関節拘縮の発生予防を目的とした自動運動の効果

——足関節中間位固定を用いたラットにおける実験的研究——

*Effects of Active Exercise to Prevent Joint Contracture:
An Experimental Study of Rats with Ankle Joint Fixation in a Functional Position*

坂本 隆徳¹⁾ 沖 貞明²⁾ 積山 和加子²⁾
酒井 はるか³⁾ 浮本 祥⁴⁾ 小野 武也²⁾

TAKANORI SAKAMOTO, RPT¹⁾, SADAOKI OKI, PhD, MD²⁾, WAKAKO TSUMIYAMA, PhD, RPT²⁾,
HARUKA SAKAI, RPT³⁾, SHO UKIMOTO, RPT⁴⁾, TAKEYA ONO, PhD, RPT²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Fukuyama Memorial Hospital: 1-15-30 Minatomachi, Fukuyama-shi, Hiroshima 721-0964,
Japan TEL +81 84-922-0998 E-mail: s_tkn@yahoo.co.jp

²⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health and Welfare, Prefectural University of Hiroshima

³⁾ Wako Orthopedic Surgery Sports Clinic

⁴⁾ National Hospital Organization Iwakuni Medical Center

Rigakuryoho Kagaku 32(5): 705-708, 2017. Submitted May 8, 2017. Accepted Jun. 1, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] We studied the effects of active exercise on preventing joint contractures secondary to joint immobilization in a functional position. [Subjects and Methods] Twelve female Wistar rats were used. The unilateral ankle joint of each animal was immobilized in a functional position by a cast for a duration of seven days. In the active exercise group, the casts were removed during treadmill running (20 min) once a day. In the control group, the casts were changed once a day. On the first and last days, the ranges of motion (ROM) of the ankle joints were measured. [Results] The ROMs were $117.3 \pm 6.1^\circ$ in the immobilized group and $119.7 \pm 5.3^\circ$ in the active exercise group on the first day with no significant difference between the two groups. The ROMs were $84.0 \pm 4.6^\circ$ in the immobilized group and $93.3 \pm 8.0^\circ$ in the active exercise group on the last day. ROM had decreased not only in the immobilized group but also in the active exercise group. The ROM of the active exercise group had significantly increased on the last day. [Conclusion] The fixation conditions described above could not prevent joint contracture.

Key words: joint contracture, active exercise, rat

要旨:〔目的〕自動運動による関節拘縮発生予防を、底背屈中間位固定のラット足関節を対象に検討すること。〔対象と方法〕Wistar系雌ラット12匹の一侧後肢足関節を底背屈中間位で7日間のギプス固定をした。固定期間中に1日1度、固定除去後に20分のトレッドミル走行を行う固定運動群と、ギプスの巻き替えのみを行う固定群で検討した。実験初日と最終日に、足関節可動域を計測した。〔結果〕初日の関節可動域は固定群 $117.3 \pm 6.1^\circ$ 、固定運動群 $119.7 \pm 5.3^\circ$ であり、2群間に有意差は認めなかった。最終日は、固定群 $84.0 \pm 4.6^\circ$ 、固定運動群 $93.3 \pm 8.0^\circ$ であり、ともに有意に関節可動域が減少していた。最終日では、固定運動群の関節可動域が有意に大きかった。〔結語〕関節拘縮の予防は、この条件では成し得なかった。

キーワード: 関節拘縮, 自動運動, ラット

¹⁾ 医療法人紅萌会 福山記念病院 リハビリテーション科: 広島県福山市港町1-15-30 (〒721-0964) TEL 084-922-0998

²⁾ 県立広島大学 保健福祉学部 理学療法学科

³⁾ 和光整形外科スポーツクリニック

⁴⁾ 独立行政法人国立病院機構 岩国医療センター

I. はじめに

代表的な廃用症候群である関節拘縮は、骨・軟骨を除く関節構成体（関節包、靱帯、筋、腱、皮下組織、皮膚など）の組織の短縮によって生じ、治療法としてはセラピストが解剖学的な運動方向に沿って関節を動かす他動運動、他動的ではあるが関節を伸長し続ける持続伸張運動、患者自身が解剖学的な運動方向に沿って関節を動かす自動運動などが施されているが、どの運動をどの程度の頻度で行うのが最も効果的であるかは明らかにされておらず、臨床現場では経験的に実施されているにすぎない。成書には、少なくとも1日に2度、1度に3～5回の全可動域におよぶ関節可動域運動が必要であると述べられている²⁾。そのような条件で行った動物実験がいくつか報告されている。一つめはラットの足関節を4週間最大底屈位に固定し、固定期間中に1度に5回の関節可動域運動を1日に1度および2度実施して関節可動域の変化を検討した研究である³⁾。その結果、1日1度では無効であり、1日2度でもわずかな効果しかなかったとされている。二つめの研究ではラットの足関節を4週間最大底屈位に固定し、1度に3回の関節可動域運動を1日に2度実施しているが、関節可動域の維持はできなかったと報告されている⁴⁾。

持続伸張運動に関する動物実験も、いくつか報告されている。一つめはラットの足関節を7日間最大底屈位に固定し、固定期間中に30分間の持続伸張運動を1日に1度実施した研究であるが、関節拘縮の発生は予防できなかったと報告されている⁵⁾。二つめの研究ではマウスの足関節を2週間最大底屈位に固定し、固定期間中に10～30分間の持続伸張運動を1日に1度、週に5回実施しているが、同様に関節拘縮の発生を完全に予防できなかったと報告されている⁶⁾。三つめはラットの足関節を1週間最大底屈位に固定し、固定期間中に30分間の持続伸張運動を1日に1度および2度実施して関節可動域の変化を検討した研究である⁷⁾。その結果においては、1日2度実施することで関節拘縮の発生は予防可能としている。

関節軟骨において、軟骨細胞は関節が動くことによって滑液が循環して栄養されているが、持続伸張運動においては繰り返す関節の動きを伴っておらず、筋に関しても持続伸張運動では筋の脱分極を伴う収縮は伴っていないためアクチンとミオシン間のスライディング機構は働いていない。つまり、持続伸張運動は関節・筋に対して、非生理的運動といえ一時的に関節可動域が維持されたとしても、固定除去後においては関節軟骨や筋の変性などの悪影響が生じる可能性がある。実際、関節固定期間中の持続伸張運動により筋損傷が生じたという報告もある⁸⁾。自動運動では正常に近い筋活動を伴い、関節軟骨にも荷重と非荷重が負荷され滑液が軟骨内に移動しや

すいという点で、他動運動・持続伸張運動に比べ、より生理的な負荷が加わる運動である。

よって自動運動による関節拘縮の発生・進行予防法が、最も望ましい手段だと考えられる。実際に臨床でも、固定期間中に理学療法時のみ一時的に固定を除去し、自動運動を実施する場合も存在する⁹⁾。

関節拘縮発生の防止を目的とした自動運動を用いた動物実験では、トレッドミルを用いた自動運動の効果が検討されているが¹⁰⁾、2週間の関節固定期間中に1日に1度、1度に20分の自動運動を実施し、関節可動域の変化を検討した結果、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予防することはできなかったとしている。その報告では、対象とするラットの足関節は底屈位固定であった。臨床においては、関節を固定する際には良肢位とされる底背屈中間位を用いることが多く、底屈位固定に比較して底背屈中間位のほうが関節拘縮発生の程度が少なく、その回復も早かったと報告されている¹¹⁾。そこで底背屈中間位固定ならば、関節拘縮発生の防止が容易になるのではないかと考えて実験的研究を行うことにした。なお、実験にあたり、評価方法に関しては多くの研究で採用されている関節可動域測定を用いることにし、さらにラットにおいてはヒトを対象として実施するような自動運動の実施は不可能であるため、先ほどの先行研究¹⁰⁾を参考にトレッドミルを用いることにした。運動条件としては、本邦で実施されているリハビリテーションの1単位の時間と先行研究の条件を考慮し、1日に1度、1度に20分のトレッドミル走行としたが、先行研究よりも固定期間は短いほうが効果が得やすいのではないかと考えて、ギプス固定期間は7日間とした。

II. 対象と方法

1. 対象

実験動物には10週齢のWistar系雌ラット12匹（平均体重 ± 標準偏差：277.0 ± 14.5 g）を用い、全ラットの一側後肢足関節を底背屈中間位にてギプス固定した。実験の初日から7日後の最終日までの実験期間中、1日1度固定を除去した後に20分のトレッドミル走行を行う固定運動群（6匹）と1日1度固定を除去してギプスの巻き替えのみを行う固定群（6匹）に分けた。

本研究は、県立広島大学動物実験倫理委員会の承認を受けて実施した（承認番号：第15MA004号）。

2. 方法

関節可動域測定は、ペントバルビタール麻酔下を実施した。田坂らの報告¹²⁾に従ってラットの体幹を固定し、デジタルテンションメーターにて中足部に0.3 Nの力をかけ、足関節背屈位および底屈位をデジタルカメラにて

撮影した。得られた写真を用い、腓骨頭から足関節外果を結ぶ直線に対する垂線を基本軸とし、踵骨底面を移動軸として角度計にて関節可動域を1°刻みで測定した(図1)。実験の初日と最終日の写真を用いて、角度を比較した。固定運動群では、最終日の関節可動域測定をトレッドミル走行後に行った。

ギプス固定法に関しては、武本らの報告¹¹⁾を参考にイソフラン麻酔下にて足関節底背屈中間位(基本軸と移動軸のなす角度が90°の肢位)にてテーピング固定を行った後にギプスにて固定し、ラットが噛み切らないよう金属ネットで覆った(図2)。ギプス固定中のラットは飼育ケージ内にて自由に移動でき、全てのラットにおいて水と餌は自由に摂取可能とした。

固定運動群はイソフラン麻酔下にて固定を外し、ケージ内で移動を開始した時点で覚醒と判断し、ただちにトレッドミル(ラット・マウス用トレッドミル Exer-3/6, Columbus 社製)による20分間の自動運動を1回/日実施した。トレッドミルの傾斜角度は5°, 速度は12 m/min とした。

統計処理にはエクセル統計(社会情報サービス社製)を用い、対応のある二元配置分散分析を行った。被験者

図1 関節可動域測定

腓骨頭から足関節外果を結ぶ直線(点線:A)に対する垂線(実線:B)を基本軸とし、踵骨底面を移動軸(実線:C)として角度計にて関節可動域を1°刻みで測定した。左図は背屈位の測定、右図は底屈位の測定を示している。

図2 足関節底背屈中間位固定

左図はギプス固定、右図はギプス固定後に金属ネットで覆った状態を示す。

間因子としては固定群と固定運動群、被験者内因子としては初日と最終日を比較対象とした。有意水準は5%とした。

III. 結 果

関節可動域の変化の結果を表1に示す。群間と時間経過の間に交互作用は認めなかった。実験の初日の関節可動域の平均値と標準偏差は、固定群 $117.3 \pm 6.1^\circ$ 、固定運動群 $119.7 \pm 5.3^\circ$ であり、2群間に有意差は認めなかった。最終日の関節可動域の平均値と標準偏差は、固定群 $84.0 \pm 4.6^\circ$ 、固定運動群 $93.3 \pm 8.0^\circ$ であり、両群において関節可動域が減少していた ($p < 0.01$)。最終日に関しては2群間に有意差を認め、固定運動群の関節可動域が大きかった ($p < 0.05$)。

IV. 考 察

本研究の結果より、トレッドミル走行による自動運動は、関節拘縮の発生をある程度抑制させることができることが明らかとなった。しかし、実験の初日に比較すると関節可動域は明らかに増悪しており、底背屈中間位を用いても1日に1度、1度に20分のトレッドミル走行では関節拘縮の発生は防止できなかった。

関節拘縮の発生防止を目的とした関節可動域運動の実験では、1日1度では無効であり、1日2度でもわずかな効果しかなかったとされている³⁾。つまり、1度よりも2度の方が効果的ということを述べている。持続伸張運動の実験でも、1日に1度よりも1日に2度の方が効果的であったとある⁵⁻⁷⁾。すなわち、関節の固定肢位に拘らず1日に1度の自動運動で関節拘縮の発生を防止するのは困難だということであろう。今後は1日に2度以上の頻度で自動運動を行い、検討する必要がある。

小野ら¹³⁾は、ラットの関節拘縮発生予防には、1日に20時間の運動が必要であるとしている。この実験では、外固定を除去している時間が1日に20時間であり、20時間にわたって常に自動運動をしているわけではないはずである。そこで、今回の結果をあわせて考えると、関節拘縮発生を防ぐために必要な自動運動は、1日に20分から20時間の間にあるということになる。

今後は、運動頻度に加え、運動時間を増やして検討す

表1 関節可動域の変化

	初日 (°)	最終日 (°)
固定群	117.3 ± 6.1	$84.0 \pm 4.6^{**}$
固定運動群	119.7 ± 5.3	$93.3 \pm 8.0^{**,\dagger}$

** : $p < 0.01$ (vs 初日), † : $p < 0.05$ (vs 固定群)。

ることも必要であろう。ただし、運動時間を増やしすぎることも問題である。関節固定期間中に毎日連続して90分間のトレッドミル運動を負荷すると、1週間後に著明な筋損傷が生じたという報告もある¹⁴⁾。つまり、過負荷にならないように時間と頻度を調節し、適切な運動負荷を検討していく必要があると考えている。

今回の研究の限界としては、非常に限定した条件で実験を行ったことである。今後は、関節の固定肢位、固定時間、固定期間、運動方法を様々に変化させて検討することが必要であると考えている。また、ヒトでは荷重をさせない自動運動が一般的であるが、トレッドミルを用いたことで荷重の影響があることも考慮する必要があるが、臨床でもトレッドミルが使用されていることもあり、今後の検討因子の一つであると考えている。さらに、今回得られた結果を、形態の異なるヒトの足関節に簡単にあてはめることはできないのは当然である。しかし、関節が常に可動することによってその機能が維持されるという点は同じであり、今後の診療の参考とされていくべきものと考えている。

引用文献

- 1) 川手信行, 水間正澄: 今日のリハビリテーション指針, 医学書院, 東京, 2013, pp526-528.
- 2) 正門由久, 千野直一: 最新リハビリテーション医学, 医歯薬出版, 東京, 2000, pp66-74.
- 3) 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・物理療法, 2004, 15: 312-316.
- 4) 陳之内将志, 小野武也, 沖 貞明・他: 関節可動域運動がラット足関節可動域制限に及ぼす影響. 理学療法の臨床と研究, 2005: 49-52.
- 5) 小野武也, 富田瑛博, 沖 貞明・他: 一日30分の持続伸張が足関節拘縮の発生予防に与える影響. 理学療法科学, 2010, 25: 947-949.
- 6) 中田 彩, 沖田 実, 中居和代・他: 持続的伸長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—. 理学療法科学, 2002, 29: 1-5.
- 7) Endo R, Ono T, Oki S, et al.: Effect of a 30-minutue twice daily prolonged stretch for the prevention of joint contracture in rats. J Phys Ther Sci, 2009, 21: 227-230.
- 8) 西田まどか, 沖田 実, 福田幸子・他: 持続的伸張運動と間歇的伸張運動が拘縮と筋線維におよぼす影響—関節固定法と後肢懸垂法を組み合わせたラットの実験モデルによる検討—. 理学療法科学, 2004, 31: 304-311.
- 9) 岩崎勝郎: 整形外科MOOK14—ペルテス病—, 金原出版, 東京, 1980, pp135-146.
- 10) 今宮尚志, 中村安希, 沖 貞明・他: 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—. 理学療法科学, 2005, 20: 279-282.
- 11) 武本夕希, 福岡明子, 沖 貞明・他: 関節拘縮に対する中間位固定の影響—ラット足関節を用いた実験的研究—. 運動・物理療法, 2010, 21: 255-259.
- 12) 田坂厚志, 小野武也, 沖 貞明・他: ラット足関節背屈可動域測定法の信頼性に関する検討. 理学療法科学, 2014, 29: 143-145.
- 13) 小野武也, 沖 貞明, 井上かおり・他: 関節可動域制限の発生を予防するために必要な関節運動時間の検討. 理学療法科学, 2012, 27: 489-491.
- 14) 沖 貞明, 濱崎崇史, 小野武也・他: 廃用性筋萎縮に対する予防的運動療法の影響—ラット実験モデルを用いて—. 運動・物理療法, 2008, 19: 310-314.