

「静的筋作業におけるグリコーゲンの
枯渇パターンに及ぼす血流阻止の影響」

所属学科目 ----- 体カ学

著者 ----- 琉子友男

論文指導教員 --- 石河利寛

合格年月日 昭和52年3月7日

論文審査委員

栗本 隆夫

小坂 武彦

千葉 裕典

目 次

緒 言	1
関 連 文 献 の 考 証	5
1. エ ネ ル ギ ー 源 と し て の グ リ コ ー ゲ ン	5
2. グ リ コ ー ゲ ン の 枯 竭 ハ ー タ ー ン	11
3. 線 維 構 成 と 運 動 に 対 す る 能 力	16
研 究 方 法	20
1. 実 験 方 法	20
(1) 被 験 者	20
(2) MVC の 測 定	20
(3) グ リ コ ー ゲ ン 減 量 運 動	21
(4) 静 的 持 久 運 動 実 験	21
(5) muscle biopsy の 方 法	22
2. 分 析 方 法 と 手 順	24
(1) myosin ATPase 染 色	24
(2) PAS 染 色	25
3. 線 維 構 成 の 測 定	26
4. 実 験 条 件	26
研 究 結 果	27

1. MVC と 静 的 持 久 時 間	27
2. 10% MVC と グリ コー ゲ ン の 枯 渴 パ タ ー ン	27
3. 血 流 阻 止 レ ン 10% MVC と グリ コー ゲ ン の 枯 渴 パ タ ー ン	28
4. 30% MVC と グリ コー ゲ ン の 枯 渴 パ タ ー ン	29
5. 各 被 験 者 の 線 維 構 成	30
考 察	31
静 的 作 業 強 度 と 持 久 時 間	31
静 的 作 業 強 度 と グリ コー ゲ ン の 枯 渴 パ タ ー ン	32
血 流 阻 止 を 伴 う 静 的 作 業 後 の グリ コー ゲ ン の 枯 渴 パ タ ー ン	35
線 維 構 成 と 各 被 験 者 の Performance	36
要 約	39
謝 辞	41
引 用 文 献	42
Summary	46
付 表	
付 図	

緒言

ヒトの骨格筋は、筋の収縮速度に関係のある myosin ATPase の特性によつて、PH 9.4において ATPase に対して強く染色（陽性）される線維「Fast twitch fibre (FT)」と弱く染色（陰性）される線維「Slow twitch fibre (ST)」とに分類される。^{4) 15) 18) 20) 25) 35)}

筋が持続的に運動を行なうためには、筋細胞中のグリコーゲンがエネルギー源として必要であり、^{2) 5) 7) 27) 34)} 運動が持続されるにつれて、筋のグリコーゲンは枯渇するが、運動の種類や強度により両線維のグリコーゲンの枯渇パターンに差が生ずる。^{10) 21) 22) 23) 24) 28) 32) 37)}

すなわち、Gollnickら²⁴⁾ (1974) は、最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_2 \max}$) の30～150%に相当する負荷で動的な自転車エルゴメータ作業を行なわせた結果、高い酸化能力を持ったST線維は、 $\dot{V}_{O_2 \max}$ 以下のすべての負荷で最初にグリコーゲンを枯渇し、作業が続くにつれて、FT線維もまた枯渇し始めることを観察した。いっぽ

う、 $\dot{V}O_2 \max$ 以上の負荷では、両線維にグリコ
ーゲン¹⁾の枯渇が始まり、自転車エルゴメータ
作業のペダル回転数はグリコーゲン²⁾の枯渇
パターンに何ら影響を及ぼさなかつたことを
報告した。

Gollnick ら²³⁾ (1974) はまた、最大随意収縮力
(Maximal voluntary contractile strength; MVC) の小さ
な割合 (5 ~ 15%) を負荷とした場合の静的
持久作業は長時間持続することができ、
MVC に対する割合が増加するにつれて、持久
時間に急激な減少がみられることに着目し、
静的持久作業における運動単位の特性および
筋の代謝に関する付加的情報を得るために、
静的持久作業に伴う骨格筋線維のグリコーゲン³⁾
の枯渇パターンを研究している。これによ
ると、MVC の 20% が critical line となつて、それ
以下の負荷のときは ST 線維、それ以上の負荷
のときは FT 線維から枯渇すると結論してゐる。
い、ほう、Barcroft や Millen³⁾ (1939) は下腿の、
後に Edward ら¹³⁾ (1972) は大腿四頭筋の血流を

測定した結果、20% MVC 以上の等尺性の張力で作業を行なった場合には、作業筋の血流の制限および閉塞がなされると報告している。これらの結果から Gollnick ら²³⁾ (1974) は、20% MVC 以上の負荷で作業を行なった場合には、FT 線維が動員されることの説明として、筋張力により求心性の血流が制限されたり、閉塞されるために作業筋内に虚血状態が生ずるためであるとうと推測している。しかし、Gollnick らは血流の制限や閉塞が FT 線維の選択的な動員に対する重要な要因であると推定はしているが、実験的には血流の阻止によるグリコーゲンの枯渇パターンを確かめていない。そこで、本研究は血流を完全に阻止した状態で同様の静的持久運動を行なわせ、それが筋線維の異なる動員を示す、選択的なグリコーゲンの枯渇パターンにどのような影響を与えるかをみようとすることを主目的とした。

また、筋線維構成はトレニニグによって変化することはないと言われ、^{39) 40)} 競技者の

線維構成を測定した結果、短距離走者は主にFT線維を、長距離走者はST線維を多く所有していることから、専門種目によつて筋線維構成が違ふと言われている。^{(2) (8) (25)} すなわち、筋線維構成が競技者の種目の選択やその種目で成功に何らかの影響を与えていると思われる。そこで、本研究は付加的興味として、myosin ATPase 染色で明らかにした筋線維構成と各被験者の専門種目との関係を調査した。

以上のことを研究するには、muscle biopsy の手法を必要とするが、この手法は我が国の運動生理学の領域ではまだ用ゐられたことがないので、この点に関心を寄せたことを付記する。

関連文献の考証

1. エネルギー源としての筋グリコーゲン

一般に持続的な筋作業を行なう場合のエネルギー源は、筋細胞中のグリコーゲン、筋中の貯蔵物から由来する遊離脂肪酸 (FFA)、および肝グリコーゲンから由来する血糖であると言われている。¹⁾

Ahlborg ら²⁾ (1967) は、筋グリコーゲン量と血糖量が持続的作業能力にどのような影響を与えるかを観察するため、9人の被験者に PWC 170 の 62% の負荷を用いて、平均 127 分 (70 ~ 190 分) の自転車エルゴメータ作業を行なわせた。この結果、安静的に $1.53 \pm 0.41 \text{g} / 100 \text{g wet muscle}$ あった大腿四頭筋のグリコーゲン量は $0.38 \pm 0.20 \text{g} / 100 \text{g wet muscle}$ に減少した。また、2人の被験者に 20% ブドウ糖を 8 ~ 10 ml 静注して同様の作業を行なわせた場合でも、静注しなかった場合と同様、筋グリコーゲン量の著るしい減少がみられた。このことから、長時間作業の capacity は作業筋のグリコーゲン貯蔵に関係があると報

告してゐる。

また、Bergström と Hultman⁶⁾ (1967) は、10人の被験者に片方の脚で 750 ~ 900 kpm/min の負荷を用いて、60分間の自転車エルゴメータ作業を行なわせた。その後、休息してゐたもう片方の脚で同様の作業を行なわせた。この結果、最初の片脚での作業後、 $1.32 \pm 0.07 \text{ g} / 100 \text{ g wet muscle}$ あつた大腿四頭筋のグリコーゲン量は $0.28 \pm 0.08 \text{ g} / 100 \text{ g wet muscle}$ に減少した。休息してゐた片脚での作業後にも $1.29 \pm 0.08 \text{ g} / 100 \text{ g wet muscle}$ から $0.27 \pm 0.07 \text{ g} / 100 \text{ g wet muscle}$ に減少した。このように、筋のグリコーゲン量や作業による減少率には両実験間に有意な差が存在しなかつた。これらの結果から、筋グリコーゲンは作業に伴い、ほとんど枯渇するし、作業に関与しなかつた筋群のグリコーゲンが作業してゐる筋群を補充するといふことはなると報告してゐる。また、別の10人の被験者に、休息してゐた片脚での作業前に50%ブドウ糖 20 ml を静注し、さらに、800 ~ 1000 ml の20%ブドウ糖を注入しながら同様の作業を行なわ

せた。この結果、筋のグリコーゲン量や作業による減少率は、ブドウ糖を注入しな^ら先の実験と余り差がなかった。このことから、血糖値が高いときでも、エネルギー産出には筋に貯蔵されているグリコーゲンの消費が重要であると報告している。

Hermansen ら²⁷⁾ (1967) は、10人の鍛練者と10人の非鍛練者に $\dot{V}O_2 \max$ の77%に相当する負荷で自転車エルゴメーター作業を行なわせ疲労困憊に至らせた。すなわち、作業前に平均1.6 (1.1 ~ 2.5) g/100g wet muscle の筋グリコーゲン量を持つ被験者が約3 g/min の炭水化物の燃焼率の作業を行なった場合、筋グリコーゲン量は作業後、鍛練者で $0.12 \text{ g/100g wet muscle}$ 、非鍛練者で $0.06 \text{ g/100g wet muscle}$ に減少した。また、作業時間は鍛練者で約90分、非鍛練者で約85分であった。これらの結果から、作業筋における筋グリコーゲン量と酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、および呼吸商 (RQ) から計算した炭水化物の燃焼量との間には極めて高い相関があり、筋に貯蔵されているグリコ

グリコーゲン量が長し作業に対する capacity を制限するであろうと報告している。

また、Bergström ら³³⁾ (1967) は、9人の被験者に脂肪蛋白食(P)、混合食(M)、炭水化物豊富食(C)の3種類の食事を3日間与えた後、 $\dot{V}_{O_2 \max}$ の75%に相当する負荷で自転車エルゴメータ作業を行なわせ疲労困憊に至らせた。この結果、作業前の平均筋グリコーゲンはP、M、Cの3種類の食事の後それぞれ、0.69、1.93、3.70 g/100g wet muscle であり、平均作業時間はそれぞれ、59、126、189分であった。これらの結果から、平均作業時間と筋作業前に筋に貯蔵されていたグリコーゲン量との間には相関関係があり、作業筋のグリコーゲン量は長時間の激しい運動を行なう能力の決定因子であると報告している。

Pernow と Saltin³⁴⁾ (1971) は、4人の被験者に片方の脚で1~1.5時間、 $\dot{V}_{O_2 \max}$ の約75%に相当する負荷で自転車エルゴメータ作業を行なわせ疲労困憊に至らせた。1時間の休息後、

休息していた方の脚で同様の作業を行なわせた。この結果、大腿四頭筋のグリコーゲン量は、 $1.17 \text{ g}/100 \text{ g wet muscle}$ から $0.03 \text{ g}/100 \text{ g wet muscle}$ に減少した。その後、炭水化物を含まない食事をして、翌日、最大下 ($\dot{V}O_{2 \max}$ の 60 ~ 70 %) で自転車エルゴメーター作業を行なわせたが、作業負荷の減少にもかかわらず、作業時間の著るしい減少がみられた。翌日の休息していた脚での運動前に、 1.2 g のニコチン酸を経口的に投与し、脂肪組織からの FFA の遊離を妨げて同様の作業を行なわせた。この結果、投与前の片脚運動 (低いグリコーゲン量と正常な FFA の供給) の作業時間が平均 55 分であったのに対して、投与後の片脚運動 (低いグリコーゲン量と FFA 供給の減少) では 28 分に減少した。また、総エネルギー出力も、前日の 1 回目と 2 回目の片脚運動中、それぞれ 850 kcal と 820 kcal であったが、翌日の運動では、ニコチン酸投与前に 430 kcal 、投与後は 220 kcal に減少した。これからの結果から、筋グリコーゲン量と FFA の減

少は長時間運動の能力を低下させると報告している。

以上のよう、これらの論文は筋グリコーゲンがエネルギー源として重要な役割を果たしていることを述べていると思われる。

2. グリコーゲンの枯渇パターン

運動の種類や強度の差により、グリコーゲンの選択的枯渇パターンにも差が生ずる。このことは、筋線維の異なる動員を示すものと考えられる。

Kugelberg と Edström²⁹⁾ (1968) は、70匹の albino rats の座骨神経に 0.5 ~ 1 V の電気刺激を 5 ~ 10/sec の頻度で 30秒 ~ 2時間加え、腓腹筋のグリコーゲンの枯渇パターンを検討した。この結果、5/sec の刺激頻度で 30秒後、最初に FT 線維のグリコーゲンが減少し、5分後には FT 線維の 90% がグリコーゲンを枯渇した。このことから、電気刺激に対しては FT 線維のグリコーゲンから枯渇すると報告している。

Grollnick ら²¹⁾ (1973) は、6人の被験者に $\dot{V}O_{2\max}$ の 67% に相当する負荷で自転車エルゴメータ作業を行なわせ、安静時、運動中 20分後、60分後、120分後、180分後 (または疲労困憊まで) にわたって大腿四頭筋のグリコーゲンの枯渇パターンを観察した。この結果、ST 線維

が最初にグリコーゲンを枯渇したが、運動が
 続くにつれてFT線維のグリコーゲンも枯渇し
 始めた。このことから、長時間の運動では、
 ST線維のグリコーゲンが優先的に利用され、
 ST線維のグリコーゲン貯蔵が枯渇した後、FT
 線維が動員されると報告している。

Costillら¹⁰⁾(1973)は、9人の被験者に30kmの
 ランニングを行わせ、そのうち8人の被験
 者に2〜3週間後、さらに20.5kmを走らせて、
 長時間走中の代謝やグリコーゲンの枯渇パ
 ターンを観察した。この結果、走行中の平均 $\dot{V}O_2$
 は4.7 l/min ($\dot{V}O_{2\max}$ の約83%)、平均RQは0.90で
 あり、大腿四頭筋のグリコーゲン量は56% (98
 から42 mmoles of glucose units/kg) 減少した。また、
 ST線維のグリコーゲンは、ほとんど枯渇した
 が、FT線維にはかなりのグリコーゲンが残っ
 ていた。これらのことから、長時間走は主に
 ST線維に依存すると報告している。

Grollnickら²²⁾(1973)は、6人の被験者に $\dot{V}O_{2\max}$
 の150%に相当する負荷を用いて、1分間の自

転車エルゴメータ作業を10分間の休息を入
 れて6回行なわせた。筋サンプルは安静時、
 1回目、3回目、最後の作業後に外側広筋か
 ら採取された。この結果、総グリコーゲン量
 は作業回数が多くなるにつれて減少し、組織
 学的には低い酸化能力、高い解糖能力を持っ
 ているFT線維から最初にグリコーゲンを枯渇
 した。このことは、もっと軽い負荷の作業の
 とき、ST線維から枯渇したのとは逆の結果で
 あり、それはおそらく作業の強度あるいは速
 度によるものであろうと報告している。

Lindholmら³²⁾(1974)は、5頭の鍛練された馬
 (Standardbred)に2種類の速度(300m/minと500m/min)
 でそれぞれ4時間と1時間、そのうちの1頭
 には、5分の休息を入れ最大速度で400mを6
 回走行させ、後肢の中臀筋のグリコーゲンの
 枯渇パターンを観察した。この結果、すべての
 の実験強度でST線維とFTH* (Fast twitch, High oxydative)
 線維のグリコーゲンは枯渇したが、4時間お
 よび最大速度で走行させたときには、漸増的

*人間にはFTH線維はないと考えられている。

に FT 線維も動員された。このことから、長時間と最高速度での走行に対する馬の疲勞は、ST 線維と FTH 線維におけるグリコ-ゲン²⁴⁾の枯湯に關係があると報告している。

Gollnick ら²⁴⁾ (1974) は、13人の体育学部学生に、 60° から回転数 30 ~ 120 rev/min で $\dot{V}O_{2max}$ の 30 ~ 150% に相当する負荷で自転車エルゴメーター作業を行なわせ、グリコ-ゲンの枯湯パターンを観察した。この結果、高い酸化能力を持った ST 線維は $\dot{V}O_{2max}$ 以下のすべての負荷で最初にグリコ-ゲンを枯湯し、作業が続くにつれて、FT 線維も枯湯し始めた。また、低い作業負荷では、3時間の運動後でも FT 線維に多くのグリコ-ゲンが残っていた。 $\dot{V}O_{2max}$ 以上の負荷では、両線維にグリコ-ゲンの枯湯が始まり、さまざまな 60° から回転数はグリコ-ゲンの枯湯パターンに影響を与えなかった。これらのことから、最大下の持久的運動では、主に ST 線維に依存し、ST 線維のグリコ-ゲンが枯湯すると FT 線維が動員される。また、

$\dot{V}O_2 \max$ 以上のエネルギー消費を必要とする運動中には両線維の動員が必要であると報告している。

Gollnick ら²³⁾ (1974) はまた、6人の被験者に膝角度を 90° の状態で静的に等尺性の張力を維持する運動を行なわせ、グリコ-ゲン²³⁾の枯渇パターンを観察した。この結果、MVC の 20% 以下の小さい張力での収縮では、主に ST 線維のグリコ-ゲンが枯渇し、MVC の 20% 以上では、主に FT 線維のグリコ-ゲンが枯渇した。このことから、ST 線維から FT 線維への動員の転換は約 20% MVC のときになされ、この現象をひきおこす重要な因子は、張力による血流の制限、すなわち、酸素利用の制限であると報告している。

3. 線維構成と運動に対する能力

Gollnick ら¹⁸⁾ (1972) は、74人の被験者の線維構成を外側広筋と三角筋から採取したサニールで観察した。この結果、ST線維の割合は持久的トレニングに従事していた被験者で高く、持久的作業に広く関与していた筋において高かった。また、Top-levelの競技者のうち、短距離走者(100yd-9.3sec)のST線維は約26.0%、中距離走者(880yd-1:51sec, 1mile-4:04sec)のST線維は約56%、長距離走者(Cross-country, 6mile-28:15sec)のST線維は約77.0%であった。これらから結果から、線維構成におけるこれらの差は、競技のPerformanceに関係があると報告している。

Gollnick ら²⁵⁾ (1974) はまた、9人の男子と2人の女子被験者のヒラメ筋、腓腹筋、外側広筋の線維構成を比較した。この結果、ヒラメ筋のST線維は平均80% (64~100%)、腓腹筋と外側広筋のST線維は平均57% (34~82%)であった。このことから、被験者や被験筋によつて筋線維構成に差があるが、これは sampling-

error によるものではないと報告している。

Torstensson ら³⁹⁾ (1975) は、4人の被験者に短距離走型の筋カトレニングを1週間に3〜4回の頻度で8週間行なわせ、筋線維構成を観察した。この結果、トレニング前に59.0±7.3%であった外側広筋のFT線維はトレニング後も56.0±7.4%と変化がみられなかった。しかし、線維面積(μm^2)はトレニング後、ST線維で $130 \pm 244.0 \mu\text{m}^2$ 、FT線維で $240 \pm 44.4 \mu\text{m}^2$ 増加した。このことから、トレニングによって、相対的な線維分布は変化しなかったが、線維面積はわずかに増加すると報告している。

続いて Torstensson ら⁴⁰⁾ (1976) は、14人の被験者に脚の伸展運動を1週間に3回の頻度で8週間行なわせ、筋線維構成を観察した。この結果、トレニング前に50±2%であった外側広筋のFT線維はトレニング後も52±3%と変化しなかった。しかし、線維面積はトレニング後、ST線維で約 $155 \mu\text{m}^2$ 、FT線維で約 $405 \mu\text{m}^2$ 減少した。このことから、相対的な線維分布、

および相対的な線維面積のどちらもトレニ
ニグによつて有意に増加しないと述べ、線維
面積は増加すると述べた先の報告とは少し違
った。

Costillら⁽¹²⁾(1976)は、17人の女子競技者、23
人の男子競技者、10人の非鍛練者の女子、11
人の非鍛練者の男子の腓腹筋(外側)から採
取したサニゴールで線維構成を観察した。この
結果、短距離走者のST線維は女子で27.4%(26.6~28.2)
男子で24.0%(21.0~27.0)、中距離走者のST線維
は女子で60.6%(44.0~73.3)、男子で51.9%(40.5~69.4)、
長距離走者のST線維は男子で69.4%(63.4~73.8)
であった。これらのことから、筋線維構成が
競技者の種目の選択やその種目での成功に何
らかの関係があると報告している。

以上の文献考証の結果から、筋グリコーゲ
ンは持続的に筋作業を行なう場合の重要な工
ネルギー源であるが、その筋作業の種類や強
度により両線維に貯蔵されているグリコーゲ

ンの柘湯パターンを異にする。また、筋線維の構成は先天的なもので、競技者の種目の選択やその種目で成功に大きな役割を演じていると思われる。

研究 方法

1. 実 験 方 法

(1) 被 験 者

被験者は、順天堂大学体育学部および同大学院体育学研究科に在籍している7名の男子学生であった。彼らの身体特性は表1に示した。すなわち、平均年齢は 24 ± 1.3 歳、平均体重は 75.3 ± 6.5 kg、平均身長は 177.4 ± 6.0 cmであった。規則的な持久運動に従事している被験者は存在しなかったが、被験者TNとTIは現役の陸上競技選手であり、筋カトレ-ニングを行なうこともあった。また、被験者KSは筋線維構成の測定にのみ参加した。実験を行なう前に、あらかじめ muscle biopsy に対する口述の同意を得て行なわれた。

(2) MVC の 測 定

実験の前日に被験者のMVCを測定した。すなわち、被験者は図1に示した装置に仰臥し、その足首に布製のベルトをかけ、滑車を介してワイヤーでロードセル（昭和測器製：RTV100型）

表 1.

図 1.

に接続した。その後、被験者は膝の伸展のため3～4秒最大努力をした。ロードセルの張力の变化は動歪測定器（新興通信製：Ds6MTY型）で増幅し、ビジグラフ（三栄測器製：PPR-101型）で記録した。測定前に行なった較正を基にMVCを測定した。

(3) グリコーゲン減量運動

筋グリコーゲンレベルが80～90 mmol 以下でなければ、Periodic Acid-Schiff (PAS) 反応（過ヨウ素シッフ法）によるグリコーゲンの差をとらえることはできない。^{(4) (5)} このレベル以下に筋グリコーゲン量を減ずるということを確実にこなうために、実験の前日、被験者に720 kpm/min の負荷で1時間、自転車エルゴメーター（Monark社製）作業を行なわせた。その後、被験者に翌日まで低いグリコーゲンレベルを維持させるために断食を指示した。

(4) 静的持久運動実験

被験者間に本実験に影響を与えるような有意な差はな^らずと思われ^らるので、表2に示した

表 2.

如く， 2 人 の 被 験 者 に 10 % MVC の 負 荷 で， ま
 た， 2 人 の 被 験 者 に 30 % MVC の 負 荷 で 静 的 持
 久 運 動 を 行 な わ せ た。 他 の 3 名 の 被 験 者 に は，
 大 腿 用 に 作 成 し た cuff で 大 腿 上 部 に 230 mmHg 以
 上 の 圧 を か け， 大 腿 の 血 流 を 阻 止 し た 状 態 で
 10 % MVC の 負 荷 を 用 い て 同 様 の 実 験 を 行 な っ
 た。 い ず れ の 運 動 の 場 合 で も， そ れ ぞ れ の 張
 力 を 維 持 で き な く な っ た 刻 を 疲 労 困 倦 と み な
 し た。

(5) muscle biopsy の 方 法

筋 針 = 70 ル は 「The needle biopsy technique」 (Bergström⁵⁾, 1962)
 を 使 用 し て 左 脚 の 外 側 広 筋 か ら 採 取 し た。 筋
 針 = 70 ル を 採 取 す る biopsy needle を 図 2 に 示 し た。

図 2.

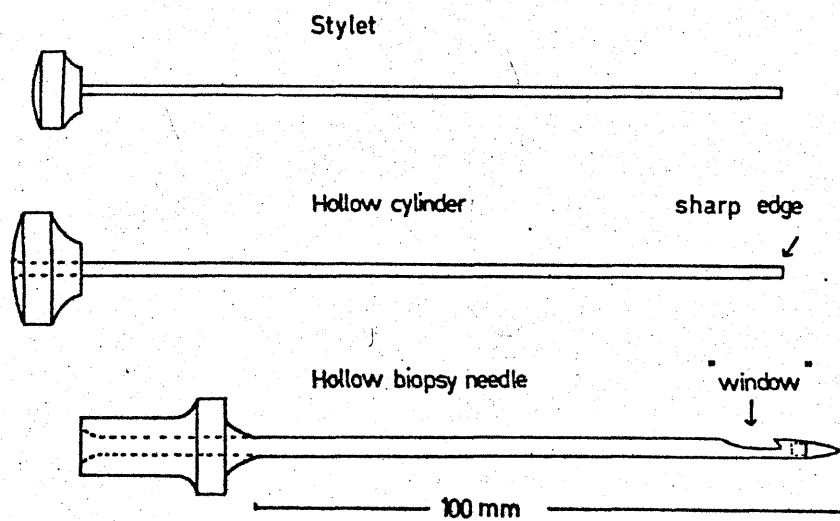


Fig. 2
 Punch biopsy needle for muscle biopsy. The styilet was used for pushing
 out biopsy specimens from the cylinder.

この採取は順天堂大学整形外科の川上和夫講師によつて行なわれた。その手順は次の通りであった。

1. Biopsy 部位の毛を剃つた後、皮膚を希ヨードン（キと30%イソプロピルアルコール）でよく消毒する。

2. Biopsy の部位を決める。その標準部位は、Grollnick¹⁸⁾ (1972), Piehl³⁵⁾ (1974) らと同様、膝蓋骨から12~16 cm 上部で、筋の中へ3~4 cm の深さである。

3. その部位の皮膚と筋膜を0.5%キシロカイン5~10 ml で局所麻酔し、切開は外科用の小刀で行なつた。

4. needle を筋の中へ3~4 cm 入れ、安静時のサニ70ルを採取した。その後、消毒したガーゼと絆創膏で切開した部位を覆い、(3)の静的持久運動を行なわせた。運動後のサニ70ルは疲帯困倦後3分以内に再度、同じ部位より採取した。

5. 切開部位は縫合絹糸(4号)で縫合し、

消毒したか-ゼと絆創膏で覆った。1週間後に抜糸した。

2. 分析手法と手順

採取したサニフォルをすばやく液体窒素で冷却したイソペニタン (-160°C) で瞬間凍結し、シャーレに入れて、分析まで -80°C の冷凍庫内に保存した。切片の作成にあたっては、まずサニフォルの方向を定め、ゼラチン台に CRYOFORM と CRYOKWIK を使用して固定する。その後、 -20°C のクリオスタット内で、それぞれ $8\mu\text{m}$ の厚さの連続切片にした。1つの連続切片は Khan²⁹⁾ (1972) 法により myosin ATPase 染色をした。他の連続切片は PAS 反応を用いてグリコ-ゲン³¹⁾ の染色をした。その2つの染色手順は次の通りであった。

(1) myosin ATPase 染色

1. 0.1 M Tris maleate buffer (PH 7.4)^{註1} 7.5 ml に塩化カルシウム 80 mg, クエン酸 15 mg, ATP (2Na塩) 25 mg をそれぞれ溶解し A 液を作成する。また、

註1 0.1 M Tris maleate buffer (PH 7.4)

A 液: トリスマレイト 24.2g

マレイト 23.2g (または、無水マレイト 19.6g) を蒸留水に溶解し、1000ml とする。

B 液: 0.2 M 水酸化ナトリウム水溶液

水酸化ナトリウム 8g に蒸留水を加えて 1000 ml にする。

A 液 500ml に B 液 54.0 ml 加えて、蒸留水で全量を 200 ml にする。

- 0.1 M Tris maleate buffer (PH 7.4) にゼラチン 200 mg を溶解し B 液を作成する。A 液と B 液を合わせ、1 N 水酸化ナトリウムで PH 9.4 に補正する。このようにして調整した基質液にカバーグラスに付着させた切片を浸漬し、37°C の恒温槽で約 10 分間、Preincubation する。
2. 蒸留水で 2 分間ずつ 3 回洗浄し、2% 塩化コバルト液に 3 分間浸漬する。
3. 蒸留水で 2 分間ずつ 3 回洗浄し、1% 硫酸化アニモニ液で発色させる。
4. 流水で 3 分間洗浄した後、70%、80%、90% および無水アルコールを通して脱水し、キシロールで透徹した後、バルサムで封入した。

(2) PAS 染色³¹⁾

1. 中性緩衝ホルマリン液に、カバーグラスに付着させた切片を約 5 分間浸漬し固定する。
2. 蒸留水で約 1 分間、注意深く洗浄する。

その後、0.5% 過ヨウ素酸水溶液中に約10分間入れ、蒸留水で洗浄する。

3. シッフ試薬^{註2}に約30分間浸漬し、水洗せすに、亜硫酸水を3瓶に分けて、それぞれの中で3分間、計9分間洗浄する。その後、流水中で約5分間洗浄する。

4. 70%、80%、90% および無水アルコールで脱水した後、キシロールで透徹、バルサムで封入した。

3. 線維構成の測定

myosin ATPase 染色で明らかにしたHT線維、ST線維を顕微鏡写真に撮り、その写真に写された線維全体を100%とみなし、それぞれ線維の個数から相対的割合を計算で求めた。

4. 実験条件

実験は、昭和51年11月20日から12月13日に行われ、実施した。その期間の室温は $21.5 \pm 1.5^{\circ}\text{C}$ であり、被験者に不快感を与えずに行なわれた。

註2 シッフ試薬：200mlの蒸留水を沸かして炭を去り、二水に1gの塩基性フクシンを加えよくかきはんする。さらに煮沸して、フクシンが溶けたのを確認後、 50°C まで冷やして過する。二水に1N塩酸20mlを加え、さらに流水で 25°C になるまで冷やす。その後、無水亜硫酸ナトリウム(NaHSO_3)を1g加える。よくかきはんして色瓶に入れて冷暗所に保存する。

研究結果

1. 各被験者の MVC とその相対的負荷での静的持久時間

7人の被験者の静的膝伸展作業における平均 MVC は $74.8 \pm 5.5 \text{ kg}$ ($70.9 \sim 85.2$) であった。各被験者の MVC を基にして、10% MVC、30% MVC、血流を阻止しての10% MVCの3種類の負荷で静的持久作業を行なわせた。この結果、静的持久時間は10% MVCで最も長く平均11.3分、次に血流を阻止して10% MVCで平均5.5分、30% MVCで最も短く、平均1.9分であった。(表2)

表 2.

2. 10% MVCで静的持久作業を行なった場合

のグリコ - ケニの枯湯10ターン

2人の被験者 (I.S と T.N) に10% MVCの負荷で静的持久作業を行なわせ疲労困憊に至らせた。この結果、被験者 I.S の持久時間は被験者 T.N の持久時間よりも約2倍長かった。作業終了後被験者 T.N (図3の a)、被験者 I.S (図3の b) の両者に FT 線維のグリコ - ケニの枯湯は認めら

図3 a a
図3 a b

れなかつた。このことから、本研究のこの結果からはST線維のグリコ-ゲン¹の減少を組織学的に観察することはできなかつたが、この作業はST線維のグリコ-ゲン¹を使用してなされたと思われれる。

3. 血流を阻止して10% MVCで静的持久作業を行なった場合のグリコ-ゲン¹の枯渇パター

3人の被験者(T.I, S.M, A.M)に230 mmHg以上の圧を大腿上部にかけ、血流を阻止した状態で10% MVCの静的持久作業を行なわせ、疲労困憊に至らせた。この結果、3人の被験者の平均持久時間は5.5分であり、血流を阻止しない状態での10% MVCのグリコ-ゲン¹よりも、持久時間は平均で約51%短かつた。作業後、被験

図4のa
図4のb

者S.M(図4のa)と被験者A.M(図4のb)のFT線維の一部にグリコ-ゲン¹の枯渇が認められた。それに対してST線維のPAS染色濃度は安静時のそれとほとんど変わらなかつた。被験者T.Iは

前日の自転車運動ですでにFT線維の一部のグリコ-ゲンが枯渇していた。作業後、さらに多くのFT線維のグリコ-ゲンの減少あるいは枯渇が認められた。(図4a c)

図4a c

4. 30% MVCで静的持久作業を行なった場合のグリコ-ゲンの枯渇パターンに2人の被験者(T.RとR.K)に30% MVCの負荷で静的持久作業を行なわせ疲労状態に至らせた。この結果、持久時間は10% MVC、血流を阻止して10% MVCのいすの負荷のグール-70よりも短かった。また、被験者R.Kの持久時間は被験者T.Rの持久時間の約1/2であった。作業後、被験者T.RのFT線維の一部がグリコ-ゲンを枯渇した。それに対してST線維には^は認められなかった。(図5a a) 被験者R.Kは、ST、FTの両線維に明らかに枯渇は認められなかった。(図5a b)

図5a a

図5a b

5. 各被験者の線維構成

myosin ATPase 染色で明らかにした FT 線維と ST 線維を基に、各被験者の線維構成を測定した結果、7名の被験者すべてが ST 線維よりも FT 線維の方が多かった。なお、正規の被験者7名とは別に、本測定項目にのみ参加した元長距離ランナーである被験者 K.S (メキシコオリンピック 5000m 選手) の ST 線維は 58.8% と FT 線維よりも多かった。全被験者の ST 線維は平均 $33.9 \pm 11.7\%$ (20.0 ~ 58.8) であった。(表 3)

表 3.

考察

静的作業強度と持久時間

相対的負荷法による筋の作業時間は、最大努力に対する負荷の割合が小さくなるにつれて長くなる (Monad と Scherrer³³⁾, 1965) という報告や、20 ~ 25% MVC 以下の相対的負荷のとき、持久時間は著るしく増加する (Karlsson²⁹⁾, 1972) という報告と同様、本研究の結果も 30% MVC のグルー-7°より 10% MVC のグルー-7°の静的持久時間が平均で約6倍長かった。(表2)

しかし、持久時間の絶対値は、同様の作業を行なわせた Karlsson ら³⁰⁾ (1972) が 10% MVC で平均 38.7分、25% MVC で平均 5.8分であったのに対して、本研究の結果は、10% MVC で平均 11.3分、30% MVC で平均 1.9分とかなり短かった。このように、本研究の被験者が示した持久時間が Karlsson ら³⁰⁾ (1972) の報告した値より著るしく短いのは、実験前日に 80~90 mmole 以下に筋グリコーゲンを減量させるための運動を行なわせたことと、その運動後、実験までの間、断食

を行なわせたことにより、筋グリコーゲン量が低下していったためであると思われる。事実、本研究の被験者の全例において、作業前にすでにST線維のグリコーゲンが減少していった。

(図3~5) このことは文献考証¹で述べた如く、持久作業のcapacityは作業筋のグリコーゲン貯蔵に深い関係があるためと思われる。

また、血流を阻止しての10% MVC作業のグルーゴの持久時間は、血流を阻止しないで10% MVC作業のグルーゴの持久時間より平均で約51%短かった。これは血流を阻止することにより、有氣的に行なわれるエネルギー源の利用ができず、グリコーゲンの無氣的解糖などによって発生するエネルギーしか利用できなかったためであると思われる。

静的作業強度とグリコーゲンの枯渇パターン

本研究の結果では、10% MVCで疲労困憊になつたとき、FT線維にはグリコーゲンの枯渇が認められず、30% MVCのときには、FT線維

にグリコ-ゲン²³⁾の枯竭が認められた。この結果は Gollnick ら²³⁾ (1974) と一致するものである。

Gollnick ら²³⁾ (1974) は等尺性の張力が異なることによつて、筋線維のグリコ-ゲン²³⁾の枯竭パターンが異なる理由として、それぞれ線の生理学的性質や運動単位の動員の様式から説明している。すなわち、運動単位は同種

類の線維タイプを支配し (Edström と Kugelberg, 1968¹⁴⁾)

その制御はそれぞれの線維の活動閾値の差に基づいていて、FT線維の方がST線維よりも閾値の高い運動単位に支配されている (Henneman

と Olson, 1965²⁶⁾)。また、FT線維はST線維よりもATP

の消費が早い (Goldspink, Larson と Davies¹⁷⁾, 1970) こと

から、約20% MVC以上の張力を発揮しての収縮には、収縮の初期に活動閾値の高いFT線維の動員が必要であり、ATPの消費も大きい。

また、そのような収縮中には、おそらく無酸素的代謝が関与するので、FT線維のグリコ-ゲン²³⁾枯竭が大となるのである。

これらのことは、筋の血流量とも関係して

くる。すなわち、静的作業中の下腿の血流 (Barcroft と Millen,³⁾ 1939) や、大腿四頭筋の血流 (Edward ら¹³⁾ 1972) を測定した結果、20% MVC 以上の張力を必要とする静的作業では、作業筋への血流の制限や閉塞が認められると報告されている。このように、静的筋作業の強度が高まることによる虚血状態は、結局、上述した無酸素的代謝の動員となり、FT線維のグリコ-ゲンが枯渇する原因となる。いっぽう、動的筋作業中は、その強度が高くても、 $\dot{V}O_{2max}$ 以下ではFT線維のグリコ-ゲンは枯渇されず、ST線維のグリコ-ゲンが枯渇される^{21) 24)} 動的筋作業中には、筋の milking-action などによって静的筋作業中よりも血流量が多い。従って、十分な酸素の供給のもとでグリコ-ゲンの酸化が行なわれるために、ST線維でのグリコ-ゲンの消費が大きくなるのであろう。

また、筋電図学的研究によれば、低い張力発揮時には、主に小さな spike 高を持った ST 線維を支配している運動単位、高い張力発揮時

には、spike 高も大きく、放電周期も短い FT 線維を支配している運動単位が動員される³⁶⁾と報告されている。しかし、張力が低いときでも、長時間の作業の結果、筋が疲労すると、筋電図の振幅が大きくなり、二相性の波型が出現してくることから、時実ら³⁸⁾(1951)は、低い張力でも筋が疲労してくると白筋 (FT 線維) を支配する運動単位が動員されると報告している。

血流阻止を伴う静的作業後のグリコーゲンの枯渇パターン

大腿上部に 230 mmHg 以上の圧をかけ、血流を阻止した場合には、10% MVC の負荷でも、血流阻止をしなかった場合にはほとんど認められなかった FT 線維のグリコーゲンの枯渇が 3 人の被験者に認められた。血流を阻止すると、10% MVC という低い作業強度でも、FT 線維の一部が動員されるようになるという本研究の結果は、FT 線維が動員される要因の一つとして、

血流の制限や閉塞によつて筋に虚血状態が生じ、無酸素的エネルギーを動員するため、FT線維のグリコゲンが枯渇するのであろうとする Gollnick ら²³⁾ (1974) の推察を実験的に明らかにしたものと考えられる。

線維構成と各被験者の Performance

myosin ATPase 染色²⁹⁾で明らかにした FT 線維と ST 線維を基に本研究で得られた ST 線維の相対的な線維構成は Gollnick ら¹⁸⁾ (1972) が平均 52% (13~96), Edström ら¹⁵⁾ (1972) が平均 47% (24~69), Gollnick ら²⁵⁾ (1974) が平均 57% (34~82) であるといふ報告より、やや少なく平均 34% (20~59) であつた。これらの結果の広い変比幅は、同じ外側広筋でも線維構成に個人差があるといふことを示唆するものである。また、Torstensson ら³⁹⁾ (1975, 1976)⁴⁰⁾ の線維構成はトルニニグによつて変比せず、先天的なものであるといふ報告と、Gollnick ら¹⁸⁾ (1972) や Costill ら²²⁾ (1976) の Top-level の競技者の線維構成、すなわち、

短距離走者のST線維は非常に少なく約20%台、中距離走者のST線維は約50%台、長距離走者のST線維は非常に多く約70%台であるという報告から、線維構成と競技者のPerformanceは関係があり、その競技での成功の一部は先天的な線維構成によるものであろうと考えられる。

本研究の被験者T.Iは、FT線維が80%、ST線維が20%と圧倒的にFT線維が多かった。この被験者は現在も陸上競技(110mハードル)を行ない、1975年の関東学生陸上競技選手権大会で優勝した。また、被験者K.Sは、1968年のメキシコオリンピック大会の5000mの選手である。彼の線維構成は他の被験者がST線維よりもFT線維が多かったのに対して、ST線維が多く、約59%がST線維であった。しかし、Gollnickら¹⁸⁾(1972)やCostillら¹²⁾(1967)の報告した長距離走者のST線維よりも少なかった。このことに関して、Saltin³⁷⁾(1973)は、5000mや10000mのように、長時間にわたって高い速度を維持

しなければいけない。種目では、マラソンランナーやオリエンテアリング走^者の70%以上のST線維は必要でなく、ST線維が長距離走者の如く多い5000mや1000mの選手は決してオリンピック大会などの大きな大会で優勝することはできないであろうと述べている。

本研究の結果からは、例数が少ないため、線維構成と競技者のperformanceの関係を強調して述べることはできなかったが、両者の間に何らかの関係が存在するということとは推定できた。

要 約

1. 静的持久作業によるグリコ-ゲン枯渴ハタ-ニをST, FT線維について知るために、4名の被験者に、彼らの最大随意収縮力(MVC)の10%または30%の相対的負荷を用いて、90°の角度で膝を伸展させる静的持久作業を行なった。さらに、他の3名の被験者は、大腿の血流を完全に阻止して10% MVCで同様の実験を行なった。

2. Biopsy sampleは、静的持久作業の前後に左脚の大腿四頭筋外側部から採取した。ST線維とFT線維のグリコ-ゲン枯渴ハタ-ニを明らかにするために、筋サニゾールの連続切片はmyosin ATPaseとグリコ-ゲン(PAS染色)に対して染色された。また、その染色結果から、FT線維とST線維の線維構成が測定された。

3. 10% MVCの負荷で静的持久作業を行なった結果、FT線維の動員は認められなかった。しかし、30% MVCでは一部のFT線維にグリコ-ゲン枯渴が認められた。

また、血流を阻止した場合にほ、10% MVC
の静息持久作業にもかかわらず、一部のFT線
維にグリコ-ゲン²³⁾の枯渇が認められた。

4. これらの結果は、約20% MVCの筋張力
が、ST線維からFT線維へのグリコ-ゲン²³⁾枯渇
の転換が生ずる臨界張力であるといふこと、
さらに、FT線維が動員される要因は筋張力に
よる作業筋内の虚血であるとする他の研究
者²³⁾の推察を実験的に確かめた。

謝 辞

本研究の実験に際し、多大の便宜を与えられた順天堂大学共同病理研究室の福田芳郎教授、終始、懇篤な指導を与えられた村田琢恵子室長補佐および筋サニフォル採取に多大なる援助を与えられた順天堂大学整形外科の川上和夫講師に対してここにつつしんで感謝の意を表します。

- 1) Ahlberg, B.: Capacity for prolonged exercise in man. Försvarsmedicin 3 Supple. 1 (1967)
- 2) Ahlberg, B., J. Bergström, L.-G. Ekelund and E. Hultman: Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. Acta physiol. scand. 70 129-142 (1967)
- 3) Bercroft, H. and J. L. E. Millen: The blood flow through muscle during sustained contraction. J. Physiol. 97 17-31 (1939)
- 4) Bárány, M.: ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. J. Gen. Physiol. 50 197-216 (1967)
- 5) Bergström, J.: Muscle electrolytes in man. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 14 Supple. 68 (1962)
- 6) Bergström, J. and E. Hultman: A study of the glycogen metabolism during exercise in man. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 19 218-228 (1967)
- 7) Bergström, J., L. Hermansen, E. Hulthen and B. Saltin: Diet, muscle glycogen and physical performance. Acta physiol. Scand. 71 140-150 (1967)
- 8) Bernard, R. J., V. R. Edgerton, T. Furukawa and J. B. Peter: Histochemical, biochemical, and contractile properties of red, white, and intermediate fibres. Am. J. Physiol. 220 410-414 (1971)
- 9) Close, R. I.: Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. Physiological Reviews 52 129-197 (1972)
- 10) Costill, D. L., P. D. Gollnick, E. D. Jansson, B. Saltin and E. M. Stein: Glycogen depletion pattern in human muscle fibres during distance running. Acta Physiol. scand. 89 374-383 (1973)
- 11) Costill, D. L., E. Jansson, P. D. Gollnick and B. Saltin: Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. Acta physiol. scand. 91 475-481 (1974)
- 12) Costill, D. L., J. Daniels, W. Evance, W. Fink, G. Krahenbuhl and B. Saltin: Skeletal muscle enzymes and fibre composition in male and female track athletes. J. Appl. Physiol. 40 149-154 (1976)

- 13) Edwards, R.H.T., D.K.Hill and M.Mcdonnell: Myothermal and intramuscular pressure measurements during isometric contractions of the human quadriceps muscle. J.Physiol. 224 58-59p (1972)
- 14) Edström, L. and E.Kugelberg: Histochemical composition, distribution of fibres and fatiguability of single moter units. J.Neurol.Neurosurg.Psychiat. 31 424-433 (1968)
- 15) Edström, L. and B.Ekblom: Differences in sizes of red and white muscle fibres in vastus lateralis of musculus quadriceps femoris of normal individuals and athletes. Relation to physical performance. Scand.J.Clin.Lab.Invest. 30 175-181 (1972)
- 16) Eriksson, B.O., P.D.Gollnick and B.Saltin: Muscle metabolism and enzyme activities after training in boys 11-13 years old. Acta physiol.scand. 87 485-497 (1973)
- 17) Goldspink, G., R.E.Larson and R.E.Davies: The imediate energy supply and the cost of maintenance of isometric tention for different muscles in the hamster. Z.Vergl.Physiologie 66 389-397 (1970)
- 18) Gollnick, P.D., R.B.Armstrong, C.W.Saubert IV, K.Piehl and B.Saltin: Enzyme activity and fibre composition in skeletal muscle of untrained and trained man. J.Appl.Physiol. 33 312-319 (1972)
- 19) Gollnick, P.D., K.Piehl, C.W.Saubert IV, R.B.Armstrong and B.Saltin: Diet, exercise, and glycogen changes in human muscle fibres. J.Appl.Physiol. 33 421-425 (1973)
- 20) Gollnick, P.D., R.B.Armstrong, B.Saltin, C.W.Saubert IV, W.L.Sembrowich and R.E.Shepherd: Effect of training on enzyme activity and fibre composition of human skeletal muscle. J.Appl.Physiol. 34 107-111 (1973)
- 21) Gollnick, P.D., R.B.Armstrong, C.W.Saubert IV, W.L.Sembrowich, R.E.Shepherd and B.Saltin: Glycogen depletion patterns in human skeletal muscle fibres during prolonged work. Pflügers Arch. 344 1-12 (1973)
- 22) Gollnick, P.D., R.B.Armstrong, W.L.Sembrowich, R.E.Shepherd and B.Saltin: Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibres after heavy exercise. J.Appl.Physiol. 34 615-618 (1973)

- 23) Gollnick, P.D., J.Karlsson, K.Piehl and B.Saltin: Selective glycogen depletion in skeletal muscle fibres of man following sustained contractions. J.Physiol. 241 59-67 (1974)
- 24) Gollnick, P.D., K.Piehl and B.Saltin: Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. J.Physiol. 241 45-57 (1974)
- 25) Gollnick, P.D., B.Sjödin, J.Karlsson, E.Jansson and B.Saltin: Human soleus muscle: A comparison of fibre composition and enzyme activities with other leg muscles. Pflügers Arch. 348 247-255 (1974)
- 26) Henneman, E. and C.B.Olson: Relations between structure and function in the design of skeletal muscles. J.Neurophysiol. 28 581-598 (1965)
- 27) Hermansen, L., E.Hultman and B.Saltin: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. Acta physiol.scand. 71 129-139 (1967)
- 28) Kugelberg, E. and L.Edström: Differential histochemical effects of muscle contractions on phosphorylase in various types of fibres: relation to fatigue. J.Neurol.Neurosurg.Psychiat. 31 415-423 (1968)
- 29) Khan, M.A., J.M.Papadimitriou, P.G.Holt and B.A.Kakulas: A calcium-citro-phosphate technique for the histochemical localization of myosin ATPase. Stain Technology 47 277-281 (1972)
- 30) Karlsson, J. and B.Ollander: Muscle metabolites with exhaustive static exercise of different duration. Acta physiol.scand. 86 309-314 (1972)
- 31) 慶応義塾大学医学部病理学教室 : 病理組織標本の作り方, 第4版, 120-122, 医学書院: 東京 (1975)
- 32) Lindholm, A., H.Bjernereld and B.Saltin: Glycogen depletion pattern in muscle fibres of trotting horse. Acta physiol.scand. 90 475-484 (1974)
- 33) Monad, H. and J.Scherrer: The work capacity of synergic muscular group. Ergonomics 8 329-338 (1965)
- 34) Pernow, B. and B.Saltin: Availability of substrates and capacity for prolonged heavy exercise in man. J.Appl.Physiol. 31 416-422 (1971)

- 35) Piehl, K.: Glycogen storage and depletion in human skeletal muscle fibres. Acta physiol.scand. Suppl. 402 (1974)
- 36) Piehl, K.: Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. Acta physiol.scand. 90 297-302 (1974)
- 37) Saltin, B.: Metabolic fundamentals in exercise. Med.Sci.in Sports 5 137-146 (1973)
- 38) 時実利彦. 津山直一: 筋電図とその臨床的応用, 東京医学雑誌, 59(1), 62-87 (1951)
- 39) Thorstensson, A., B.Sjödín and J.Karlsson: Enzyme activities and muscle strength after "Sprint training" in man. Acta physiol.scand. 94 313-318 (1975)
- 40) Thorstensson, A., B.Hultén, W.V.Dobeler and J.Karlsson: Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. Acta physiol.scand. 96 392-396 (1976)

The effect of muscle blood flow on selective glycogen depletion pattern at the static exhaustive muscular work

Tomoo, Ryushi

Summary

1) Four healthy male students performed the static muscular endurance work with the loads equivalent to 10% or 30% of their maximal voluntary contraction(MVC). The work consisted of static efforts to extend the knee at an angle of 90° .

Additional, three subjects performed the same work with 10% MVC under the condition of complete occlusion of the femoral blood flow.

2) Biopsy samples were taken from the lateral portion of M. quadriceps femoris before and after the work mentioned above.

In order to evaluate the selective glycogen depletion in slow twitch(ST) or fast twitch(FT) fibres, serial sections of the muscle samples were stained for myosin ATPase and glycogen(PAS reaction). From the findings of myosin ATPase stain, the fibre composition was determined.

3) After the static muscular endurance work with 10% MVC, there was no apparent depletion in glycogen of FT fibres. But, after the work with 30% MVC, some of the FT fibres were depleted of glycogen. When the work was performed under the condition of occluded femoral blood flow, some FT fibres were depleted of glycogen in spite of the work performed with 10% MVC.

4) This result shows that ST fibres, when they worked without blood flow occlusion, depleted glycogen at the work with lower tension, while FT fibres were depleted with higher tension.

This observation substantiated the existence of critical tension as postulated by other investigators. Above that tension the conversion in glycogen depletion from ST to FT fibres took place.

In conclusion, the present experiment may be considered to be a confirmation of the postulation advanced by other authors that the cause for the mobilisation of FT fibres would be ischemia in working muscle.

Table 1. Characteristics and performance data of subjects

Subjects	Events	Performance	Age(yr)	Weight(kg)	Stature(cm)
T.N. (Javelin thrower)	Javelin	70.5m	23	73.5	184.0
I.S. (Basketball player)	Basket		24	72.0	174.3
S.M. (Volleyball player)	Volleyball		23	71.0	178.8
T.I. (Sprinter)	110m hurdle	14.5s	22	72.5	181.5
A.M. (Sprinter)	400m	50.3s	25	76.5	183.5
R.K. (Sprinter)	100m	11.1s	25	72.0	169.5
T.R. (Judoist)	Judo		26	89.5	170.5
K.S.* (Distance runner)	5000m	13min33s			
			$\bar{x} =$ 24	75.3	177.4
			SD = 1.4	6.5	6.0

* K.S. was examined only for ST, FT composition.

Table 2. MVC and Static muscular endurance time

Experiment	Subjects	MVC(kg)	Load(kg)	Endurance time(min)	
10%MVC	T.N.	82.6	8.3	7.4	\bar{X} = 11.3
	I.S.	83.1	8.3	15.2	
10%MVC with occlusion	S.M.	76.6	7.7	4.2	\bar{X} = 5.5
	T.I.	75.5	7.6	7.3	
	A.M.	84.8	8.5	5.0	
30%MVC	R.K.	70.9	21.3	1.3	\bar{X} = 1.9
	T.R.	85.2	25.6	2.6	
	\bar{X} =	79.8			
	SD=	5.5			

Table 3. Fibre composition

Subjects	Events	Performance	ST fibre(%)	FT fibre(%)
T.N.	Javelin	70m	36.1	63.9
I.S.	Basketball		30.6	69.4
S.M.	Volleyball		39.5	60.5
T.I.	110m hurdle	14.5s	20.0	80.0
A.M.	400m	50.3s	26.1	73.9
R.K.	100m	11.1s	29.8	70.2
T.R.	Judo		30.0	70.0
K.S.	5000m	13min33s	58.8	41.2
			\bar{x} = 33.9	66.1
			SD= 11.7	11.7

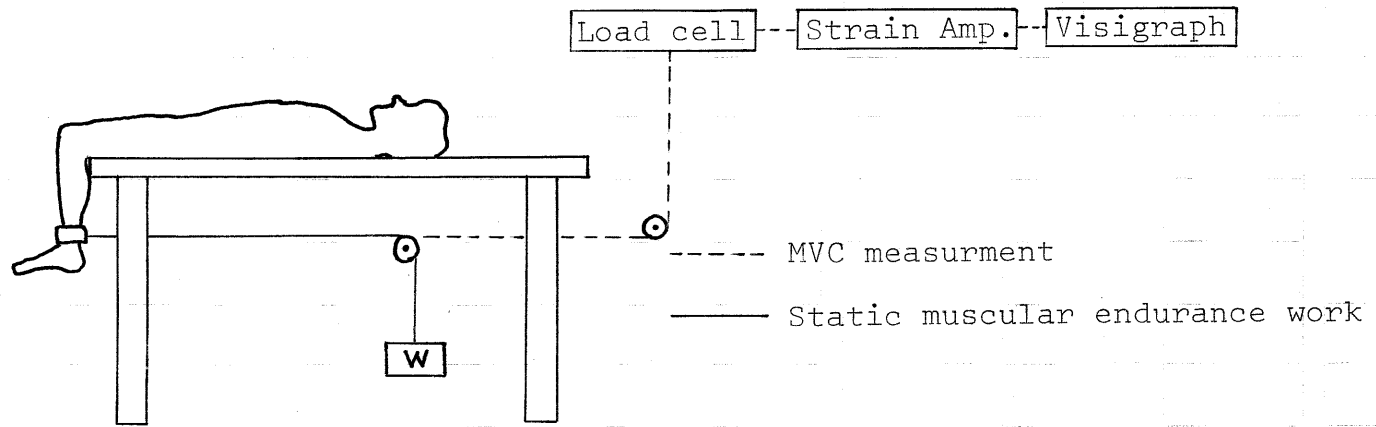


Fig.1 Experimental equipment

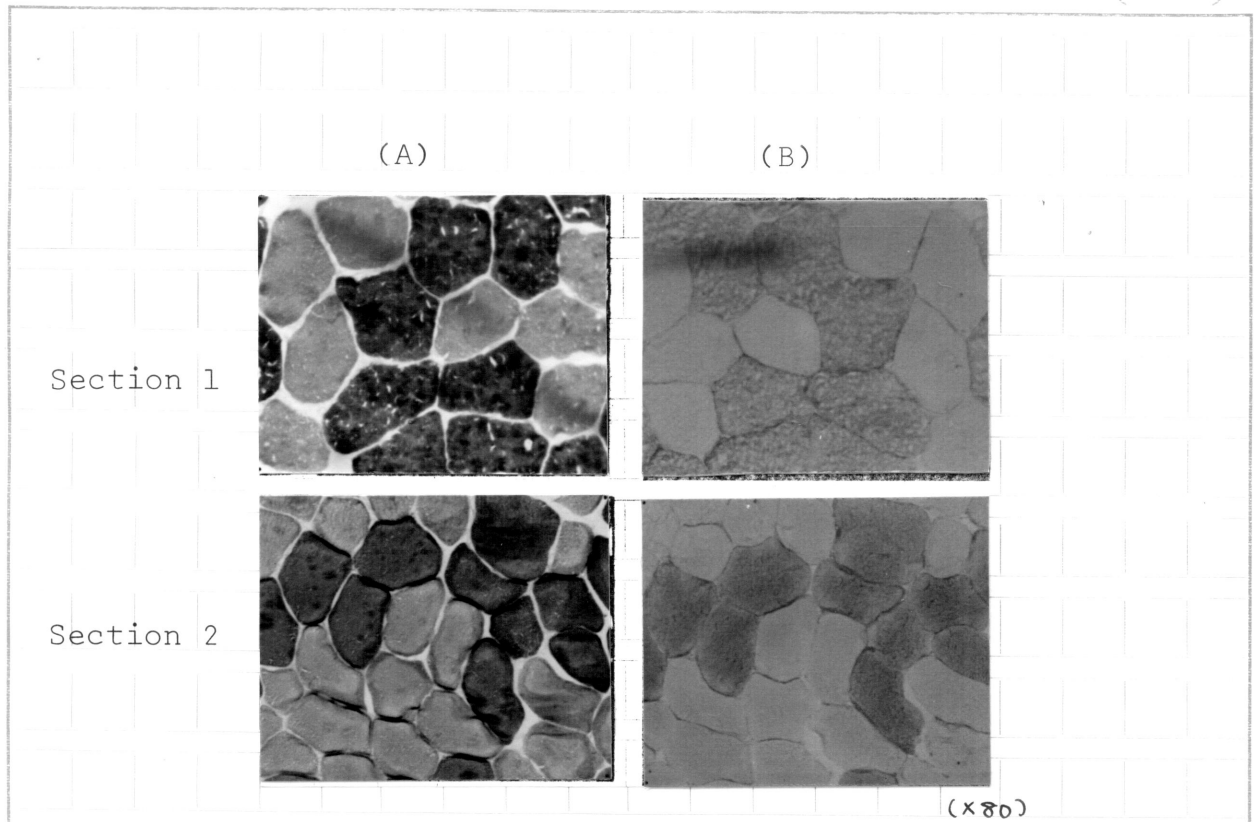


Fig. 3,a Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject T.N. before(Section 1) and after(Section 2) exhaustive isometric work amounting to 10%MVC for 7.4 min.

Micrographs(A) were stained for myosin ATPase. Muscle fibres stained light or dark show ST and FT fibres, respectively.

Micrographs(B) were stained for glycogen(PAS). Muscle fibres stained red show that glycogen content is rich.

Section 1 and Section 2 are serial sections.

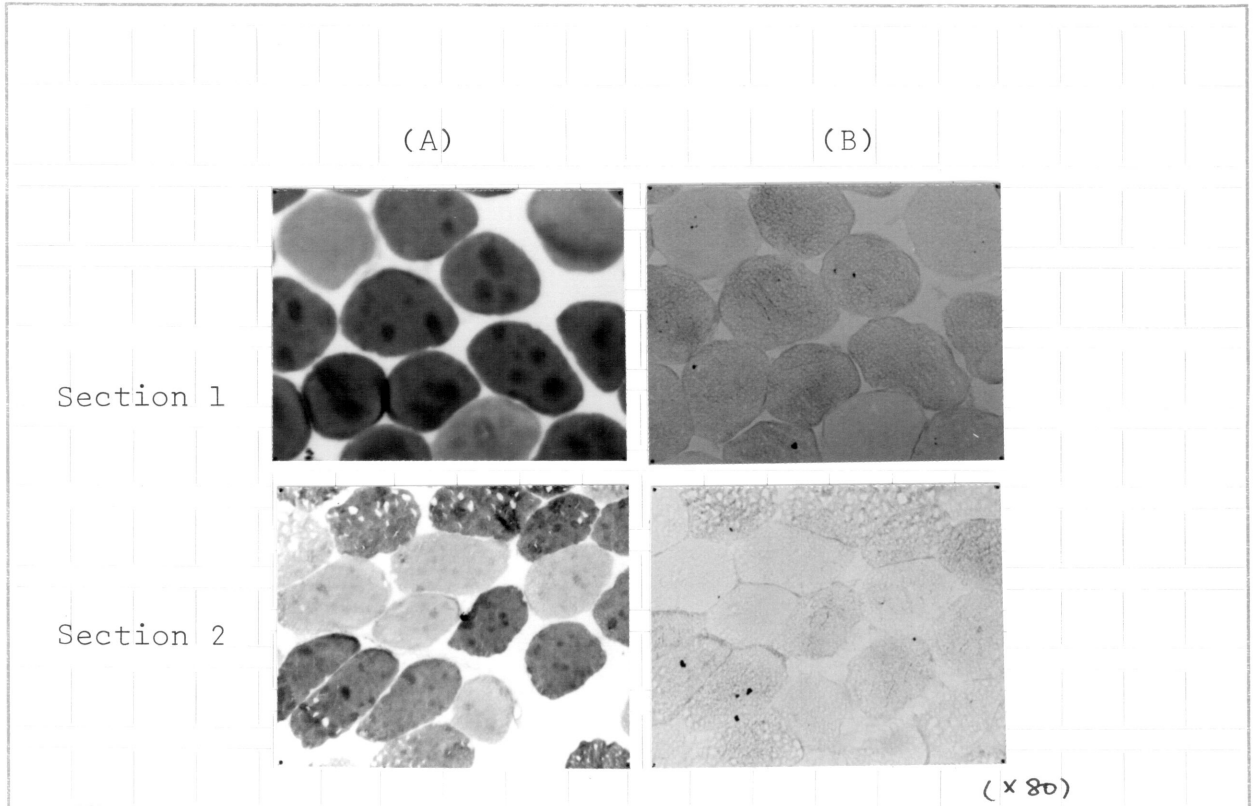


Fig. 3,b Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject I.S. before(Section 1) and after(Section 2) exhaustive isometric work ammounting to 10%MVC for 15.2 min.

Interpretation is shown in Fig. 1,a.

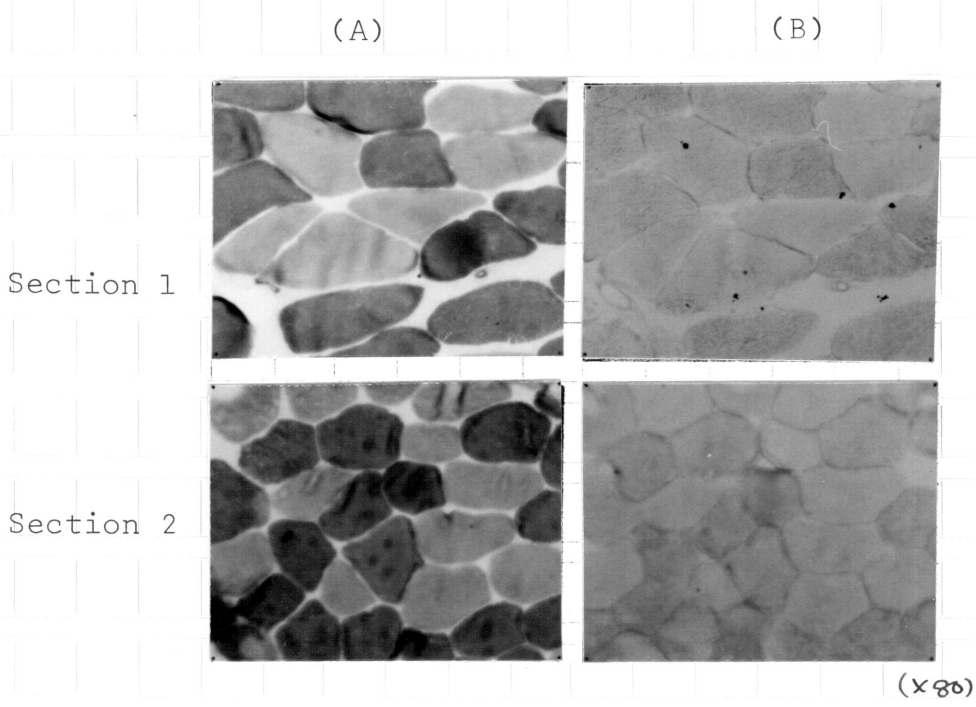


Fig. 4,a Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject S.M. before(Section 1) and after(Section 2) exhaustive isometric work ammounting to 10%MVC under the condition of occluded femoral blood flow for 4.2 min.

Interpretation is shown in Fig. 1,a.

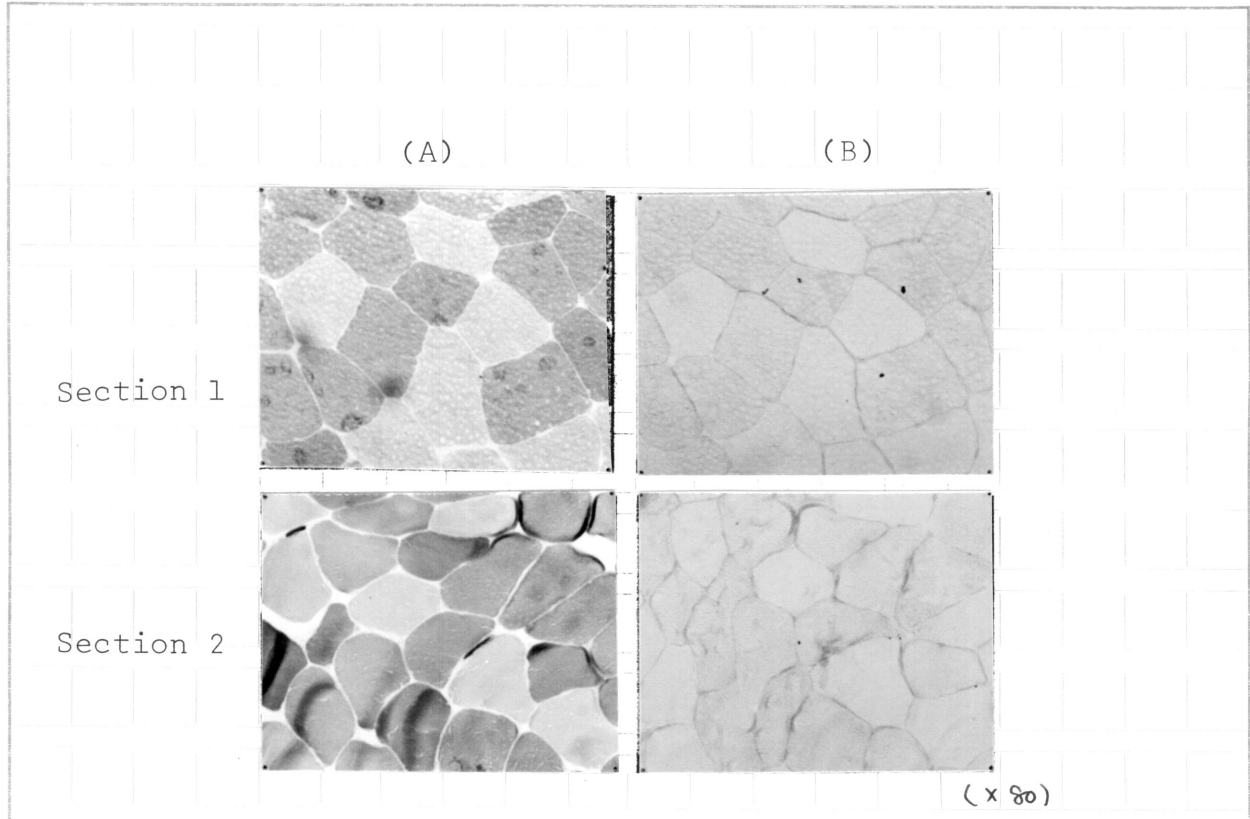


Fig. 4, b Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject A.M. before (Section 1) and after (Section 2) exhaustive isometric work amounting to 10%MVC under the condition of occluded femoral blood flow for 5.0 min.

Interpretation is shown in Fig. 1, a.

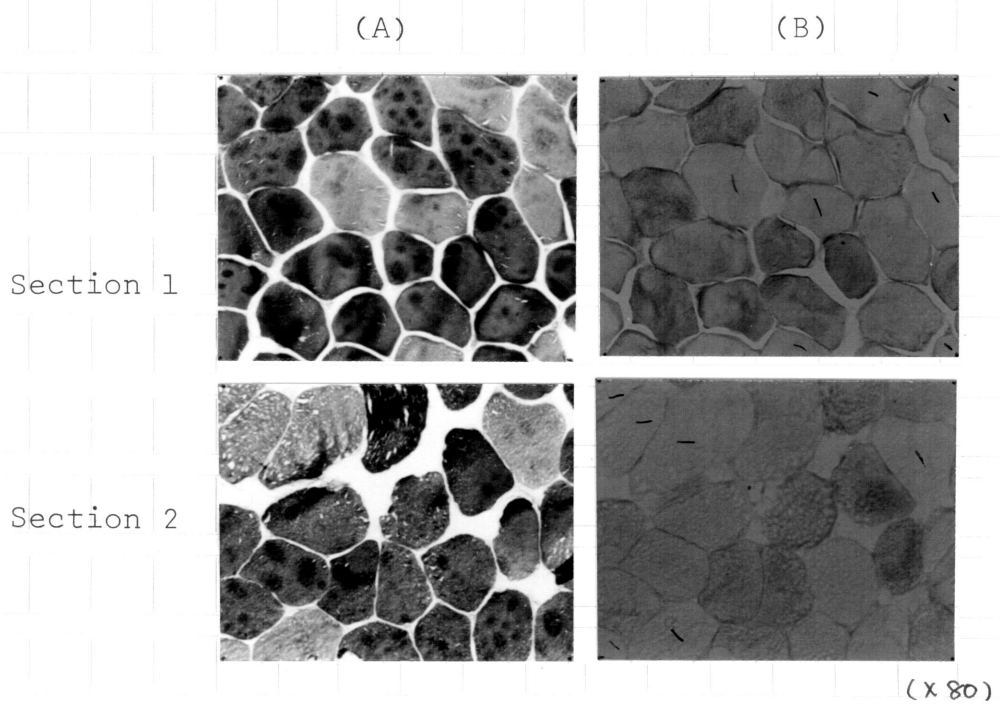


Fig. 4,c Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject T.I. before(Section 1) and after(Section 2) exhaustive isometric work ammounting to 10%MVC under the condition of occluded femoral blood flow for 7.3 min.

Interpretation is shown in Fig. 1,a.

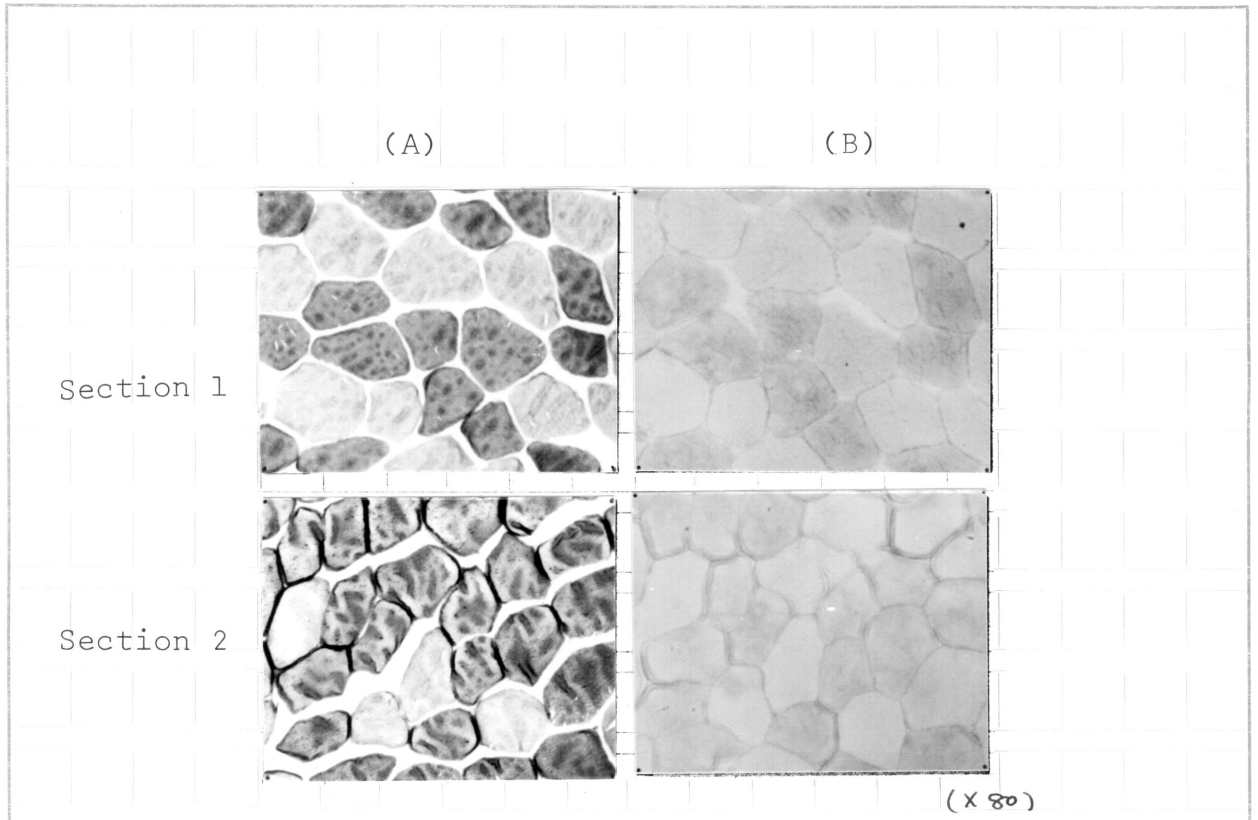


Fig. 5,a Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject T.R. before (Section 1) and after (Section 2) exhaustive isometric work amounting to 30%MVC for 2.6 min.

Interpretation is shown in Fig. 1,a.

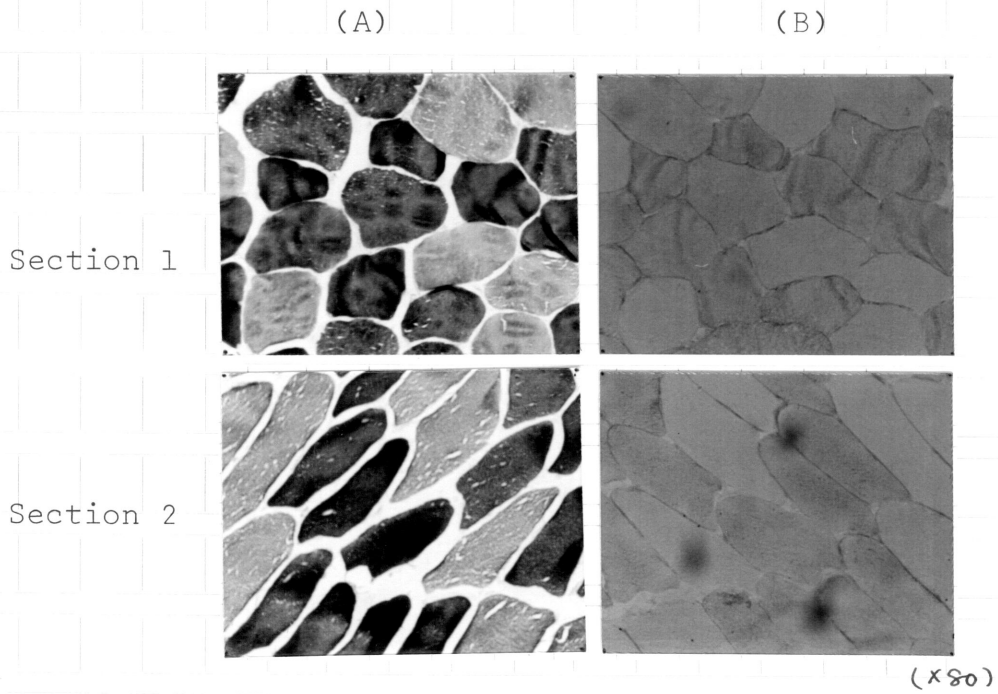


Fig. 5,b Micrographs of the vastus lateralis muscle in subject R.K. before (Section 1) and after (Section 2) exhaustive isometric work amounting to 30%MVC for 1.3 min.

Interpretation is shown in Fig. 1,a.