関節拘縮の発生抑制における自動運動の効果

—ラットにおける実験的研究—

The Effects of Treadmill Running on Prevention of Joint Contracture in Rats

今宮 尚志¹⁾ 中村 安希¹⁾ 沖 貞明¹⁾ 越智 淳子¹⁾ 小野 武也¹⁾
大塚 彰¹⁾ 清水ミシェル・アイズマン¹⁾

TAKASHI IMAMIYA, RPS¹⁾, AKI NAKAMURA, RPS¹⁾, SADA-AKI OKI, PhD, MD¹⁾, JUNKO OCHI, MS, RPT¹⁾,
TAKEYA ONO, PhD, RPT¹⁾, AKIRA OTSUKA, PhD, RPT¹⁾, MISHELE EISEMANN SHIMIZU, PhD, RPT¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Hiroshima Prefectural College of Health Sciences: 1-1 Gakuen Machi, Mihara City,
Hiroshima 723-0053, Japan. TEL & FAX +81 848-60-1256, e-mail: oki@pu-hiroshima.ac.jp

Rigakuryoho Kagaku 20(4): 279-282, 2005. Submitted Apr. 13, 2005. Accepted Jun. 30, 2005.

ABSTRACT: We studied the effects of treadmill running on preventing joint contractures due to joint immobilization. Female Wistar rats (10 weeks old) were used in this study. The ankle joint was immobilized in full plantar flexion with a cast for two weeks. For 5 rats, the casts were removed daily, and treadmill running (20 min.) was performed once a day (treadmill running group). In 10 rats, the ankles were immobilized without treadmill running (immobilized group). As a control, 10 rats were also used. After two weeks, the rats were anesthetized, and the range of motion of the ankle joint was measured with a goniometer. Joint contractures occurred not only in the immobilized group but also in the treadmill running group, but the degree of the contracture was not as bad in the treadmill running group as in the immobilized group. As a result, we concluded that treadmill running done under the above conditions could not prevent joint contractures of immobilized ankles in rats.

Key words: rat, joint contracture, treadmill

要旨: 臨床では、関節固定期に関節拘縮予防を目的として早期から自動運動を行うケースがある。しかし、実験動物を用いた関節拘縮予防に関する先行研究では、他動運動を用いたものは多くあるが、自動運動を用いたものはない。そこで本研究では、実験的にラットの一側足関節に関節固定を施行し、その固定期間中にトレッドミル走行による自動運動を行い、関節拘縮予防が可能であるかを検討した。その結果、トレッドミル走行によって関節拘縮の発生抑制効果は認められるものの、関節拘縮の発生を完全には予防することはできなかった。

キーワード: ラット, 関節拘縮, トレッドミル

¹⁾ 広島県立保健福祉大学理学療法学科: 広島県三原市学園町1-1 (〒723-0053) TEL & FAX 0848-60-1256

受付日 2005年4月13日 受理日 2005年6月30日

I. はじめに

臨床現場では、長期の臥床やギプス・装具などによる関節の不動化によって関節拘縮が発生する。このようなケースに対する理学療法としては、可及的早期から他動運動や伸張運動などを施し、関節拘縮の発生や進行予防に努めることが重要とされている。また、ギプス・装具による固定期間中に一時的に固定を除去し、自動運動を実施して関節拘縮予防を行うケースも少なくない^{1,2)}。

持続的伸張運動・関節可動域運動は、関節拘縮発生に対して程度に差はあるが予防効果があると報告されている³⁻⁵⁾。しかし、一度発生した関節拘縮の治療に対して自動運動の効果を調べた研究⁶⁾はあるものの、予防のために自動運動を用いて検討した報告はない。そこで、本研究では関節固定期間中にトレッドミル走行による自動運動を施し、関節拘縮の発生予防効果について検討することとした。

II. 対象, 方法

実験動物には10週齢の雌Wistar系ラット25匹を用いた。そのうち10匹は一側後肢足関節を最大底屈位に固定した「固定群」、10匹は処置をせずに飼育した「対照群」、残り5匹は固定群と同様に固定し、1日1度固定を除去して20分のトレッドミル走行を行う「運動群」とした。固定後のラットは両前肢と一側後肢を使って飼育ゲージ内を移動でき、全てのラットにおいて水と餌は自由に摂取可能であった。

足関節の固定には、熱可塑性樹脂（酒井医療株式会社製、アクアプラスト）を用いて作製した簡易的に着脱可能な装具を使用した。装具のみではラットが噛みちぎり装具を外す可能性があったので、金網で装具を覆い防ぐこととした。この装具をネブタール麻酔下（0.05 ml/100 g）で装着した。固定肢位は股関節屈曲位、膝関節90°屈曲位、足関節最大底屈位（図1）とし、固定期間は2週間とした。

「運動群」は、1日1度エーテル麻酔下にて装具を除去し、覚醒後にトレッドミル走行による自動運動を20分間実施した。トレッドミルにはColumbus社製ラット・マウス用トレッドミルExer-3/6を用い、速度は12 m/minとした。「固定群」は、固定期間前と固定期間後の2回だけ足関節背屈角度を測定し、「運動群」は固定期間前と毎日の運動後に測定した。測定は、ネブタール麻酔下にて行った。その際、膝関節最大屈曲位で中足骨頭に対して垂直に、バネ秤を用いた0.2 Nの力を加え（0.4 N・cm）、足関

図1 固定装具装着ラット
アクアプラストを用いて作製した装具（金網にて保護をしている）をラットに装着した。

図2 足関節背屈角度測定
Aは基本軸で腓骨頭と外果を結ぶ線、Bは移動軸で踵骨底面である。図のようにバネ秤で中足骨頭に垂直に0.2 Nの力を加えて（0.4 N・cm）、足関節最大背屈位として角度を測定した。

節最大背屈位とした。

尚、予備実験において、生後10週齢の雌Wistar系ラットにおける足関節の最大背屈には平均約0.11 N（0.08～0.13）の力を必要としたため、確実な背屈が可能となるように0.2 Nの力を用いることとし、愛護的な関節可動域測定を行った。最大背屈させた状態を足関節面に垂直な位置に固定したデジタルカメラにより上方から撮影し、画像を印刷した。基本軸を腓骨頭と外果を結ぶ線、移動軸を踵骨底面とし、画像に角度計を合わせ、目視にて測定した（図2）。同様にして「対照群」における最大背屈角度も測定した。

各群の比較には、Kruskal-Wallis検定を用いた。また、Kruskal-Wallis検定にて有意差を認めた場合には、多重比

表1 足関節背屈角度の比較

	平均値±標準偏差
対照群 (n=10)	37.8 ± 2.6
固定群 (n=10)	- 39.5 ± 12.7
運動群 (n=5)	- 9.6 ± 6.1

* p<0.05

較検定にTukey法を行った。尚、全ての統計手法とも危険率5%未満をもって有意差を判定した。

III. 結 果

最大背屈角度は、「対照群」37.8±2.6度、「固定群」-39.5±12.7度、「運動群」-9.6±6.1度であった。各群とも互いに有意差を認めた (p<0.05) (表1)。すなわち、2週間の関節固定により関節の背屈制限が発生していたが、トレッドミル走行を行うことによってその背屈制限の程度を抑制させる効果が認められた。しかしながら、関節拘縮の発生を完全には予防することはできなかった。

IV. 考 察

実験動物を用いた関節拘縮に関する先行研究は数多くあり、様々な実験モデルが作製されてきた。実験モデル作製法としては、主に膝関節や足関節を何らかの手段によって不動化する方法が行われており、ギプス固定による関節固定法^{3,6,9)}が一般的である。他には粘着性テープによる固定法⁴⁾やプレートやキルシュナー鋼線を用いた内固定法^{10, 11)}なども行われている。しかし、本研究では自動運動を実施するにあたり、従来のギプス固定法では毎日の着脱が容易ではないこと、粘着性テープでは巻き方によっては循環障害が発生する可能性があること、内固定法では手術侵襲による影響が否定できないことから、より簡易的に着脱可能な外固定法を考案し実験モデルを作製した。

関節拘縮を予防する手段としては、持続的伸張運動を用いたものがある。Williams³⁾は、マウス足関節を最大底屈位に保持しながら毎日1度伸張運動を加え、2週間の固定期間の結果、毎日30分以上伸張運動を実施すれば関節可動域制限の発生を予防できると報告している。また、中田ら⁴⁾はマウスの足関節を最大底屈位で2週間固定し、その過程で1日1度 (ただし週5回)、足関節屈筋群を持続的に伸張し、20分以上の実施時間で関節可動域制限の進行がある程度抑制されたと報告している。このように、

実験条件の違いなどによってやや結果は異なるが、持続的伸張運動は関節拘縮に対して発生抑制効果があると考えられる。

さらに、関節可動域運動を関節拘縮の予防手段として用いた報告⁵⁾もある。その報告によると、1日に1度、1度に5回の関節可動域運動は無効であり、1日に2度、1度に5回の関節可動域運動でもわずかな効果しか認められなかったとされている。

また、関節拘縮予防ではないが、一度発生した関節拘縮の治療に自動運動を用いた研究も報告されている⁶⁾。それによると、マウス足関節を2週間固定後、週に1, 3, 6回のトレッドミル走行を実施した結果、週1回以上のトレッドミル走行で関節拘縮改善に効果が認められたと報告されている。従って、トレッドミル走行のような自動運動も関節拘縮発生予防に有効であるのではないかと考え、今回の実験を施行した。

その結果、「運動群」の足関節背屈角度の平均値は「固定群」に比べ有意に大きく、関節拘縮の進行抑制に効果が認められた。しかし、「対照群」に比べて有意に小さく、関節拘縮を完全に予防することは出来なかった。先に述べた持続的伸張運動、関節可動域運動の報告でも、実施時間・頻度を増やせば効果が認められており、自動運動に関しても実施時間・頻度についても検討していけば、より効果的な条件が見つかる可能性があると考えている。

本研究では関節可動域を完全に維持することはできなかったが、自動運動が関節に与えた影響は他にもあると考えられる。すなわち、自動運動は他動運動に比べ、筋の収縮を伴い、関節により生理的な負荷が加わる運動であり、より正常に近い筋活動の状態であると言える。関節への生理的な負荷の意義は、関節軟骨の栄養に関連している。つまり、関節軟骨への栄養は滑液によってもたらされ、栄養分の軟骨内への移動には荷重と非荷重による軟骨の圧縮と復元の際の水の移動が重要とされていることである。また、筋の脱分極を伴う収縮は他動運動では起こりえない状態である。おそらく、自動運動が行われた関節・筋の状態は、他動運動が行われたときよりも、正常に近い望ましいものであった可能性が考えられる。そして、この事は固定期間後の自然回復において「運動群」は、よい結果が期待できる可能性を有している。今後はこのような課題についても検討していきたいと考えている。

本研究は、本学の研究倫理委員会の承認を受けて行われた。

引用文献

- 1) 南川義隆, 小川亮恵, 岡田百代: リウマチ手の装具療法. 整形外科MOOK 増刊2-B. 金原出版株式会社, 東京, 1993, pp166-172.
- 2) 田村 清: Modified A-castによるペルテス病の治療. 整形外科MOOK 増刊2-B. 金原出版株式会社, 東京, 1993, pp53-57.
- 3) Williams PE: Use of intermittent stretch in the prevention of serial sarcomere loss in immobilized muscle. *Ann Rheum Dis*, 1990, **49**: 316-317.
- 4) 中田 彩, 沖田 実, 中居和代・他: 持続的伸張運動の実施時間の違いが関節拘縮の進行抑制効果におよぼす影響—マウスにおける実験的研究. 理学療法学, 2002, **29**: 1-5.
- 5) 沖 貞明, 大塚 彰, 金井秀作・他: 関節可動域維持に必要な関節可動域運動の検討—ラットにおける実験的検討—. 運動療法と物理療法, 2004, **15**(4): 312-316.
- 6) Sakakima H, Yoshida Y, Sakae K, et al.: Different frequency treadmill running in immobilization-induced muscle atrophy and ankle joint contracture of rats. *Scand J Med Sci Sports*, 2004, **14**: 186-192.
- 7) 八百坂 沙: 長期固定による膝関節拘縮の発生と修復に関する実験的研究. 日整会誌, 1966, **40**: 431-453.
- 8) Herbison GJ, Jaweed MM, Ditunno JF: Muscle fiber atrophy after cast immobilization in the rat. *Arch Phys Med Rehabil*, 1978, **59**: 301-305.
- 9) Jozsa L, Thöring J, Järvinen M, et al.: Quantitative alterations in intramuscular connective tissue following immobilization: An experimental study in the rat calf muscles. *Exp Mol Pathol*, 1988, **49**: 267-278.
- 10) 沖 貞明, 柴田大法, 松田芳郎・他: 不動性萎縮筋における筋性拘縮の発生と進行. 運動・物理療法, 1998, **9**(1): 38-41.
- 11) 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.