

筋の廃用性変化に対する足底接地の影響について

— ラットによる実験的研究 —

染矢富士子 立野 勝彦* 菊地 尚久**

KEY WORDS

Disuse muscle, Muscle atrophy, Muscle fiber type, Touch foot

はじめに

筋の廃用性変化は実験的にギプス固定¹⁾, ピンによる関節固定²⁾, 脊髄性麻痺³⁾などにより作成され, またその予防手段として, 電気刺激²⁾や運動負荷訓練^{4,5)}が試みられてきた。臨床上も筋の廃用性変化が問題点としてよく取り上げられるが, その予防として荷重による筋の随意収縮を行わせることは日常的に経験する。しかし, 症例により荷重負荷を十分に行わせることができず, 車いすで一定期間経過するものもある。この場合, 足底は車いすのフットレストに接しており下肢重量を支えている。健常人では静止椅坐位で足底にかかる力が体重の約20%であることが報告されている⁶⁾。

今回, 車いす坐位のように足底に部分荷重がかかっている状態が, 抗重力筋であるヒラメ筋の廃用性変化に対してどの程度影響を与えるか動物実験にて検討することにした。免荷の実験モデルとしては, 近年用いられるようになった動物の後肢懸垂法^{7,8)}を利用し, ラットの後肢を免荷し後肢を完全に空中に浮かせた状態, 足底接地で部分荷重させた状態, 懸垂を除去し自由荷重させた状態それぞれについて組織化学的手法にて比較した。

対象と方法

生後8週のウィスター系雄ラット15匹を5群に分け, 1群はコントロールとして自由飼育した(C群)。残り4群はジャケットにてラットを懸垂し後肢を免荷した。このうち1群は1日3時間ジャケットを除去し自由に荷重させた(3F群)。別の1群はジャケッ

トを装着したまま終日足底接地させ部分荷重となるよう懸垂を調整した(P群)。足底接地はラットの後肢の足趾がケージの床に着いているが踵部は離れている状態であり, この場合の後肢にかかる重さは, ばね秤で測定すると全体重の10~25%の部分荷重であった。後肢懸垂群の残りの2群のうち1群は, ジャケットを装着したまま1日3時間足底接地をさせ, それ以外の時間は後肢を免荷した(3P群)。もう1群は終日後肢を浮かせ免荷したままとした(S群)。ラットは懸垂されたまま, 前肢にてケージ内を移動し餌や水を摂取することが可能である。

2週間後にすべてのラットを十分量のネンブタール[®]麻酔にて屠殺し, 両側のヒラメ筋を採取し, 横断切片に対してATPase染色(pH 10.6, 4.5, 4.3)を行った。組織標本を写真撮影し, 各筋の中央に存在する筋線維のうち約100本について筋線維タイプの構成比率および筋線維横断面積を計測した。統計処理はt検定を行い, 危険率は5%に設定した。

結 果

表1に筋線維タイプの構成比率の変化を示した。

表1 筋線維タイプ構成比率(%)

	I	II a	II c
C 群	78.0±9.4	10.5±6.8	11.5±6.3
3F群	77.2±3.6	14.7±3.4	8.2±5.6
P 群	67.7±6.2	22.8±1.9*	9.5±5.5
3P群	74.5±8.5	19.7±8.2	5.8±4.7
S 群	55.0±15.1*	36.8±9.9*	8.2±8.3

平均値±SD. 各群のn=6. *p<0.05, C群に対して.

金沢大学医療技術短期大学部・作業療法学科

* 金沢大学医療技術短期大学部・理学療法学科

** 金沢大学医学部・整形外科

表2 筋線維横断面積 (μm²)

	I	II a	II c
C 群	3758±1082 (195)	2898±785 (32)	2844±719 (40)
3 F群	3104± 854 (217)	2898±751 (38)	2484±751*(35)
P 群	2535± 814*(283)	1929±618*(88)	1599±407*(52)
3 P群	2617± 857*(271)	2171±725*(78)	1805±521*(22)
S 群	1725± 762*(304)	1335±617*(241)	1119±418*(67)

平均値±SD. ()は各群の筋線維のn.
*p<0.05, C群に対して.

ヒラメ筋はATPase染色で筋線維をタイプI, II a, II c線維に分類できる。S群のヒラメ筋で、タイプI線維の減少およびタイプII a線維の増加をコントロールと比較して有意に認めた。また、P群でタイプII a線維の増加を認めたが、この群の比率は、3 F群または3 P群と有意差はなかった。3 F群および3 P群でタイプII a線維の増加傾向があったが、C群と統計上有意差はなかった。

筋線維タイプ別断面積を表2に示した。3 F群のタイプI, II a線維を除き、すべての群の筋線維でC群と比較して萎縮を認めた。しかも、その筋線維萎縮の程度は、自由荷重より部分荷重で著明で、さらにS群の筋ではすべての筋線維タイプで3 F, P, 3 P群と比較して有意に萎縮を示した。

考 察

骨格筋の廃用性変化として、組織化学的に筋萎縮と筋線維タイプ構成比率でタイプI線維の減少を認めることはよく知られている。しかも、この変化は遅筋のヒラメ筋では著明であり、速筋の長趾伸筋では少ないことも報告されている^{9,10}。今回のS群の結果でもヒラメ筋の構成筋線維の比率はタイプI線維で減少し、タイプII a線維で増加し、各筋線維の萎縮も認めており、諸家の報告と一致している。

1日3時間の自由荷重負荷では、ヒラメ筋の筋線維タイプ構成比率の変化は認められなかったが、タイプII c線維の萎縮を防止することができなかった。このことから1日3時間の自由荷重負荷で筋の廃用性変化を完全ではないがある程度予防できたといえる。負荷を足底接地による部分荷重に変えると、筋線維タイプ構成比率の変化はP群のタイプII a線維で増加を認めただけであるが、筋線維横断面積では、P群でも3 P群でもすべての筋線維タイプで萎縮を認めた。この筋線維の萎縮の理由として、部分荷重という軽い負荷では長時間であっても筋線維の大きさの維持ができなかったと考えられた。しかし、筋線維横断面積はS群よりPおよび3 P群で有意に大

きく、部分荷重でも筋線維萎縮の軽減に作用したことがわかった。一方、筋線維タイプ構成比率の変化は3 P群で防止できたことから、ヒラメ筋の筋線維構成比率の維持には必ずしも大きな負荷を要しないことが示唆された。

3 F群とP群の比較では、筋線維横断面積と構成比率の両者において、3 F群の方が維持されていたことから、長時間の部分荷重よりも短時間の自由荷重でヒラメ筋の廃用性変化が少ないことがわかる。このように、足底接地による部分荷重はその負荷量が小さく、筋の廃用性変化の防止に対して自由荷重程効率はよくないが、今回の動物実験から、筋萎縮と筋線維タイプ構成比率の変化に対してある程度有効に作用していることがわかった。特に、筋線維タイプ構成比率の維持には有効であり、今後、寡運動を余儀なくされている条件下での筋の廃用性変化を最小限に抑制するために、短時間の部分荷重であっても足底に負荷をかけることが重要であると考えられた。

まとめ

ラットの後肢免荷モデルとして後肢懸垂法を利用し、足底接地による部分荷重(体重の10~25%)がヒラメ筋に与える影響を組織化学的に検討した。2週間の後肢懸垂期間中、1日3時間自由荷重させた群と、終日または1日3時間部分荷重させた群を比較すると、筋線維萎縮は部分荷重群で著明であったが、終日免荷した群よりは軽度であった。また、筋線維タイプ構成比率は部分荷重であっても1日3時間で維持された。このことから、足底接地による部分荷重は自由荷重に比べて免荷による筋の廃用性変化の防止に対して効率はよくないが有効であることが判明した。

文 献

- 1) 染矢富士子, 立野勝彦: 不動性筋萎縮に対する振動刺激の効果. 総合リハ, 14: 277-281, 1986.
- 2) 宮沢 寛: 不動化による筋萎縮に対する筋の緊張および電気刺激の影響——実験的研究. 日整会誌, 60: 1003-1016, 1986.
- 3) Karpati, G., Engel, W.K.: Correlative histochemical study of skeletal muscle after suprasegmental denervation, peripheral nerve section and skeletal fixation. Neurology, 18: 681-692, 1968.
- 4) Watt, P.W. et al.: Changes in fiber type composition in growing muscle as a result of dynamic exercise and static overload. Muscle & Nerve, 7: 50-53, 1984.
- 5) Herbert, M.E. et al.: Influence of one-week hindlimb

suspension and intermittent high load exercise on rat muscles. *Exp. Neurol.*, 102 : 190-198, 1988.

6) 生田宗博, 立野勝彦: 垂直荷重力の測定による椅坐位からの立ち上がり動作の解析. *リハ医学*, 29 : 199-209, 1992.

7) Morey, E.R. et al. : A new rat model simulating some aspects of space flight. *Physiologist*, 22 (Suppl) : S23-S24, 1979.

8) Fitts, R.H. et al. : Models of disuse : a comparison

of hindlimb suspension and immobilization. *J. Appl. Physiol.*, 60 : 1946-1953, 1986.

9) Musacchia, X.J. et al. : Rat hindlimb muscle responses to suspension hypokinesia/hypodynamia. *Aviat. Space Environ. Med.*, 54 : 1015-1020, 1983.

10) Desplanches, D. et al. : Structural and functional responses to prolonged hindlimb suspension in rat muscle. *J. Appl. Physiol.*, 63 : 558-563, 1987.

Effect of Touch Foot Treatment on Disuse Muscle : Rat Study

Fujiko Someya, Katsuhiko Tachino, Naohisa Kikuchi