脊髄損傷に伴う痙縮がラットヒラメ筋の 筋性拘縮に与える影響

The Influence of Spinal Cord Injury on Contracture of the Soleus Muscle in Rats

小野 武也¹⁾ 沖 貞明¹⁾ 越智 淳子¹⁾ 金井 秀作¹⁾
清水ミシェル・アイズマン¹⁾ 大塚 彰¹⁾

TAKEYA ONO, PhD, RPT¹⁾, SADAOKI OKI, PhD, MD¹⁾, JUNKO OCHI, MS, RPT¹⁾, SHUSAKU KANAI, MS, RPT¹⁾,
MICHELE EISEMANN SHIMIZU, PhD, RPT¹⁾, AKIRA OTSUKA, PhD, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Hiroshima Prefectural College of Health Sciences: 1-1 Gakuen Machi, Mihara City,
Hiroshima 723-0053, Japan. TEL +81 848-60-1210, FAX +81 848-60-1210, E-mail ono@hpc.ac.jp

Rigakuryoho Kagaku 19(3): 251-254, 2004. Submitted Feb. 20, 2004. Accepted Apr. 12, 2004.

ABSTRACT: The purpose of this study was to investigate the influence of the spinal cord injury on contracture of the rat soleus muscle. Eight-week-old Wistar rats were divided into three experimental groups. The first group had their left hind limbs immobilized in complete plantar-flexion by pins. The second group had their left hind limbs immobilized in complete plantar-flexion by pins and spinal transections were made at the T8 level. The third group was the control. After four weeks, the soleus contracture showed a considerable increase in the first and second groups as compared to the third group. But there was no difference between the first and second groups. It seems that the muscle contractures were influenced by disuse due to joint fixation but not by muscle spasticity resulting from the spinal cord injury.

Key words: spinal cord injury, spasticity, muscle contracture

要旨：本研究の目的は、脊髄損傷ラットの足関節底屈位固定に加えて痙縮の有無がラットヒラメ筋の筋性拘縮に与える影響について検討することであった。足関節最大底屈位に固定した固定群、足関節最大底屈位固定に加えて脊損を行った固定+脊損群、およびコントロール群に分けた。4週後、ヒラメ筋の筋性拘縮の程度は、コントロール群に比較して固定群および固定+脊損群が有意に大きく、固定群と固定+脊損群との間には有意差がみられなかった。このことから、筋性拘縮は関節の不動という廃用の影響は受けるが痙縮の影響は受けないものと推測された。

キーワード：脊髄損傷、痙縮、筋性拘縮

¹⁾ 広島県立保健福祉大学保健福祉学部理学療法学科：広島県三原市学園町1-1 (〒723-0053) TEL 0848-60-1210
FAX 0848-60-1210, E-mail ono@hpc.ac.jp

I. はじめに

関節可動域制限は日常生活活動に影響をおよぼす重要な因子である¹⁾。しかし、現実には中枢神経障害による麻痺性障害患者の多くが関節可動域制限を有していると報告されている²⁻⁴⁾。このことは、関節可動域制限発生の原因の検討や対策がいまだに十分ではない現状をあらわしていると思われる。特に中枢神経障害の主要な症状としてあげられる骨格筋の痙縮は関節可動域制限の発生を引き起こす要因であるといわれている^{3,5,6)}、一方では痙縮と関節可動域制限発生とは関係がないとする意見^{4,7)}がある。したがって、現在のところ両者の関係は明確とはいえない状況である⁸⁾。

関節の可動域を制限する因子は皮膚、筋膜、腱、筋肉、靱帯など⁹⁾があげられる。Trudelら¹⁰⁾は関節原性因子と筋原性因子に分けて、それぞれが関節可動域制限に与える割合を検討した結果、その割合が異なることを報告している。また、関節可動域制限の発生時期についてFinsterbushら¹¹⁾は、筋原性因子は関節固定後2週より、関節原性因子は関節固定後4週より、それぞれが関節可動域制限に影響をおよぼすと報告している。よって、関節可動域を制限する因子については個別に調べる必要がある。本研究の目的は骨格筋の痙縮の有無が筋性拘縮¹²⁾の発生に与える影響を明らかにすることである。

II. 対象と方法

実験動物には8週齢、体重180～210 gのWistar系雌ラット15匹を用いた。5匹は足関節を最大底屈位に固定した「固定群」、5匹は足関節最大底屈位固定に加えて脊損を加えた「固定+脊損群」、残り5匹は通常飼育した「コントロール群」とした。足関節の固定はすべて左後肢を対象とし、腹腔へのネブタール麻酔(0.1 ml/100 g)後、0.7 mmキルシュナー鋼線で踵骨と脛骨を最大底屈位に固定した。脊損は第8胸髄レベルでNo.11メスを用いて脊髄を離断し作成した。すべてのラットは飼育ゲージ内を移動でき、水と餌は自由に摂取させた。飼育期間および固定期間は4週間とした。固定期間中には、ラットの行動評価¹³⁾(grade 0、痙縮による動きだけで自発的な動きは見られない；grade 1、自発的な動きが股関節と膝関節に見られるが足関節には見られない；grade 2、股関節と膝関節および足関節に自発的な動きが見られる；grade 3、協調性のない体重を支える歩行が見られる；grade 4、歩行

図1 筋引張試験

において前肢と後肢の協調ある動きが見られる；grade 5、正常の機能が見られる)を実施した。また痙縮の評価としてKick movements¹³⁾(侵害刺激に対して生じる股関節屈曲と同時に起る膝関節と足関節の速い屈曲と伸展の動き、ならびに下肢の間代性痙攣)を行った。

4週後、コントロール群は腹腔へのネブタール麻酔下にて0.7 mmキルシュナー鋼線で踵骨と脛骨を最大底屈位に固定した。コントロール群、固定群、固定+脊損群ともに腹腔へのネブタール麻酔下にて腓腹筋を切除しヒラメ筋を露出した。その後、ネブタール麻酔の過剰投与にて屠殺し大腿骨を切断、足根骨に鋼線を刺入し引張試験機(島津製作所社製オートグラフAG-50KNG)に取り付けた(図1)。次に、脛骨と腓骨を切断し鋼線を介してヒラメ筋のみを試験機で10 mm/minの速度で伸長した。ヒラメ筋は足関節最大底屈位から最大背屈の間に10 mm伸びる¹²⁾。そのため、足関節最大底屈位から10 mm伸ばした時の張力をヒラメ筋の筋性拘縮の程度を表す値として測定した。なお、屠殺から筋伸長試験までの時間は死後硬直を考慮し10分以内に測定を完了した。また、ヒラメ筋を摘出し湿重量を体重で除した値を筋湿重量体重比として求めた。統計処理はヒラメ筋の伸長時の張力、筋湿重量体重比について、それぞれ固定群、固定+脊損群、コントロール群の間の有意差についてKruskal-Wallisの検定を実施し1%以下の危険率をもって有意とした。なお、本研究は広島県立保健福祉大学動物実験施設を使用し、広島県立保健福祉大学が定める動物実験指針に準じておこなった。

III. 結 果

1. ヒラメ筋伸長時の張力

筋性拘縮の程度を表すヒラメ筋伸長時の張力（平均 ± 標準偏差）はコントロール群が 0.36 ± 0.06 N，固定群が 2.13 ± 0.62 N，固定 + 脊損群が 1.88 ± 0.47 N であり，統計処理の結果，コントロール群と固定群の間およびコントロール群と固定 + 脊損群との間に有意差が見られたが，固定群と固定 + 脊損群との間には有意差が見られなかった（表1）。

2. 筋湿重量体重比

筋湿重量体重比（平均 ± 標準偏差）はコントロール群が 0.63 ± 0.04 ，固定群は 0.29 ± 0.02 ，固定 + 脊損群は 0.37 ± 0.06 であり，コントロール群と固定群，コントロール群と固定 + 脊損群，固定群と固定 + 脊損群との間にそれぞれ有意差がみられた（表1）。

3. 行動評価

固定群は足関節を固定した後肢以外の3肢で歩行を行っていた。固定 + 脊損群は術後約1週までは前肢のみで後肢を引きずる歩行を行っており grade 0 と判断された。術後1週目頃より下肢の動きが見られるときがあり grade 2 と判断された。その後は grade 2 のまま4週間を経過した。

4. 痙縮のテスト（Kick Movements）

固定 + 脊損群について，痙縮は術後約1週まではみられず弛緩状態であったが，術後約1週目頃より明確な Kick Movements が観察された。その後も Kick Movements は継続し4週を経過した。

IV. 考 察

筋性拘縮の程度は筋を他動的に伸長して得られる長さ - 張力曲線であらわすことができる^{14,15)}。これは筋外膜，筋周膜，筋上膜に存在するコラーゲン線維の構築学的変化¹⁶⁾と生化学的变化¹⁷⁾に由来する。廃用による筋性拘縮について沖ら¹²⁾は，ラットの関節固定による筋の長さ - 張力曲線から筋性拘縮は固定後2週以降に発生すると報告している。一方，痙縮と関節可動域制限との関係は，中枢神経障害患者を対象とした調査³⁻⁵⁾による検討が中心に行われているが両者の関係は明確ではない。

ラットを用いた中枢神経障害の実験によると，脳障害では比較的早い時期に機能の回復が起こるが¹⁸⁾，脊損では機能障害が残存し痙縮がみられ^{19,20)}，それは長期にわ

表1 ヒラメ筋伸長時の張力と筋湿重量体重比（平均 ± 標準偏差）

	ヒラメ筋伸長時張力 (N)	筋湿重量体重比
固定 + 脊損群	1.88 ± 0.47	0.37 ± 0.06
固定群	2.13 ± 0.62	0.29 ± 0.02
コントロール群	0.36 ± 0.06	0.63 ± 0.04

kruskal-Wallis 検定，*：p < 0.01

たって観察される²¹⁾。そのため，本実験では痙縮モデルとして脊損ラットを対象とした。本研究においても Kick movements の評価結果より，明確な痙縮が術後1週目頃より観察され，これはラットの脊損と下肢の痙縮の発生を検討した Vanら¹³⁾の報告と一致した。

本研究は筋性拘縮が廃用によるものか痙縮によるものかを明らかにするために，脊損ラットの痙縮筋と正常ラットの筋について同様に関節内固定を行い廃用の要因を同じ条件とした。その上で，痙縮の有無が筋性拘縮の発生に与える影響について比較検討を行った。まず，筋伸長時の張力はコントロール群に比較して固定群が有意な増加を示したことから廃用による筋性拘縮の発生が明らかであった。次に，固定群と固定 + 脊損群の筋伸長時の張力を比較した場合，固定 + 脊損群には痙縮の発生がみられたにも関わらず，両群の間には有意差が見られなかったことから痙縮が筋性拘縮の発生に与える影響はみられなかった。本研究結果より筋性拘縮の発生原因は関節の固定すなわち廃用が重要な要因といえた。これは，嶋田²²⁾，Botteら⁷⁾，小野ら²³⁾が述べるように中枢神経障害患者にみられる関節可動域制限を発生させる重要な要因は廃用であることを支持するものであった。

筋湿重量体重比に関しては，より体重比が小さい値を示すものほど筋性拘縮が進む傾向を表していた。沖ら¹²⁾によると筋性拘縮は筋萎縮との関連はみられず，結合組織の量と関連すると述べている。今回は結合組織の量的変化について分析していないため，それらの関係について詳細は不明であった。また，本研究は発症後1ヶ月以内の急性期について痙縮と筋性拘縮との関係を分析したが，臨床的にはさらに長期間にわたる両者の関係の分析が必要と思われた。

文 献

- 1) 吉本洋一：下肢の ROM と ADL．理学療法学，1988，15(3)：247-250．
- 2) 奈良 勲，浜村明徳：拘縮の予防と治療．医学書院，東京，

- 2003, pp1-17.
- 3) 嶋田智明：関節拘縮の基礎科学．理学療法学，1994，**21**(2)：86-89．
 - 4) 福屋靖子：成人中枢神経障害者の在宅における生活動作と関節可動域の関係について．理学療法学，1994，**21**(2)：90-93．
 - 5) Moskowitz EM, Lightbody FE: Long-term follow-up of the post-stroke patient. Arch Phys Med Rehabil, 1972, **53**(4): 167-172.
 - 6) Lowenthal M, Tobis JS: Contracture in chronic neurologic disease. Arch Phys Med Rehabil, 1957, **38**: 640-645.
 - 7) Botte MJ, Nickel VL, Akesson WH: Spasticity and contracture. Clin Orthop, 1988, **233**: 7-18.
 - 8) O'Dwyer N, Ada L: Reflex hyperexcitability and muscle contracture in relation to spastic hypertonia. Curr Opin Neurol, 1996, **9**: 451-455.
 - 9) 高木博史：下肢の関節拘縮に対する手術療法．総合リハ，1999，**27**(7)：633-638．
 - 10) Trudel G, Uhthoff HK: Contractures secondary to immobility: is the restriction articular or muscular? An experimental longitudinal study in the rat knee. Arch Phys Med Rehabil, 2000, **81**(1): 6-13.
 - 11) Finsterbush A, Friedman B: Early changes in immobilized rabbits knee joints: a light and electron microscopic study. Clin Orthop, 1973, **92**: 305-19.
 - 12) 沖 貞明，柴田大法，松田芳郎・他：不動性筋萎縮における筋性拘縮の発生と進行．運動・物理療法，1998，**9**(1)：8-41．
 - 13) van de Meent H, Hamers FP, Lankhorst AJ, et al.: New assessment techniques for evaluation of posttraumatic spinal cord function in the rat. J Neurotrauma, 1996, **13**(12): 741-54.
 - 14) Tabary JC, Tabary C, Tardieu C, et al.: Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts. J Physiol, 1972, **224**(1): 231-244.
 - 15) Kovanen V, Suominen H, Heikkinen E: Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special reference to collagen and endurance training. J Biomech, 1984, **17**(10): 725-35.
 - 16) 沖田 実：関節可動域制限の病態生理．理学療法，2003，**20**(6)：603-611．
 - 17) 須釜 聡，立野勝彦，灰田信英：関節固定が筋および腱組織コラーゲンの可溶性に及ぼす影響．理学療法学，1996，**23**(2)：72-79．
 - 18) O'Connor C, Heath DL, Cernak I, et al.: Effects of daily versus weekly testing and pre-training on the assessment of neurologic impairment following diffuse traumatic brain injury in rats. J Neurotrauma, 2003, **20**(10): 985-993.
 - 19) Osborn JW, Taylor RF, Schramm LP: Chronic cervical spinal cord injury and autonomic hyperreflexia in rats. Am J Physiol, 1990, **258**(1 Pt 2): R169-174.
 - 20) Bennett DJ, Li Yunru, Siu Merek: Plateau potentials in sacrocaudal motoneurons of chronic spinal rats, recorded in vitro. J Neurophysiol, 2001, **86**(4), 1955-1971.
 - 21) Bennett DJ, Gorassini M, Fouad K, et al.: Spasticity in rats with sacral spinal cord injury. J Neurotrauma, 1999, **16**(1): 69-84.
 - 22) 嶋田智明，金子 翼：関節可動障害 - その評価と理学療法・作業療法 - ．メディカルプレス，東京，1990，pp3-11．
 - 23) 小野武也，伊橋光二，鈴木幹男・他：脳血管障害患者の麻痺側足関節における底背屈運動と可動域制限発生との関係．理学療法学，2003，**30**(5)：288-295．