との関係：眼窩側層から眼球側層に至るに従いスペクトラムの中心を示す fmed は高い周波数側から低い周波数側に移行する。また筋表層から深さ 30% までの部位で得られる筋放電は、 900 Hz 以下の fmed を持つ筋群に加えて $1,200 \sim 1,900 \text{ Hz}$ の fmed を持つ筋群が存在する。図内の横線は深さ 50% 以上の深さにある筋活動から求められた fmed の平均値 (590 Hz) を示す。

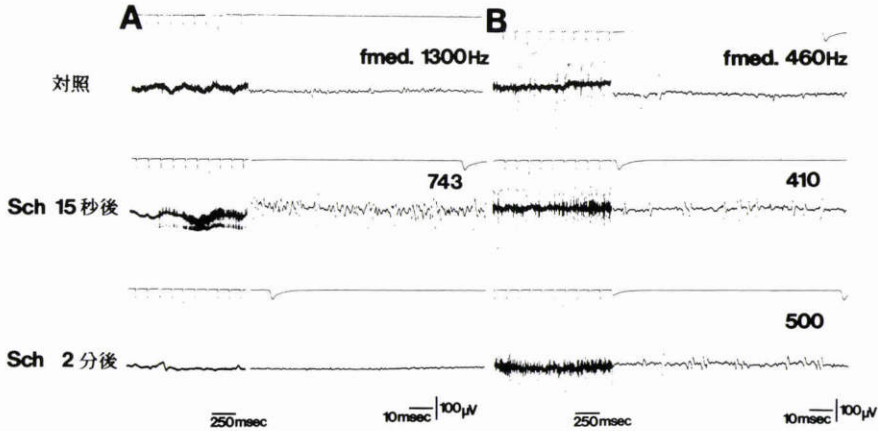


図6 サクシニルコリン投与(Sch)によって起こる収縮中の上直筋眼窩側層, 眼球側層の筋電図。
A: 眼窩側層, B: 眼球側層, パワースペクトラムの fmed の値をそれぞれ図の右端に示す。

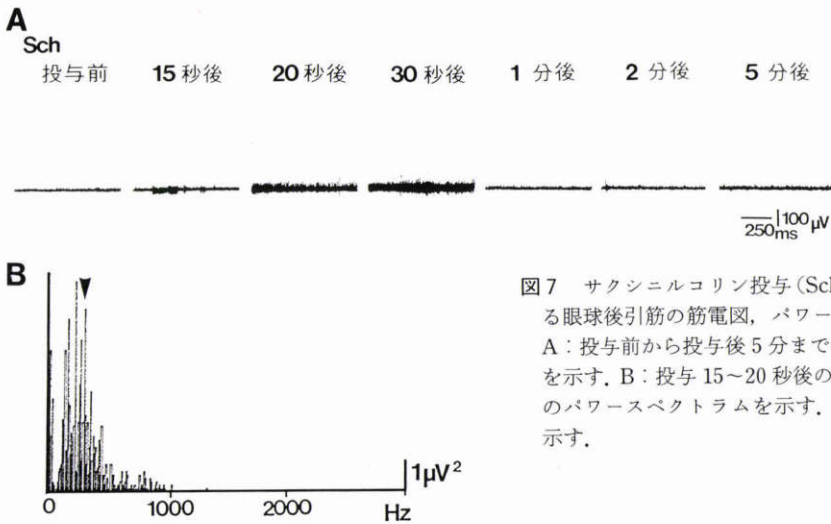


図7 サクシニルコリン投与(Sch)によって起こる眼球後引筋の筋電図, パワースペクトラム。
A: 投与前から投与後5分までの筋電図の変化を示す, B: 投与15~20秒後の5秒間の筋電図のパワースペクトラムを示す。矢印は fmed を示す。

ラムの偏位は, 図4の例では22%の位置で起こっているが, 別の例では30%の位置において観察され, また40%になって初めて確認される場合もあった。図5に電極の位置と fmed との関係を示す。40%を超える深さでは, fmed は250~900 Hz にあり, 1,000 Hz を超えることはなかった。深さ50%以上の点から得られた筋電図のパワースペクトラムについては, すべての fmed は350~900 Hz の範囲にあり, 平均590 Hz であった。これに対して, 30%以内の深さから得られる筋放電は900 Hz 以下の fmed を持つ筋群に加えて, 1,000~1,900 Hz の fmed を持つ筋群も認められた。

3. サクシニルコリン投与による筋電図およびパワースペクトラムの変化

前項に記した結果は自発放電のパターンに関するものであり, ここではサクシニルコリンを投与して収縮を起こした時の上直筋眼窩側層, 眼球側層, 及び速筋線維のみから構成される眼球後引筋の筋電図とパワースペクトラムの分布について得られた結果を述べる。図6Aに示されるように, 眼窩側層では5秒後に放電が出現し15~20秒後に最大に達した, しかし約2分経過した時点で放電はほとんど認められなくなり, この状態は約12分間持続した。投与前と投与直後のパワースペクトラムから求められる fmed はそれぞれ1,300

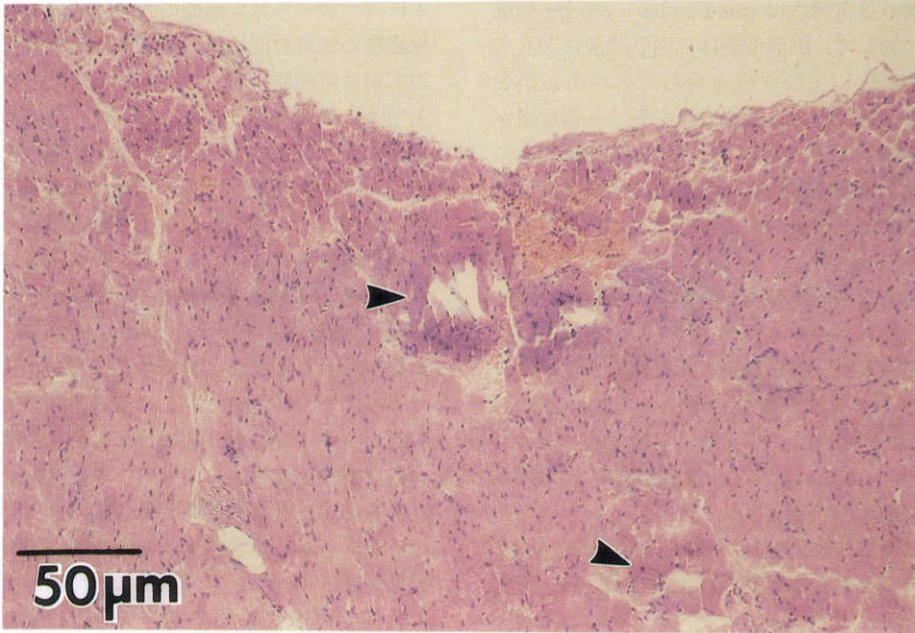


図8 上直筋横断面のヘマトキシリン・エオジン染色(×300): 矢印は電極に通電してできた凝固壊で図4のdepth 12%の部位と41%の部位に対応する。

Hzと743 Hzで、放電の増強により周波数成分は低い側へ移行した。一方、眼球側層においては眼窩側層と同様に、投与後約15秒で放電の頻度および振幅が著明に増加した(図6B)。投与後約2分経過した時点から放電が散発的となり約5分で電位の出現が認められなくなった。この状態は約15分間持続した。投与前と投与直後のパワースペクトラムのfmedは460 Hzと410 Hzで、わずかに低い周波数帯域への移行を示したが、400~500 Hzの範囲内に留まり、眼窩側層で見られたような中間値の大きな変動は認められなかった。

同様の実験を眼球後引筋に対しても行った。図7Aに示すごとくサクシニルコリン投与後約15秒で放電頻度とその振幅が増加し、30秒前後で最大値を得た。また投与前、投与20秒後のパワースペクトラムのfmedは430 Hz、303 Hzであった(図7B)。上直筋眼窩側層で認められた1,000 Hz以上の成分は眼球後引筋の実験からは得られなかった。

4. 組織学的検討

ネコ外眼筋の小径筋線維と大径筋線維の分布と電極刺入部位の確認のため、ヘマトキシリン・エオジン染色による組織学的な確認を行った。図8にその組織像を示す。6 μmの連続切片より得られた組織から眼窩側層に小径筋線維が、また眼球側層に大径筋線維が多

く分布していることが確認された。また矢印の部位に凝固壊の形成が認められており、同部位は図4で示した筋の深さ12%と41%の筋電図の部位に相当する。

IV 考 按

今回、骨格筋筋電図の解析手段として用いられているパワースペクトラム^{17)~21)}を、外眼筋筋電図の解析に応用した。筋電図におけるパワースペクトラムの意義は、筋放電の周波数成分とその成分の振幅の量的関係を示し、mass responseから個々の筋線維の活動状態を抽出し、しかも筋放電を定量化できる点である。従来、一般的に外眼筋筋電図の解析には干渉波が多用されてきた。しかし干渉波は多数の電位の集合体であるため筋肉全体の活動をみる場合には非常に有効な方法であるが、放電頻度や振幅から筋線維の活動を推測することは困難であった。外眼筋筋電図の周波数分析はすでに以前から検討されており²²⁾²³⁾、近年、Kimuraら²⁴⁾はヒト外眼筋の干渉波の周波数分析の結果から外眼筋筋電図の周波数は2,000 Hzにまで及び、四肢骨格筋のそれが250 Hz以内であるのに比して高い値を示すという結果を得ている。この値の差異がどの要因に基づくかは明らかではないが、外眼筋に含まれる遅筋線維に由来するという可能性を考察した。本研究よ

り、眼球側層の筋電図には fmed が 400~700 Hz の成分を含むのに対して、眼窩側層には同じ成分に加えて fmed が 1,000 Hz 以上の成分を含むことが明らかとなった。眼窩側層には多重神経支配を受ける筋線維が全体の 20~30% 含まれることから⁵⁾、1,000 Hz 以上の高い周波数成分は遅筋線維によることが示唆された。そしてこれはサクシニルコリンの実験により裏付けられた。

遅筋線維の放電と速筋線維の放電を区別する手段の一つとして、サクシニルコリンを投与し、それに伴う活動を誘導記録した。眼球側層の筋電図はサクシニルコリンを投与すると放電頻度の著明な上昇を認めるが、fmed の値は 460 Hz から大きく変動することはなかった(図 6 B)。これに対して、眼窩側層の 1,000 Hz 以上を示す運動単位の fmed は、サクシニルコリンの刺激によって明らかに減少した(図 6 A)。これは fmed の低い値を持つ運動単位が新たに参加したためと考えられる。Nemet ら¹⁵⁾は、サクシニルコリンによる放電が増加するのは、主として fast unit 群であり slow unit 群は影響されないことを報告している。また図 7 A, B に示される如く、速筋線維しか含まれていない眼球後引筋²⁵⁾においてもサクシニルコリン投与により明らかな放電の増大があり、fmed が 400 Hz 前後を中心に変動したことも、fmed の低い運動単位は速筋線維であることを示唆する所見である。

これら一連の実験から、対照時には遅筋線維の活動のみが記録されており、サクシニルコリン投与によって速筋線維の活動が活発となって両線維の放電が併せて記録される結果、fmed が低い値に移行したと推察できる。以上の結果を要約すると、1,000 Hz 以上の高い周波数成分は多重神経支配をうける遅筋線維の放電によるものであり、400~700 Hz の低い周波数成分は速筋線維に対応すると結論できる。

単一神経筋単位について、敏速筋の筋放電は速やかであり緩徐筋の筋放電の経過は遅いことから、遅筋線維の筋放電の周波数はむしろ低いと予想されたが、測定値は逆の結果を示した。一つの説明として、遅筋線維は直径が小さいので、記録される筋放電にはより多数の神経筋単位の活動が含まれ、しかもその放電は非同期であり、多数の神経筋接合部が存在するために相互に重畳しあって高い周波数成分を形成すると考えられる。あるいは遅筋線維は膜容量も膜抵抗も大きく²⁶⁾脱分極が長く続くことが多数の神経筋単位の放電が複合することを容易にしていることも考えられる。また

本研究で調べられた軽度の自発運動においては、速筋線維群の放電頻度は低いが固視に関係する遅筋線維群の方が放電頻度が高く、それがパワースペクトラムの上で高い周波数成分をもたらししているかもしれない。Schulze²⁷⁾はウサギ上直筋においてガラス微小電極を用いた電気生理学的所見から遅筋線維の活動状態を 3 型に分類し、それぞれのシナプス後電位の持続時間について検討を行っている。それによると、wave form をとる type 1 の遅筋線維は 24 msec、spike form をとる type 2 の遅筋線維は 1.0 msec である。これは遅筋線維からおこる電位に持続の短いものから長いものまで存在する可能性を示唆し、持続時間の短い電位は周波数の上では高い周波数成分として、持続の長い電位は低い周波数成分としてパワースペクトラム上表示され、今回得られた周波数成分の広がりとも矛盾しない。以上のことから眼窩側層はあらゆる持続時間を持つ筋線維が非同期的に、ほぼ均等な力で活動しており、それに対し眼球側層では 400~700 Hz の狭い範囲に中心をもつ形をとるため、ある点で大きな力を発揮する能力を有すると思われる。Collins ら²⁸⁾は miniature multiple electrode を用いたヒト内直筋の層別筋電図の記録で、眼窩側層の小径筋線維群は固視および滑動性追従運動に関与し、眼球側層の大径筋線維群は衝動性眼球運動に関与すると報告している。今回の結果と対応させて考えると、眼窩側層の 1,000 Hz 以上のスペクトラムを中心とする多重神経支配筋線維群(遅筋線維)と 500 Hz 近傍に中心を有する単一神経支配筋線維群(速筋線維)が協調して主に固視、滑動性追従運動に関与し、眼球側層の 400~700 Hz にスペクトラムの中心をもつ速筋線維が衝動性眼球運動に寄与すると推測される。しかし、今回は主にネコの自然状態での記録であり遅筋線維の活動が十分でない可能性もあり、今後の課題として遅筋線維の活動状態を明らかにするために、衝動性眼球運動時の EMG の同定および対応するスペクトラムの解析を進める必要があると考えている。

稿を終えるにあたり、終始懇切丁寧なる御指導、御校閲を賜った田淵昭雄教授、松村幹郎教授に深謝致します。また終始御指導頂きました教室の木村 久助教授に深謝致します。

(本論文の要旨は第 94 回日本眼科学会総会において発表された。)

文 献

- 1) Hess A, Pilar G: Slow fibres in the

- extraocular muscles of the cat. *J Physiol* 169: 780—798, 1963.
- 2) **Bach-y-Rita P, Ito F**: In vivo studies on fast and slow muscle fibers in cat extraocular muscles. *J Gen Physiol* 49: 1177—1198, 1966.
 - 3) **伊藤文雄**: 外眼筋の生理学的特性. *神経進歩* 19: 845—855, 1975.
 - 4) **Peachey LD**: The structure of the extraocular muscle fibers of mammals, in Bach-y-Rita P, Collins CC, Hyde JE (eds): *The Control of Eye Movements*, New York & London, Academic Press, 47—66, 1971.
 - 5) **Mayr R**: Structure and distribution of fibre types in the external eye muscles of rat. *Tissue Cell* 3: 433—462, 1971.
 - 6) **Cheng-Minoda K, Sato Y**: Distribution of twitch and slow fibers in extraocular muscles. *Jpn J Ophthalmol* 17: 2—10, 1973.
 - 7) **箕田健生**: 外眼筋の形態—電顕的観察—, *神経進歩* 19: 829—843, 1975.
 - 8) **松林光太, 松村幹郎**: 外眼筋遅筋線維のレーザー光回折像の特性. *日眼会誌* 95(抄録): 189, 1991.
 - 9) **春田龍吾, 宇山 淳, 三村 治**, 他: 外眼筋筋線維伝導速度の記録. *神経眼科* 3: 528—532, 1987.
 - 10) **木村 久**: ネコ外眼筋の張力発生および短縮における遅筋線維の役割. *日本生理誌* 42: 151—159, 1980.
 - 11) **長谷川一郎, 沢 正博, 竹田 真**: ウサギ上直筋の slow fiber の特性について—第1報—, *日眼会誌* 85: 12—18, 1981.
 - 12) **長谷川一郎, 沢 正博, 竹田 真**: ウサギ上直筋の slow fiber の特性について—第2報—, *日眼会誌* 85: 979—985, 1981.
 - 13) **Pachter BR**: Fiber composition of the superior rectus extraocular muscle of the rhesus macaque. *J Morphol* 174: 237—250, 1982.
 - 14) **Spencer RF, McNeer KW**: Botulinum toxin paralysis of adult monkey extraocular muscle. Structural alterations in orbital, singly innervated muscle fibers. *Arch Ophthalmol* 105: 1703—1711, 1987.
 - 15) **Nemet P, Miller JE**: Evoked potential in cat extraocular muscle. *Invest Ophthalmol* 7: 592—598, 1968.
 - 16) **Kern R**: A comparative pharmacologic-histologic study of slow and twitch fibers in the superior rectus muscle of the rabbit. *Invest Ophthalmol* 4: 901—910, 1965.
 - 17) **Sadoyama T, Masuda T, Miyano H**: Relationships between muscle fibre conduction velocity and frequency parameters of surface EMG during sustained contraction. *Eur J Appl Physiol* 51: 247—256, 1983.
 - 18) **Lindström L**: Spectral analysis of EMG, in Struppler A, Weindl A (eds): *Electromyography and Evoked Potentials*, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag Inc, 103—107, 1985.
 - 19) **Hermens HJ, Boon KL, Zilvold G**: The clinical use of surface EMG (1). *Electromyogr Clin Neurophysiol* 24: 243—265, 1984.
 - 20) **Latash ML**: Spectral analysis of the electromyogram (EMG) in spinal cord trauma patients. I. Different types of the EMG and corresponding spectra. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 28: 319—327, 1988.
 - 21) **Latash ML**: Spectral analysis of the electromyogram (EMG) in spinal cord trauma patients. II. Motor unit and interference EMG power spectra. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 28: 329—334, 1988.
 - 22) **稲葉光治**: 眼筋の電気生理学的研究, 第1報, 外眼筋筋電図周波数分析. *日眼会誌* 72: 750—757, 1968.
 - 23) **山崎篤巳, 石川 哲**: 核間麻痺 (Internuclear Ophthalmoplegia) について. *日眼会誌* 75: 810—820, 1971.
 - 24) **Kimura H, Matsubayashi K, Tsutsui J, et al**: Spectral analysis of electromyograms for extraocular muscles in normal and ophthalmoplegia cases. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1992 (in press).
 - 25) **Bach-y-Rita P, Ito F**: In vivo microelectrode studies of the cat retractor bulbi fibers. *Invest Ophthalmol* 4: 338—342, 1965.
 - 26) **Chiarandini DJ, Stefani E**: Electrophysiological identification of two types of fibres in rat extraocular muscles. *J Physiol* 290: 453—465, 1979.
 - 27) **Schulze F**: Elektrophysiologischer Nachweis von 3 differenten Muskelfasertypen der “slow fibers” äußerer Augenmuskeln. *Albrecht v Graefes Arch klin exp Ophthalmol* 203: 31—43, 1977.
 - 28) **Collins CC**: The human oculomotor control system, in Lennerstrand G, Bach-y-Rita P (eds): *Basic Mechanism of Ocular Motility and Their Clinical Implications*, Oxford, Pergamon Press, 145, 1975.