

5章．腓腹筋外側頭深層部の%type II線維が高いラットの他の筋の筋線維組成（実験II）

1．目的

一流競技者の外側広筋もしくは腓腹筋から筋生検を行った結果から、筋線維組成はパフォーマンスを規定する因子の1つと考えられている。それはおそらく筋線維タイプによりその収縮特性や代謝特性が異なるためであろうといわれている。実際、筋線維組成と等速性筋力（Thorstensson et al. 1976, Thorstensson and Karlsson 1976）、最大酸素摂取量（Bergh et al. 1978, Rusko et al. 1978）、ランニング速度（Farrell et al. 1979）といったパフォーマンスとの間に関連性が見出されている。パフォーマンスはいくつもの筋の活動によって生み出されるものであり、ある特定の筋の筋線維組成が種目に適したものであっても、他の筋の筋線維組成が適していなければパフォーマンスに与える影響は小さいと思われる。よって、ある筋の筋線維組成が偏っている場合に他の筋にも偏りがみられるのか興味深い。

筋線維組成に影響をおよぼしているのではないかとされている因子はいくつもあるが、例えば体液性の因子は血液等により全身に送られるので、先天的に体液性の因子に差があれば、全身の筋の筋線維組成に偏りがあると考えられる。Izumoら（1986）はラットの血中の甲状腺濃度を極端に高めたり低めたりすることにより、様々な筋でのミオシン重鎖発現を転写レベルで変化したことを報告している。また、神経性因子も、同時にいくつもの筋に影響をおよぼすと考えられる（Dhoot and Perry 1983; Girlanda et al. 1982）。このことから、実験Iで得られた腓腹筋の

%type II線維が高いラットの他の筋の筋線維組成を調べることは、筋線維組成の遺伝性や個体差に関わる因子を探る手がかりとなると考えられる。

本実験は、選択交配により得られた、腓腹筋外側頭深層部の%type II線維が高い速筋線維優位ラット群と対照群を用いて、共同筋・拮抗筋・全く異なる部位の筋、あるいは速筋・遅筋といった様々観点から選んだ筋の筋線維組成を比較することにより、ある特定の筋の筋線維組成が偏っているときに筋線維組成が全身で偏っているのか調べることを目的とした。

2. 方法

(1) 被検動物

被検動物には、実験Iにおいてランダム交配によって得られたcontrol群（雄，n=6）と選択交配によって得られたFFDR（Fast-Twitch Fiber Dominant Rat）群（雄，n=6）を用いた。全てのラットは9週齢であり、体重は280-300gの範囲であった。飼育は12時間サイクルの照明下、温度 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ に常時維持された飼育室において、オガクズを敷いたプラスチックのケース（夏目製作所製、ポリカーボネイトラットケージKN-602，35cm×30cm×17cmで行った。水と飼料（オリエンタル酵母工業製、実験動物用固形飼料MF）は自由摂取とした。

(2) 解剖と組織化学的分析

解剖はペントバルビタールオーバードース（80 mg/kg body wt ip）で行った。被検筋は、腓腹筋、ヒラメ筋、足底筋、長指伸筋、中間広筋、

長内転筋，腹直筋，横隔膜，上腕二頭筋，長掌筋とした。摘出された筋は厚さ数mmに横断し，クリオスタット（ブライト社製 OT-FAS）により厚さ10 μ mの連続横断切片を作成した。これらの切片に，Gollnickら（1983）の方法によりMyosin ATPase染色（preincubation pH 10.3, 4.6, 4.3）を施し，得られた標本の顕微鏡写真からBrookeとKaiser（1970）の方法に従ってtype I, type IIC, type IIA, type IIB線維に分類した。なお，腓腹筋は外側頭深層部を分析部位として600本以上を，横隔膜は肋骨部位を分析部位として1000本以上を，それ以外の筋は数えられる全ての筋線維を分析に用いて筋線維構成比を求めた。

（3）統計処理

各筋線維タイプの割合について，control群とFFDR群の平均値の差の検定を行った。方法は，F検定により等分散性が確認されたとき，対応のないt検定を用いて差を検定した。有意水準は5%とした。

3. 結果

図8にcontrol群，FFDR群における各筋の筋線維構成比を示した。腓腹筋，中間広筋，長内転筋では，%type I線維はFFDR群の方が有意に低値を，%type IIB線維は有意に高値を示した。ヒラメ筋では%type I線維はFFDR群の方が有意に低値を，%type IIA線維は有意に高値を示した。また，ヒラメ筋ではtype IIB線維はみられなかった。上腕二頭筋では，%type I線維はFFDR群の方が有意に低値を示した。一方，足底筋，長指伸筋，腹直筋，横隔膜，長掌筋では有意な差が認められた筋線維タイプはなかった。なお，%type IIC線維については，全ての筋において有意

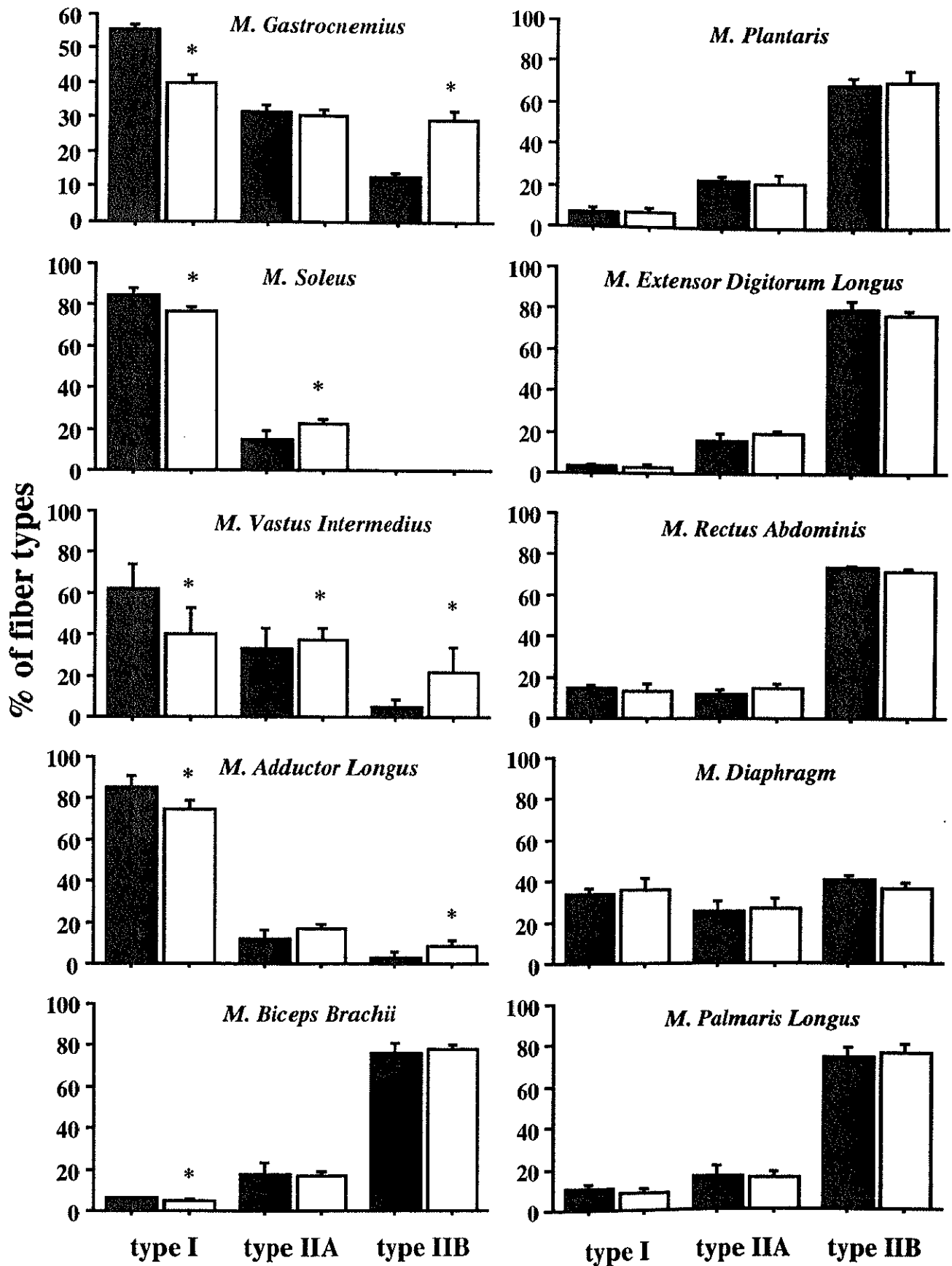


Figure 8. Percentage of muscle fiber composition in the control (filled bars) and FFDR (open bars) groups. Values are means \pm SE. *: Significantly different from control group ($P < 0.05$).

な差はみられなかった (data not shown) .

4. 考察

いくつかの筋の筋線維組成の関係について, Janssonら (1977) はエリートオリエンティアの外側広筋, 腓腹筋, 三角筋の%type I線維が非鍛錬者の外側広筋より高かったことを示している. しかし, 勝田ら (1985) は一般成年男子の外側広筋と三角筋の%type II線維に相関関係がなかったことを報告している.

本実験で用いられたFFDR群は, 腓腹筋外側頭深層部の%type II線維の高いラットの選択交配によって得られたものである. よって, 腓腹筋外側頭深層部の%type I線維が低く, %type II線維が高いということは実験1の結果と考え合わせても予想がつくことであった, しかし, FFDR群の%type II線維の増加は, %type IIB線維の増加によって引き起こされていたということが本実験により明らかとなった. この結果は, 見かけ上は%type IIA線維は変化せずに%type I線維の減少と%type IIB線維の増加が生じたことになるが, 実際にそうであったのか, それともtype I線維の減少とtype IIA線維の増加, およびtype IIA線維の減少とtype IIB線維の増加がそれぞれ生じたのかは, 選択交配の過程でtype II線維のサブタイプについての分類を行っていないので不明である. あるいは, 腓腹筋外側頭深層部の特性として, type IIA線維の割合があまり変動しないのかもしれない.

本研究では, 選択に用いられた腓腹筋以外に, ヒラメ筋, 中間広筋, 長内転筋, 上腕二頭筋においてもFFDR群がより速筋タイプの筋線維組成となっていた. これは, 腓腹筋の筋線維組成と遺伝的に関連した反応

であると考えられる。一方、足底筋、長指伸筋、腹直筋、横隔膜、長掌筋では筋線維組成の有意な差は認められなかった。つまり、腓腹筋の筋線維組成とこれらの筋の筋線維組成には関連性がないということになる。筋線維組成に差がみられた筋群（腓腹筋、ヒラメ筋、中間広筋、長内転筋、上腕二頭筋）とみられなかった筋群（足底筋、長指伸筋、腹直筋、横隔膜、長掌筋）を比較すると、筋の部位は無関係なように見える。差がみられなかった筋群は横隔膜を除いては速筋タイプの筋である。これらのもともと%type II線維が高い筋では、速筋方向への遺伝的適応範囲がほとんど残っておらず、選択交配の影響を受けにくかったのではないかと考えられる。横隔膜は呼吸筋であり他の骨格筋とは異なる性質を持っていると考えられている。例えば、一般的に骨格筋は活動量の増加により筋線維組成やミオシン重鎖組成がtype IIBからtype IIA方向へ変化すると考えられているが（Andersen and Schiaffino 1997）、横隔膜ではそのような変化が起きないという報告が多い（Green et al. 1989, Okumoto et al. 1996）。筋自体がもともと持っている特性の違いにより、遺伝的な相関が見られる筋とそうでない筋が存在するのであろう。

なぜ、このように筋によって選択交配による遺伝的影響を受ける筋と受けない筋が存在するのだろうか？筋線維組成やミオシン重鎖発現に影響を及ぼす要因はいくつも知られている。そのうち、甲状腺ホルモンについては、NwoyeとMommaerts（1981）は、T3投与ラットと甲状腺除去ラットにおいて、速筋である長指伸筋の筋線維組成は遅筋であるヒラメ筋の変化ほど大きくなかったことから、速筋は遅筋より甲状腺ホルモンの影響を受けにくいのではないかと述べている。また、Fitzsimonsら（1990）はラットのT3レベルの変化にともないヒラメ筋や腓腹筋内側頭赤色部位のミオシン組成が変化したが腓腹筋内側頭白色部位では変化が

なかったことを報告している。これらの報告は、本研究で得られた結果の傾向と一致しており、甲状腺ホルモンが何らかの影響をおよぼしている可能性が考えられる。

これまで、筋線維組成とパフォーマンスとの間に有意な相関関係が報告されている (Bergh et al. 1978, Farrell et al. 1979, Rusko et al. 1978, Thorstensson et al. 1976, Thorstensson and Karlsson 1976)。これらの報告では主に外側広筋かまたは腓腹筋からの筋生検によりサンプルを得ているが、これらのパフォーマンスはいくつもの筋の活動によって得られるものであり、一つの筋だけがパフォーマンスに適した筋線維組成を有していても他の筋がそうでなければ実際のパフォーマンスにおよぼす影響は小さいのではないかと考えられる。このことから共同筋や他の全身の筋との間に筋線維組成の相関関係が存在しても不思議ではない。

結論として、選択交配によって得られた腓腹筋の%type II線維の高いラットの他の筋の筋線維組成について調べたところ、腓腹筋、ヒラメ筋、中間広筋、長内転筋、上腕二頭筋では、選択交配による遺伝的影響によりtype II線維方向への変化がみられた。一方、足底筋、長指伸筋、腹直筋、横隔膜、長掌筋では差は認められなかった。これらの変化の違いは、各筋のもともと持っている遺伝的適応範囲、または特性の違いによるものと思われる。

5. 要約

ある筋の筋線維組成が偏っている場合に他の筋にも偏りがみられるのかについて検討するため、選択交配によって得られたFFDR群とランダム交配によって得られたcontrol群の様々な筋の筋線維構成比を調べた。

得られた結果は以下の通りである。

- (1) 選択交配に用いられた腓腹筋では、FFDR群で%type I線維が有意に低値を、%type IIB線維が有意に高値を示した。
- (2) ヒラメ筋，中間広筋，長内転筋，上腕二頭筋では腓腹筋に相関した反応としてFFDR群の方が速筋線維方向へ変化していた。
- (3) 足底筋，長指伸筋，腹直筋，横隔膜，長掌筋ではFFDR群とcontrol群とで筋線維構成比に差はみられなかった。

以上のことから，ラットの筋線維組成には関連性の存在する筋としない筋が存在し，その違いは各筋の持つ遺伝的適応範囲などの特性によるものであることが示唆された。