

ヒト過動下斜筋における筋形質膜内構造

神谷あゆみ¹⁾, 藤埴 規明²⁾, 河上 敬介²⁾, 栗屋 忍¹⁾¹⁾名古屋大学医学部眼科学教室, ²⁾名古屋大学医学部生理学教室

要 約

ヒト下斜筋の筋細胞膜内構造について凍結割断法でレプリカ膜を作製し検討した。対照は33歳と73歳の下斜筋の剖検例とし、疾患群は下斜筋過動を示す症例で上斜視3例、V型恒常性外斜視、V型間歇性外斜視とV型恒常性内斜視の各々1例とした。摘出した下斜筋の筋腹は直ちに眼窩側層と眼球側層とに分離し、凍結割断法に供した。作製したレプリカ像の細胞質側を対象とし、この面に多いとされている膜内粒子と小窩の直径と密度を測定した。膜内粒子の平均直径は対照でおよそ9.5 nmで疾患群と大差はなかった。その密度は33歳で800~3,300/μm² (平均1,823/μm²)、73歳で100~2,500/μm² (平均670/μm²)であったのに対し、疾患群では100~1,000/μm² (平均500/μm²)と低下していた。小窩の長径と密度には対照と疾患群との間で明らかな差を認めることはできなかった。(日眼会誌 97: 834-844, 1993)

キーワード: 下斜筋, 凍結割断法, 膜内粒子, 小窩

Plasma Intramembrane Structure of Overaction of the Inferior Muscle in Humans

Ayumi Kamiya¹⁾, Noriaki Fujitsuka²⁾, Keisuke Kawakami²⁾
and Shinobu Awaya¹⁾¹⁾Department of Ophthalmology, Nagoya University School of Medicine²⁾Department of Physiology, Nagoya University School of Medicine

Abstract

We used the freeze-fracture method to compare the intramembrane structure of the plasma membrane in inferior oblique (IO) muscles from six strabismus patients with normal IO muscles. Inferior oblique myectomy provided us with small pieces of IO muscle from three patients with superior oblique paresis, and from one patient each with V-pattern exotropia, V-pattern esotropia, and V-pattern intermittent exotropia. Samples of normal IO muscle were obtained from two men, aged 33 and 73 years, within 24 hours of their death. The excised muscles were separated at their belly part into orbital and global layers, and small bundles of muscle fiber were fixed and freeze-fractured. The size of intramembrane particles (IMPs) did not differ significantly between normal and strabismus-affected specimens (mean: 9.5 nm). The density of IMP in the 33-year-old man's sample ranged from 800 to 3300/μm² with a mean of 1823/μm², in the 73-year-old man's sample ranged from 100 to 2500/μm² with a mean of 670/μm², while in the affected tissues it ranged from 100 to 1000/μm² with a mean 500/μm². There were no significant differences in caveola size and density between normal and strabismus-affected IO muscles. (J Jpn Ophthalmol Soc 97: 843-844, 1993)

Key words: Inferior oblique muscle, Freeze-fracture method, Intramembraneous particles, Caveola

別刷請求先: 466 名古屋市昭和区鶴舞町 65 名古屋大学医学部眼科学教室 神谷あゆみ

(平成4年1月31日受付, 平成5年3月3日改訂受理)

Reprint requests to: Ayumi Kamiya, M.D. Department of Ophthalmology, Nagoya University School of Medicine, 65 Tsuruma-cho, Showa-ku, Nagoya 466, Japan

(Received January 31, 1992 and accepted in revised form March 3, 1993)

I 緒 言

ヒト外眼筋は、精緻で複雑な眼球運動を営んでいる。斜視とは両眼の視線が注視点に集中していない状態、つまり眼位ずれを中心にして感覚面と運動面の両方に異常がみられる状態を言う。その発生機序は、大別して外眼筋の解剖学的異常、神経支配異常、大脳の中枢性両眼視成立機構障害、末梢性の両眼視障害、および混合型の 5 つとされているが¹⁾、いずれも単純なものではない。どの原因にしても、外眼筋筋線維(錘外筋)の膜の機能に異常が生じ、斜視となっている。本報では斜視の病型と外眼筋筋線維の膜構造との関連を、凍結断面法で Pt-C (白金-炭素) レプリカを作製して検討した。それによって観察される筋細胞膜内粒子と小窩は筋線維の機能(代謝、膜興奮活動や収縮性)と密接な関係があることが知られている²⁾。また、外眼筋は眼窩側層 (orbital layer) と眼球側層 (global layer) とで、それを構成する筋線維が機能的にも形態的にも異なることが知られている³⁾。それぞれの層で筋線維の膜構造の異常に差があるかどうか検討した。

II 実験方法

生前に眼球運動障害が認められなかった剖検例 2 例(標本 1 : 33 歳, 標本 2 : 73 歳)の下斜筋を対照として用い死後 24 時間以内に筋腹部を摘出した。疾患群は下斜筋過動を示す症例とし、上斜筋麻痺(SO Paresis) 3 例, V 型恒常性外斜視(V-XT), V 型間歇性外斜視(V-X (T)) と V 型恒常性内視鏡(V-ET) の各々 1 例の全 6 例で、下斜筋切除術(myectomy)で得られた下斜筋のおよそ 5.0×4.0 mm の筋腹を用いた。

標本 3 : 右上斜筋麻痺。6 歳女児, 生後 6 か月頃に頭位異常出現。両眼むき運動で右上斜筋運動と下斜筋過動を示し、Parks three step 法で右上斜筋麻痺と診断。右下斜筋切除術を施行。

標本 4 : 左上斜筋麻痺。7 歳男児, 2 歳過ぎ頃に頭位異常出現。両眼むき運動にて左上斜筋運動と下斜筋過動を示し、Parks three step 法で左上斜筋麻痺と診断。左下斜筋切除術を施行。

標本 5 : 左上斜筋麻痺。6 歳女児, 生後 6 か月頃に頭位異常出現。両眼むき運動で左上斜筋運動と下斜筋過動を示し、Parks three step 法で左上斜筋麻痺と診断。左下斜筋切除術を施行。

標本 6 : 両 V 型外斜視。6 歳男児, 右下斜筋過動を示し、下斜筋切除術と共に外直筋 6.0 mm 後転(reces-

sion)を行った。手術時に水平筋付着部異常は認められなかった。

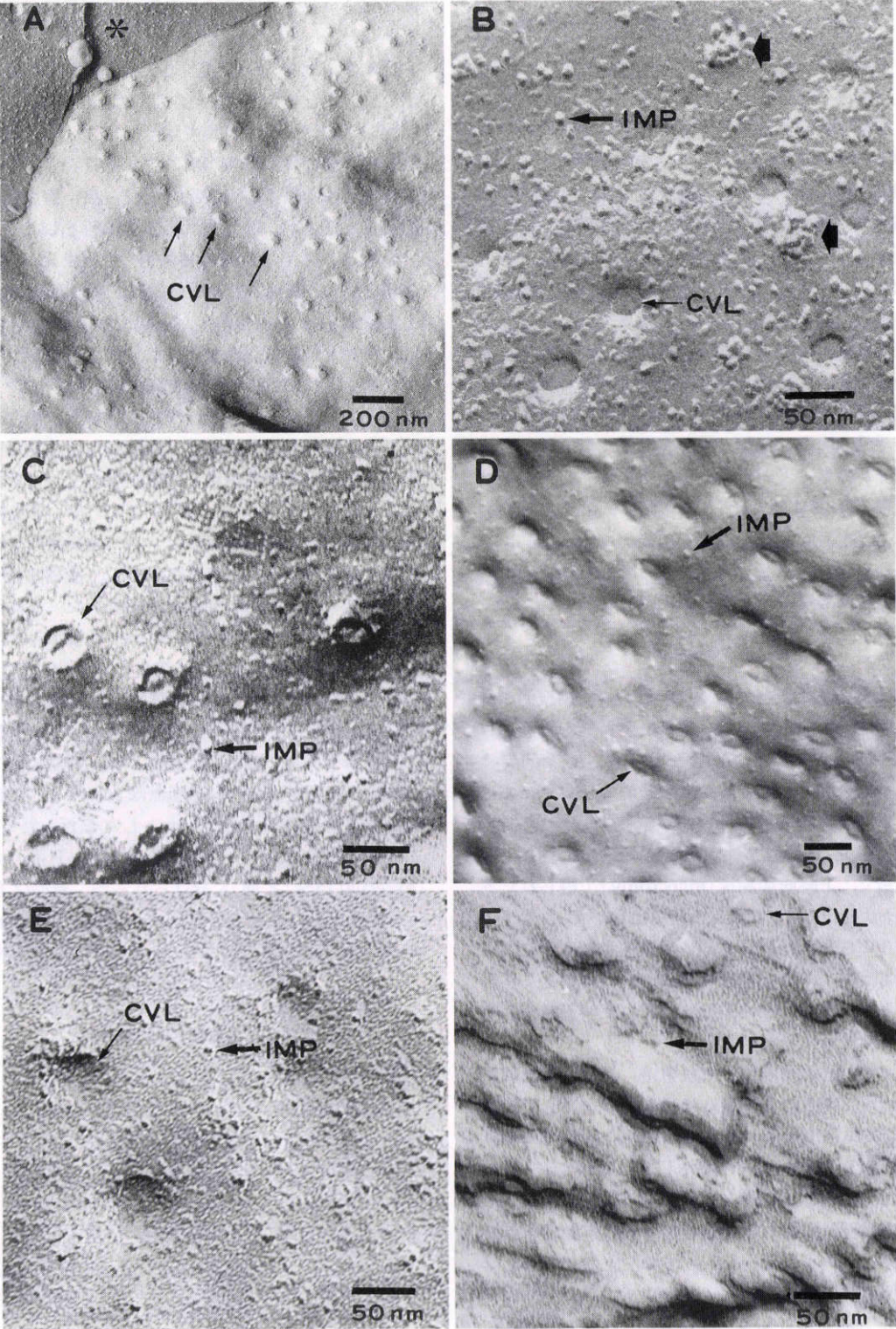
標本 7 : 両 V 型内斜視。6 歳男児, 両下斜筋過動を示し、術前上むき眼位 30 Δ, 第 1 眼位 40 Δ, 下むき眼位 50 Δ 以上を示し、V 型で程度は 15 Δ であった。優位眼の水平筋付着部異常がないことを確認し、前後転術を施行後に両側下斜筋切除術を行った。術前検査で過動をより強く示した方の下斜筋を試料とした。

標本 8 : 両 V 型間歇性外斜視。9 歳女児, 両下斜筋過動を示し、術前上むき眼位 25 Δ, 第 1 眼位 20 Δ, 下むき眼位 14 Δ 以上を示し、V 型で程度は 11 Δ であった。両側下斜筋切除術を行った。術前の検査で過動をより強く示した方の下斜筋を試料とした。

以上の斜視症例(表 1)は共に手術後、眼位は改善し再発は認められていない。採取した下斜筋は直ちに実体顕微鏡下で眼窩側層と眼球側層の 2 つに分離し、各々に対し 2% グルタルアルデヒド(燐酸緩衝液 pH 7.4)で 12 時間固定した。この後緩衝液で洗滌、6%~24% グルセリンで順次置換し、液体窒素で冷却した液体プロパン中で急速凍結を行った。次に高真空フリーズ・エッチング装置(Balzer 社製 BAF 400 型)で凍結切断し、直ちに白金-炭素の蒸着(45°で 1 方向)を行った。蒸着したレプリカ膜を過塩素酸溶液で剝離した後、蒸留水で洗滌した。作製したレプリカ膜は日立社製 H 500 電子顕微鏡で観察した。観察の際、平滑な細胞外空間を有し、切断面にははっきりとした背景組織の存在する領域をレプリカとして分析した⁴⁾。脂質二重層は細胞質側(protoplasmic face: P 面)と外側(external face: E 面)に分けられるが、今回は P 面のみを対象とし、また筋筋質膜(muscle plasmamembrane)の同定では、① orthogonal arrays の存在、②

表 1 各症例とその手術法

標本	性	年齢(歳)	診 断 名	手 術 法
1	男	33	正常(対照)	
2	男	73	正常(対照)	
3	女	6	右上斜筋麻痺	右下斜筋切除術
4	男	7	左上斜筋麻痺	左下斜筋切除術
5	女	6	左上斜筋麻痺	左下斜筋切除術
6	男	6	両 V 型 恒常性外斜視	右下斜筋切除術 右外直筋後転術 6 mm
7	男	6	両 V 型 恒常性内斜視	両下斜筋切除術 前後転術
8	男	9	両 V 型 間歇性外斜視	両下斜筋切除術



筋線維の内部の細胞原形質 (cytoplasm) に連続している。③ 割断面において筋小胞体の輪郭が存在する、という基準のいずれかを用いた。P 面に多いとされる膜内粒子 (intramembrane particle) と小窩 (caveola, coated pit, transversetubular system の総称とする) を研究対象とし、印画紙に焼き付ける際に 20 万倍以上に引き伸ばした。各々の症例に対して膜内粒子と小窩の大きさと密度の測定を行った。直径の測定では、膜内粒子は明らかな shadow を有するものとし、shadow に対し直角の最大径とした。また、小窩は P 面で滑らかな境界を有する円形の陥凹として認められるもので、その長径を測定した。これらは印画紙上で Bausch and Lomb 拡大鏡を用い 0.1 mm の scale で測定している。密度の測定は $1\mu\text{m}^2$ 内の膜内粒子と小窩の個数を数えた。以上の結果の統計処理は t 検定を用いた。

III 結 果

対照の筋細胞膜の電子顕微鏡像は筋線維を横切る方向に小窩の比較的規則正しい配列 (各列の間隔が約 $0.5\mu\text{m}$ で、1 列中の各小窩の間隔が約 30nm) を示し、小窩が分布している部分には膜内粒子が集中する傾向があった (図 1 A, B)。標本 8 (V-X (T)) の眼窩側層で膜構造が強く変形していたため、膜内粒子や小窩の測定を行うことができなかった。他の標本では小窩は不規則な配列をとり、膜内粒子は小窩とは無関係に散在していた (図 1 C, D, E, F)。

1. 膜内粒子の直径 (大きさ) について (図 2)

1) 対照の膜内粒子直径は、 $5\sim 20\text{nm}$ の範囲に分布し、その平均値は標本 2 (73 歳) の眼窩側層は 9.2nm ($n=1322$)、眼球側層は 10.0nm ($n=3059$) であり、標本 1 (33 歳) では眼窩側層 10.1nm ($n=3472$) で、眼球側層 9.0nm ($n=2275$) であった。これらの値には年齢差は認められなかった。

2) 斜視筋の平均膜内粒子直径はおおよそ $6.0\sim 9.0\text{nm}$ であった。標本 6 (V-XT) の眼窩側層と眼球側層や標本 7 (V-ET) の眼球側層を除いて、その他の標本の平均直径は標本 1 (33 歳) および標本 2 (73 歳) の対照のそれに比して小さな値であることが図 2 B からわかる。

2. 膜内粒子の密度について (図 3)

1) 対照の平均膜内粒子の密度は二者間に差があった。標本 2 (73 歳) の眼窩側層で $640/\mu\text{m}^2$ ($n=485$)、眼球側層 $700/\mu\text{m}^2$ ($n=553$) であったが、標本 1 (33 歳) では、それらより 3 倍高い値 (眼窩側層: $1,947/\mu\text{m}^2$ ($n=254$), 眼球側層: $1,698/\mu\text{m}^2$ ($n=199$)) を示した。

2) 斜視標本の膜内粒子密度は、標本 1 (33 歳) と比べると、層に関係なく極端に低い値 ($258\sim 800/\mu\text{m}^2$) を示した。標本 2 (73 歳) と比べた場合は標本 4 (SO Paresis) の眼窩側層と標本 5 (SO paresis) の両層でわずかに大きな値を示したが、他の標本ではやや小さな値を示した。

3. 小窩の長径 (大きさ) について (図 4)

1) 対照の小窩の大きさは $25\sim 70\text{nm}$ の範囲にあった。標本 2 (73 歳) の平均値は眼窩側層で 39.1nm ($n=28$)、眼球側層では 41.8nm ($n=24$) であり、標本 1 (33 歳) においては眼窩側層 33.6nm ($n=220$) で、眼球側層 29.8nm ($n=95$) である。老年者の方が成人中期より大きな値を示した。

2) 斜視標本の小窩の平均値は標本 1 と標本 2 の中間にあることが図 4 B からわかる。

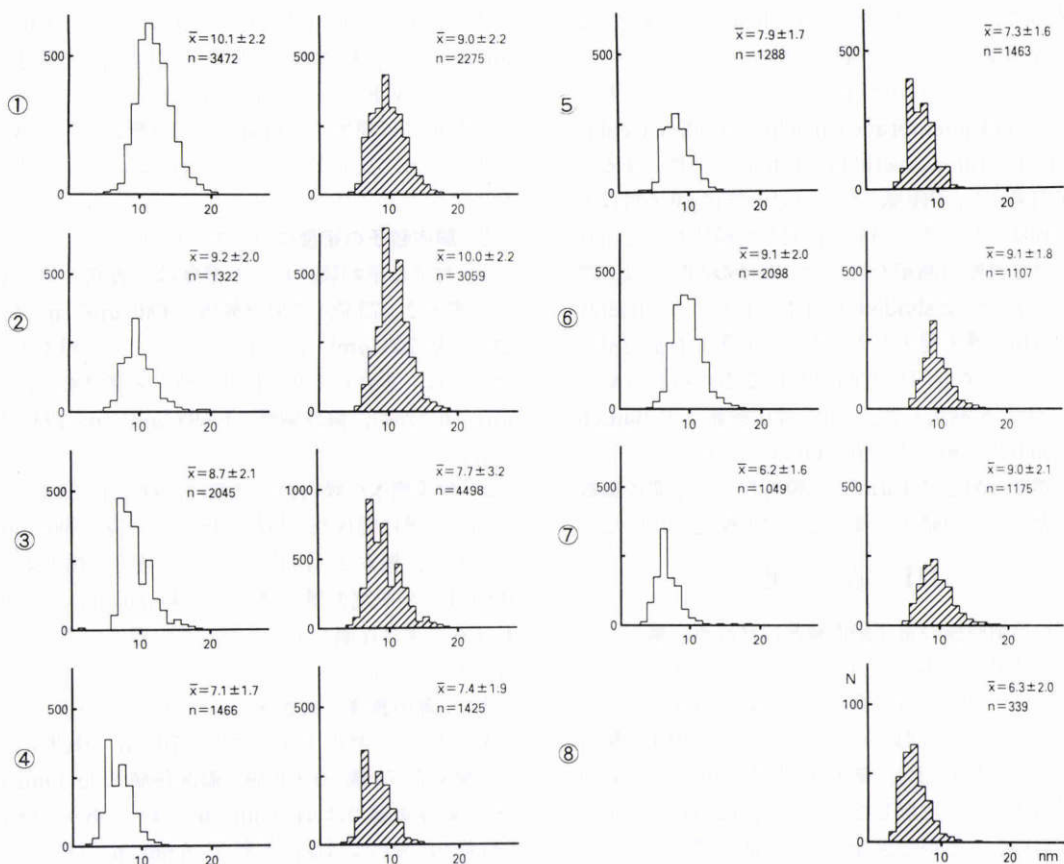
4. 小窩の密度について (図 5)

1) 対照の小窩の密度は二者間で極端な違いが見られた。標本 2 (73 歳) の値 (眼窩側層: $6.8/\mu\text{m}^2$ ($n=19$), 眼球側層: $6.0/\mu\text{m}^2$ ($n=8$)) は、標本 1 (33 歳) の値 (眼窩側層: $48.0/\mu\text{m}^2$ ($n=18$), 眼球側層: $44.0/\mu\text{m}^2$ ($n=18$)) と比べて約 7 倍高い値を示した。

図 1 凍結割断面像。

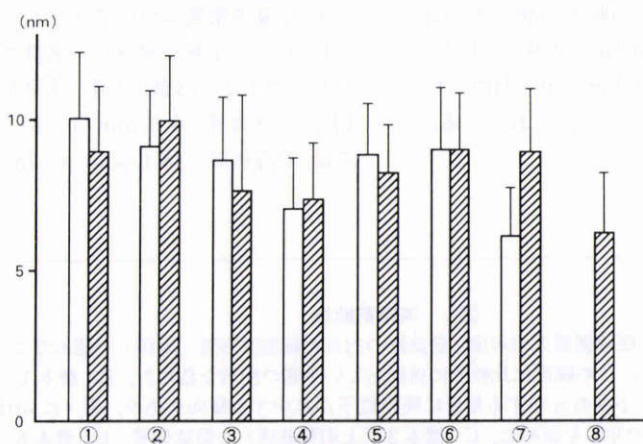
A: 標本 1 (33 歳) の眼球側層低倍率像。筋線維の内部の細胞原形質 (* 印) を認めたことにより筋形質膜が同定された。この膜面に比較的規則正しい小窩の配列を認めた。B: 標本 1 (33 歳) の眼球側層高倍率像。小窩の分布する部分に膜内粒子が集中する傾向があり、所々に orthogonal array (写真中 $\blacktriangle$ 印) の存在を認めた。C: 標本 3 (上斜筋麻痺) の眼球側層。D: 標本 6 (V 型外斜視) の眼球側層。小窩は不規則に配列し、小窩は膜内粒子とは無関係に散在していた。E: 標本 7 (V 型内斜視) の眼球側層。F: 標本 8 (V 型間歇性外斜視) の眼球側層。他の標本に比し不規則な形の小窩の存在と小さな膜内粒子を認めた。

細矢印: CVL (caveola, 小窩), 太矢印: IMP (intramembrane particle, 膜内粒子)



A. 直径の分布

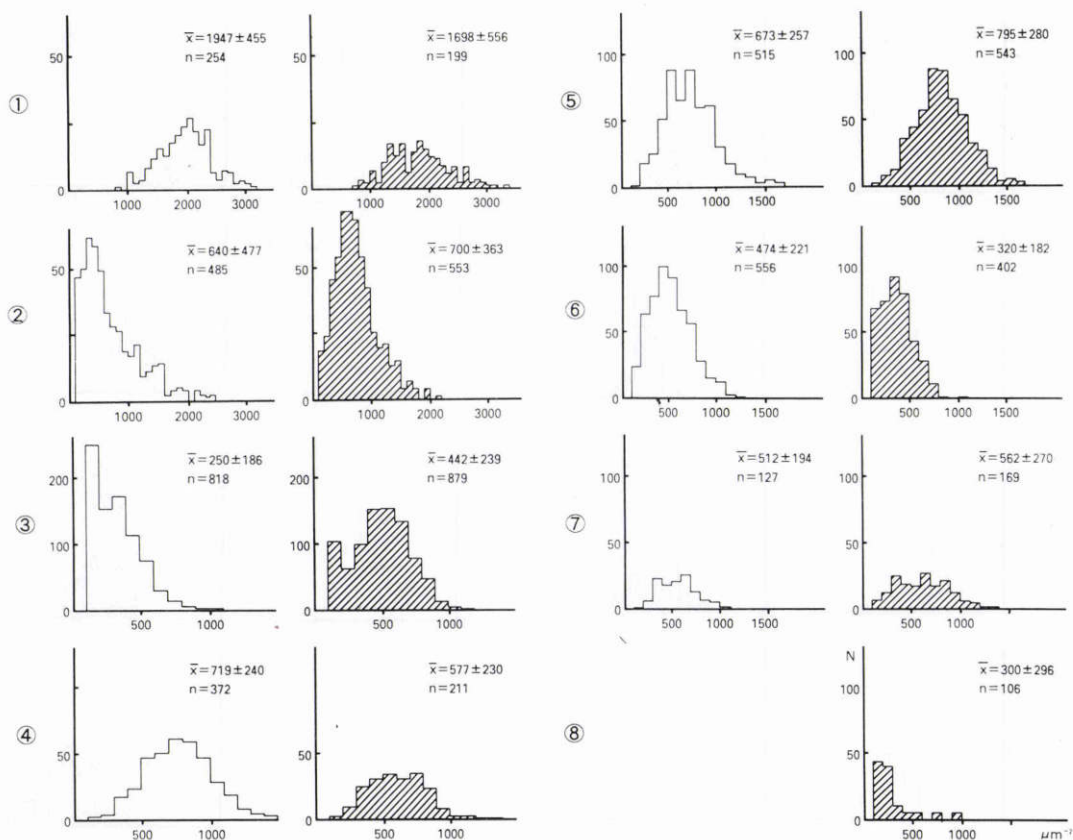
□: 眼窩側層, ▨: 眼球側層
各ヒストグラムの左側に示した円内の数字は標本番号
横軸: 直径 (nm), 縦軸: 観測数



B. 平均値と標準偏差

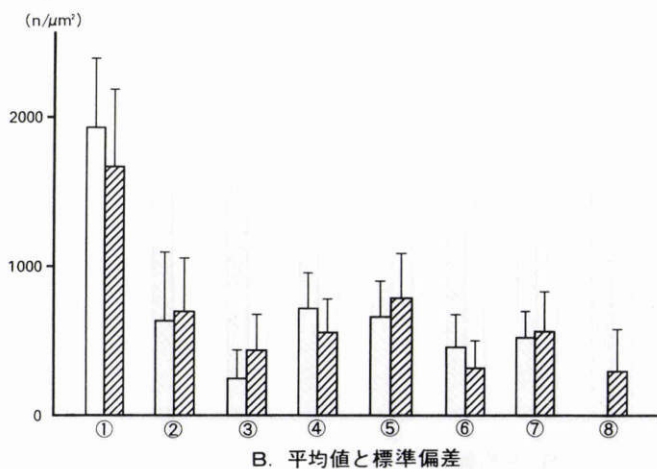
□: 眼窩側層, ▨: 眼球側層
横軸: 標本番号, 縦軸: 平均直径と (nm) と標準偏差 (棒の長さ)

図2 膜内粒子直径の比較.



A. 密度の分布

□ : 眼窩側層, ▨ : 眼球側層
 各ヒストグラムの左側に示した円内の数字は標本番号
 横軸: 直径 (μm), 縦軸: 観測数

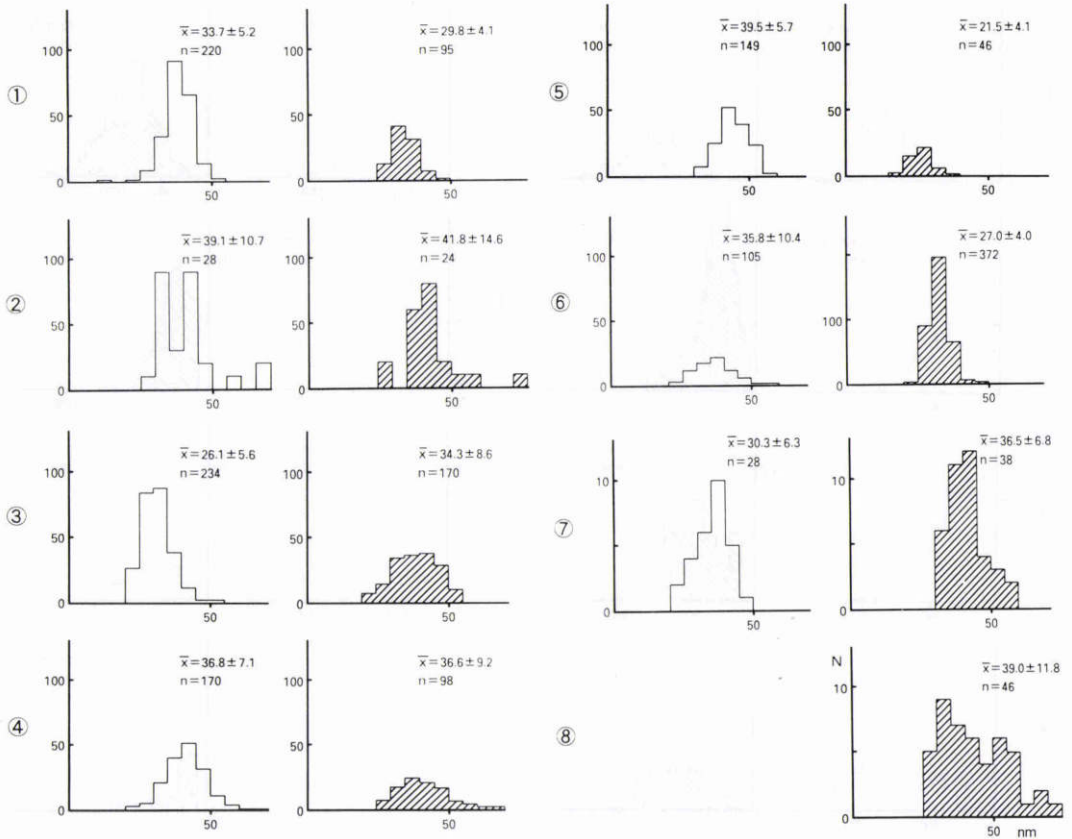


B. 平均値と標準偏差

□ : 眼窩側層, ▨ : 眼球側層
 横軸: 標本番号, 縦軸: 平均密度 (μm^{-2}) と標準偏差 (棒の長さ)

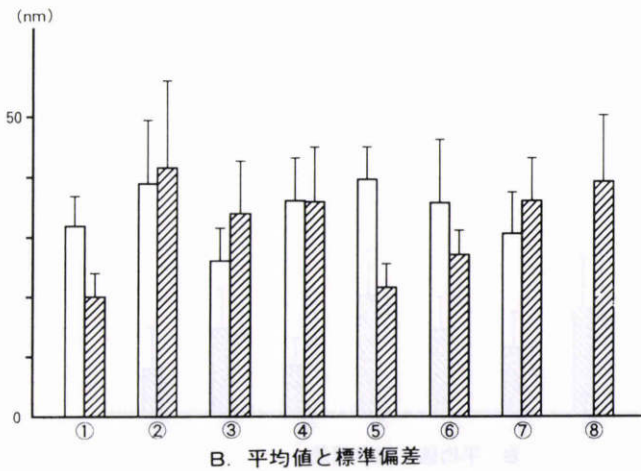
図 3 膜内粒子密度の比較.

A: 密度の分布, 正常例と斜視例で横軸が異なる点に注意, B: 平均値と標準偏差



A. 長径の分布

□: 眼窩側層, ▨: 眼球側層
各ヒストグラムの左側に示した円内の数字は標本番号
横軸: 直径 (nm), 縦軸: 観測数



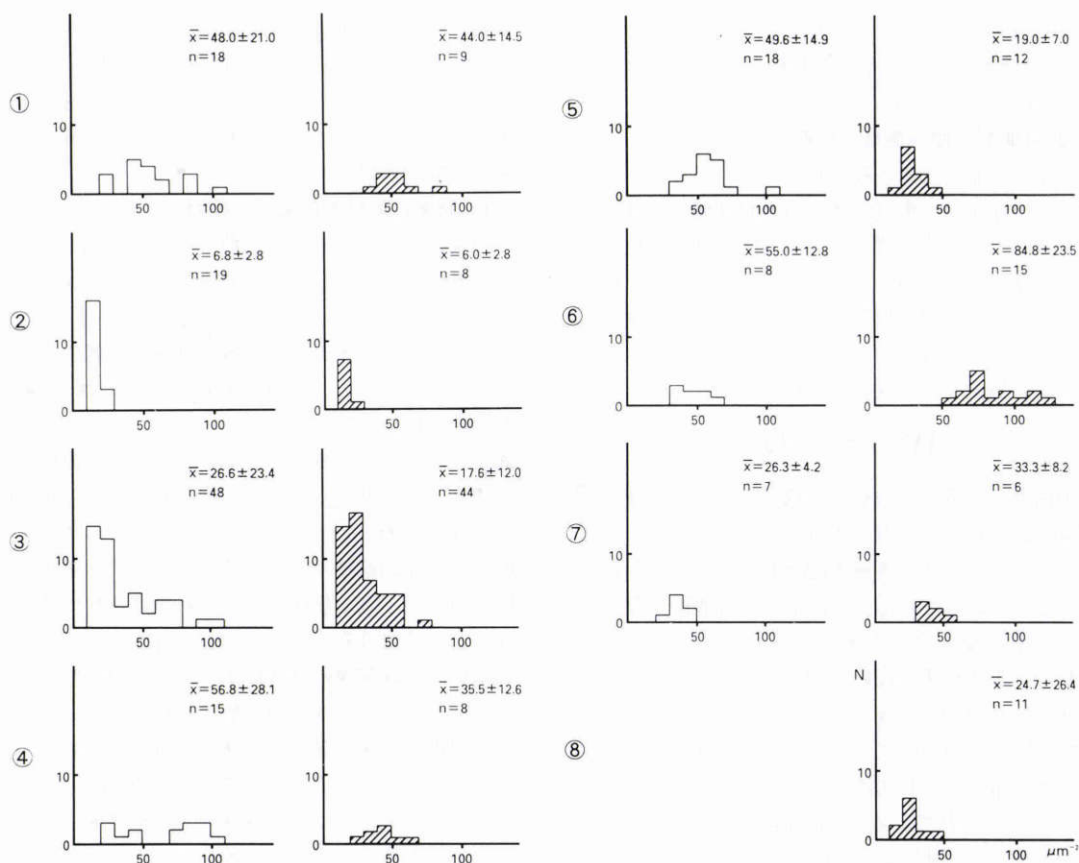
B. 平均値と標準偏差

□: 眼窩側層, ▨: 眼球側層

横軸: 標本番号, 縦軸: 平均直径と (nm)と標準偏差 (棒の長さ)

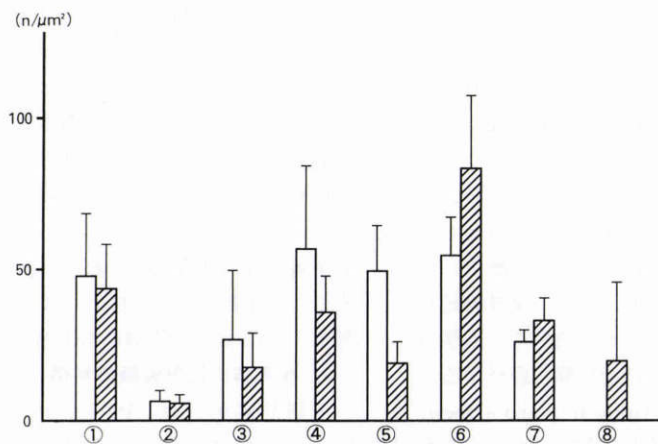
図4 小窩長径の比較.

A: 長径の分布, B: 平均値と標準偏差



A. 密度の分布

□: 眼窩側層, ▨: 眼球側層
 各ヒストグラムの左側に示した円内の数字は標本番号
 横軸: 直径 (μm^2), 縦軸: 観測数



B. 平均値と標準偏差

□: 眼窩側層, ▨: 眼球側層
 横軸: 標本番号, 縦軸: 平均密度 (μm^{-2}) と標準偏差 (棒の長さ)

図 5 小窩密度の比較.

A: 密度の分布, B: 平均値と標準偏差

μm^2 ($n=18$) の約 $1/7$ であった。

2) 斜視標本の小窩密度は標本 6 (V-XT) を除いて標本 1 と標本 2 の中間にあった。

5. 眼窩側層と眼球側層の比較

標本 1 (33 歳) では、膜内粒子と小窩の各々の大きさ、密度の 4 項目で眼窩側層の方が眼球側層より大きな値を示した。一方、標本 2 (73 歳) では膜内粒子の直径と密度で眼球側層の方が大きな値を示した。標本 8 (V-X (T)) の眼窩側層では測定ができず両層を比較することはできなかったが、それ以外の標本 3~7 では一定の傾向がなく共通の特徴を認めなかった。

IV 考 察

外眼筋は 4 直筋と 2 斜筋から構成され、他の骨格筋では見られない特殊な遅筋線維（筋線維に沿って伝播性活動電位を出さず、多重支配された終板電位だけで収縮する）を含んでいる。外眼筋は眼窩側層と眼球側層とで、その機能・形態が異なることが知られている。すなわち、眼窩側層では緩（遅）筋（小径線維）が主体であり、長時間の収縮でも疲労が少ないため、眼位の保持や固視に役立っている。一方、眼球側層では速筋（大径線維）が主体で速くて一過性の眼球運動に参与すると考えられている³⁾。電気刺激での発生張力から求めた木村⁵⁾の報告によれば、幼若ネコの外眼筋のうち眼球後引筋（retractor bulbi muscle）においては緩（遅）筋の占める割合は約 5% しかなかったのに対し外直筋で 24~30%、下斜筋で 8.1~23% と多いとしている。今回の実験には下斜筋を用いた。下斜筋は他の直筋と異なり、強膜との付着部に明らかな腱部分は認めない。腱部分は例えば、外直筋では約 8 mm であり、斜視手術時、最大量の短縮術（resection）の時にしか筋腹部分（凍結割断法の際に切断を行いやすい）を得ることができない。これに対し、下斜筋は筋付着部に腱部分がないため、有効に筋腹のみを試料として用いることができた。得られた筋腹は凍結割断法に供した。この方法は、生体膜の脂質二重層の機械的結合の弱い疎水性の間が好んで破断され、他の電子顕微鏡技術では得られない膜の内部構造の形態を観察することが可能である²⁶⁾。筋形質膜（muscle plasma membrane）は、静止電位や活動電位の発生のため、筋疾患の発生において重要な関わりがあると考えられている。この膜面において、膜内粒子は膜タンパクであり、イオン・チャンネルやイオン・ポンプ、あるいは化学伝達物質の受容体の形態的表現と一般に考

えられている。小窩の機能については未だ明らかでない点もあるが、筋の刺激-収縮連関に関与している transverse tubular system の入口とか、筋線維の栄養補給のための血管との関連も推測され、筋細胞の代謝系の形態的表現と考えられる。

1. 対照における年齢差の検討

73 歳の老年者では、膜内粒子の密度の低下と小窩密度の著明な低下を認めた。前者から筋線維膜の興奮性の低下を、後者から筋細胞の代謝の低下が考えられた。一般に筋自体の老化と共に運動神経系の老化も大きく影響するとされている。Lexell ら⁷⁾によれば、加齢によりヒト骨格筋の容積は徐々に小さくなり、やがて運動機能の減退につながるとしている。特に、速筋では加齢により約 35% 近くその太さが減少するが、緩（遅）筋の太さは加齢による変化が少ないと報告している。外眼筋でも速筋線維の直径が細くなっているとすれば、膜内粒子や小窩の筋線維ごとの総数は速筋で減少し、緩（遅）筋では変化がないことになる。本研究では眼窩側層と眼球側層の膜内粒子や小窩に明確な差を認めなかった。また、外眼筋は他の骨格筋と違って、異種の筋線維型（緩（遅）筋と速筋の両方）でさえ 1 個のニューロンで支配されているという報告がある⁸⁾。このことは、老化による眼窩側層と眼球側層に、大差がないという今回の実験と一致していると考えられる。一方、種々の制約を受ける実験の性格上、対照群と疾患群で大きな年齢差が生じた。両群の比較に疑念が生じるかもしれない。Schmalbruch⁹⁾は、胎児と成人（29~36 歳）の骨格筋の細胞膜内構造を比較し、P 面での膜内粒子と小窩の密度および膜内粒子の大きさに差を認めないと報告している。しかし、標本 2 (73 歳) の膜内粒子と小窩の密度は標本 1 (33 歳) に比べ優位に低下した。これは正常な発育筋では膜内粒子と小窩の構築が胎児期に完成し、老齢化によりそれらの密度が低下するものと考えられる。標本 1 (33 歳) の値は、若年者（6~9 歳）のそれに匹敵するものであろう。そこで疾患群との比較においては、標本 1 (33 歳) と標本 2 (73 歳) を別個に取り扱った。

2. 疾患群の筋形質膜の特徴について

下斜筋過動症は、Parks ら¹⁰⁾により原発性（primary）と続発性（secondary）に臨床的に分類されている。原発性下斜筋過動症は後天性で生後 8 か月~8 歳位で発症し内・外斜視、交代性上斜視や V 型斜視を伴うことも多いとされている。標本 6 (V-XT)、標本 7 (V-ET)、標本 8 (V-X (T)) が相当している。一

方、続発性のもは他眼の上直筋麻痺後の早期、または患眼の上斜筋麻痺後遅発してくる。標本3, 4, 5はこのtypeに相当している。なお、筋電図検査においては下斜筋過動症は筋肉のover actionであることが確認されている¹¹⁾。今回の実験結果から、疾患群では膜内粒子の直径のわずかな減少とその密度の明らかな減少を認めた。Schotlandら¹²⁾¹³⁾によると、Duchenne muscular dystrophy (DMD) や facioapulohumeral dystrophy (FSH) の筋形質膜に膜内粒子密度の低下があり、疾患の早期に起こる可能性があることや、また膜内粒子密度は骨格筋の筋小胞体と相互関係があり、筋形質膜機能の特異的变化に相関すると予想している。下斜筋過動症の膜内粒子密度の明らかな低下はDMDやFSHと似た変化で、例えばイオン・チャンネルの欠落や他のチャンネルへの置換など何らかの膜興奮性に変化があると考えられた。Dixら¹⁴⁾は、収縮蛋白の合成に関与している myosin heavy chain (MHC) mRNA の含有量をウサギ前脛骨筋を用い報告している。この筋肉を持続的に伸展させると、筋一腱移行部ではMHC mRNA の含有量は高まるが、筋腹部分ではこの含有量は少ない。つまり、筋一腱移行部ではMHC mRNA の蓄積があり、myotube が付加され筋線維の成長に寄与していると考えている。Kawakamiら¹⁵⁾は、カエルの骨格筋線維の両端(腱への移行部)で膜内粒子密度が高く、筋腹部で低いと報告している。代謝活動の盛んな筋一腱移行部では筋形質膜上のイオン・チャンネルのturnoverも活発であるため、膜内粒子密度も高くなっているものと推察される。本研究では、過動を示した下斜筋の筋腹を用いているが、over actionによる膜内粒子密度の増大が予測されるのにもかかわらず、正常値より極めて低い値であった。これは、この部分での代謝活動の低下を反映する結果と考えられる。一方、Bonillaら¹⁶⁾はDMDで小窩の大きさの減少に伴う密度の増加を報告し、これがtransverse tubular systemの異常型である可能性を示唆している。本実験では、これとは逆に運動症の小窩は対照のそれに比べて大きさが増大し、密度が低下する傾向を示した。このことは、DMDと過動症の発症原因に違いがあることを示唆するものと解される。

次に、向野ら³⁾によれば、下斜筋過動症ではSDHなどの脱水素酵素染色で眼窩側小径線維群の筋線維中心部に濃染するcore lesionを認め、これは電子顕微鏡像でミトコンドリアの中心部への異常集積でクリステなどの形態異常があると報告している。一方、除神経後

や腱切除後の筋肉では速筋に特異的に損傷が大きいことが知られている¹⁷⁾。以上の報告から、眼位異常のある筋肉では筋層ごとの変化の生じ方が異なるのではないかと考えられた。標本6(V-XT)を除いて、膜内粒子の直径は下斜筋過動症の原発性・続発性に関係なく、眼窩側層と眼球側層の両層で差が認められなかった。これは緩(遅)筋・速筋共に障害を受けていたことを意味する。つまり、膜内構造の変化は過動を示した下斜筋全体の筋線維に一般的に現れ、特定の型の筋線維や特異的に現れるものではないと考えた。膜内構造での差異はなくとも緩(遅)筋・速筋の間に筋原線維とか筋小胞体などに差があることは当然考えられ、これは前述のように運動神経支配の影響が強いことを示唆しているかもしれない。

擱筆にあたり、御指導を賜りました本学生理学教室、伊藤文雄教授に深謝致します。

文 献

- 1) 筒井 純：斜視および弱視の神経学的基礎知識。眼臨 79: 745—751, 1985。
- 2) Horwitz AF, Schotland DL: The plasma membrane of the muscle fiber. In: Engel AG, et al (Eds): Myology, Basic and Clinical. McGraw-Hill Book Co, New York, 177—208, 1986。
- 3) 向野和雄：眼筋。小川和朗, 他(編)：人体組織学。7. 感覚器。朝倉書店、東京、300—317, 1984。
- 4) Stachelin LA: Analysis and critical evaluation of the information contained in freeze etch micrographs. In: Beneditti EM, et al (Eds): Societe Francaise de Microscopie Electronique, Paris, 107—134, 1973。
- 5) 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。
- 6) Sandri C, Van Buren JM, Akert K: Membrane morphology of the vertebrate nerve system. Brain Res 46: 1—45, 1980。
- 7) Lexell J, Taylor CC: Variability in muscle fiber areas in whole human quadriceps muscle: Effects increasing age. J Anat 174: 239—249, 1991。
- 8) Loeb GE: The function organization muscles, motor units, and tasks. In: Binder MD, et al (Eds): The segmental motor system. Oxford University Press, New York, 23—35, 1990。
- 9) Schmalbruch H: 'Square arrays' in the sarcomma of human skeletal muscle fibers. Nature 281: 145—146, 1979。

- 10) **Parks MM**: The overacting inferior oblique muscle. *Am J Ophthalmol* 77: 787, 1974.
 - 11) **von Noorden GK**: Binocular vision and ocular motility. (4th ed). CV Mosby, St. Louis, 1990.
 - 12) **Schotland DL, Bonilla E, Wakayama Y**: Application of freeze fracture technique to the study of human neuromuscular disease. *Muscle Nerve* 3: 21—27, 1980.
 - 13) **Schotland DL, Bonilla E, Wakayama Y**: Freeze fracture studies of muscle plasma membrane in human muscular dystrophy. *Acta Neuropathol (Berl.)* 54: 189—197, 1981.
 - 14) **Dix DJ, Eisenberg BR**: Myosin mRNA accumulation and myofibrillogenesis at the myotendinous junction of the stretched muscle fibres. *J Cell Biology* 111: 1185—1194, 1990.
 - 15) **Kawakami K, Yoshimura A, Fujitsuka C, Fujitsuka N**: Intramembrane structure of plasma membrane in frog fast twitch muscle. *Neurosci Res* 11(Suppl): 886, 1990.
 - 16) **Bonilla E**: Freeze-fracture studies of muscle caveolae in human muscular dystrophy. *Am Asso Pathol* 104: 167—173, 1981.
 - 17) **Gutmann E, Melichna J, Syrový I**: Contraction properties and ATPase activity in cross striated muscle of the rat after denervation. *Exp Neurol* 36: 488—496, 1972.
-