

関節可動域制限に対するストレッチ およびモビライゼーションの効果

——ラット膝関節不動化モデルを用いた検討——

渡 邊 晶 規^{1,3}, 小 島 聖^{2,3}, 日比野 至¹
松 崎 太 郎³, 細 正 博³

要 旨

ラット膝関節拘縮モデルを用いて、関節可動域制限に対するストレッチおよびモビライゼーションの効果を検証することを目的とした。対象として、9週齢のWistar系雄ラット17匹を用い、右後肢をギプス固定により8週間不動化させ関節可動域制限を惹起させた。その後、無作為に8週間の通常飼育を行う自然回復群と、同期間ストレッチを実施するストレッチ群、また同期間モビライゼーションを実施するモビライゼーション群の3群に分けた。飼育期間中、不動化前後および不動解除後1週毎に膝関節可動域を測定した。得られた値から、発生した制限角度に対する関節可動域改善率を算出し比較を行った。その結果、6週間後以降に自然回復群とモビライゼーション群間の関節可動域改善率に有意差を認めた。一方でストレッチ群はいずれの時点でも自然回復群と有意差を認めなかった。これらのことから、モビライゼーションは関節可動域の改善に有効であることが示唆された。

キーワード：モビライゼーション、ストレッチ、関節可動域、ラット

はじめに

正常な関節運動は骨運動と副運動に分けられ、副運動は自身で意図的に行うことができない関節包内の運動であり、構成運動と関節の遊びに分けられる [5]。これには関節包の適度な緩みが必要であるとされる [5]。正常な関

節運動が制限されたとき、最も一般的な運動療法としてストレッチが行われている。ストレッチは関節の一方を固定し、もう一方を制限されている運動方向へ伸張を加え、関節運動の拡大を図る。実際にはこれが単独で適応されることは少なく、加えてこれに先行または並行して、関節包内運動の改善を図る目的で様々な徒手療

- 1 名古屋学院大学リハビリテーション学部
- 2 金城大学医療健康学部
- 3 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科保健学専攻

Received 4 July, 2012

Accepted 20 July, 2012

Correspondence to: Masanori Watanabe

E-mail: m.wtnb@ngu.ac.jp

法が行われている。これらは各手技の力や速度によって、モビライゼーションまたはマニピュレーションと呼ばれている [1, 8]。名称の使い分けには統一した見解が得られていないため、本研究では拘縮に対して、関節包内運動を改善させる目的で関節包を伸張させる手技をモビライゼーションと定義して用いることとした。

ストレッチは臨床で頻繁に用いられているものの、その効果を検証したシステマティックレビューによると、一定の評価は得られておらず、関節可動域制限に対しては否定的な報告が多い状況である [2, 4, 9, 13, 14]。しかしながら、実験動物を用いた検討では、比較的短期間の検討ではあるがその有効性が報告されている [17-19]。一方、モビライゼーションに関する近年の臨床報告では、関節可動域制限に対する有効性が示されているが [3, 16]、ストレッチに比べ、実験動物を用いた基礎研究の報告は非常に乏しく、その有効性に関する検証が十分に行われているとは言い難いのが現状である。

そこで、本研究では8週間の関節不動化により生じたラット膝関節拘縮モデルを用いて、関節可動域制限に対するストレッチおよびモビライゼーションの効果を明らかにすることを目的とした。

材料と方法

9週齢のWistar系雄ラット17匹（体重250g～290g）を用いた。本研究は全て名古屋学院大学動物実験規定に準拠し、同大学動物実験委員会の承認を得て行った（承認番号2007-003）。

動物の右後肢を8週間ギプス固定し、不動による膝関節の拘縮を惹起させた。不動期間終了後にギプスを除去し、無作為に8週間のスト

レッチを加えるストレッチ群(5匹, 以下S群), 8週間のモビライゼーションを加えるモビライゼーション群(6匹, 以下M群), 8週間の通常飼育を行う自然回復群(6匹, 以下F群)の3群に振り分けた。各群ともプラスチック製のケージ内で個別に飼育し、飼料と水は自由に摂取可能とした。ラットの日内変動リズムを規則正しく保つため、12時間サイクルで明一暗の照明管理を行った。また、飼育温度は日内変動幅をできるだけ少なくし、20～26℃の範囲に収めるように努めた。

膝関節拘縮を惹起させるためのギプス固定は渡邊ら [20] を参考に以下の手順で行った。イソフルラン吸入麻酔下にて、ベルフォームで作製した自家製ジャケットを装着させ、ベルクロで背面を固定した。右後肢にはギプスによる擦傷を予防するため、予め膝関節を中心に後肢全体をガーゼで覆い、その後股関節最大伸展位、膝関節最大屈曲位、足関節最大底屈位の状態で骨盤帯から足関節遠位部までギプスを用いて固定した。右後肢の足関節遠位部から足趾までは浮腫の有無を確認するために露出させ、この状態でうっ血のないことを確認した。また、同側肢の膝蓋骨とその周囲は、固定期間中の骨成長を考慮し露出させた。左後肢は自由とし、両前肢を使いケージ内を自由に移動でき、水、餌は十分に摂取可能であった。2週間毎にギプスの巻き替えを行うほか、足部の浮腫を認めた場合、あるいはギプスの緩みを認めた場合は早急に巻き替えを行い、可能な限り適切な固定を維持した。固定期間はTrudelら [15]、渡邊ら [20] を参考に、関節性の拘縮ができる8週間とした。

ストレッチは渡邊ら [21] に準じ、イソフルラン吸入麻酔下にて左側臥位で実施した。大腿骨が体幹長軸とおおむね平行となるような股関節伸展位をとらせ、一方の手で体幹および大腿

骨を固定した。下腿遠位部にpush-pullゲージを粘着テープで固定し、もう一方でpush-pullゲージを介して下腿を牽引した。牽引は尾側方向に行い、体幹長軸と平行となるよう努めた。この時加えた力は体重と同程度とし、可能な限り一定の力を加えるように努めた。50秒間の持続伸張に続いて10秒間休息するサイクルを1日5セット（5分間）実施した。

モビライゼーションも同様にイソフルラン吸入麻酔下で実施した。側臥位をとらせ、膝関節は緩みの位置（loose-packed position）[12]とし、膝関節の関節面が前後方向に移動するように、脛骨近位部を後方から前方に向けて力を加えた[8]（図1）。この負荷量は毎週測定する体重と同程度とした。負荷量を確認するために、モビライゼーション施行者の母指部にロードセルセンサーを準備し、可能な限り一定の力を加えた。25秒間の持続伸張に続いて5秒間休息するサイクルを1日10セット（5分間）とした。用いた負荷量は、予備実験の結果から関節包（関節靭帯を含む）の応力-歪み曲線を描き、

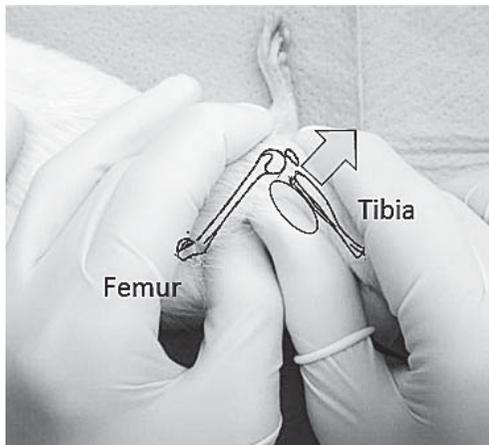


図1 モビライゼーションの方法
膝関節緩みの位置にて、関節面が前方へ平行移動するように力を加えた。図中○はセンサーの位置を示す。

組織伸張に該当するとされるLiner phase[10]を確認し、適応の参考とした。持続伸張時間については、ヒトにモビライゼーションを実施する際の適応[8]を考慮して決定した。ストレッチ、モビライゼーションともに週5回の治療介入を8週間実施した。

これらの治療介入の効果測定には膝関節の関節可動域を用いた。膝関節可動域の測定にはヒト手指用角度計を用いた。吸入麻酔下にて側臥位とし、体幹を固定し、1.3Nの力で下腿をゆっくりと体幹長軸方向に牽引した際の角度を測定した。基本軸を大腿骨大転子と大腿骨外顆中央部を結んだ線、移動軸を膝関節裂隙中央部と下腿骨外果を結んだ線とし、それらが成す角度を、基本軸の延長線上を0°として計測した。計測は、各群ともにギプス固定前とギプス解除直後、およびそれ以降毎週1回実施した。なお、値は1°単位で読み取り、計測回数は各1回とした。

得られた値はそれぞれギプス固定前の角度との差を制限角度として算出し、ギプス解除直後に生じた制限角度に対する改善率 $[(a - b)/a] \times 100$ a：ギプス解除直後の制限角度、b：各週間後の制限角度]として比較した。比較には統計ソフトIBM SPSS ver19を用い、Kolmogorov-Smirnov検定により正規性を確認した後、一元配置分散分析を実施した。等分散性が保証されない場合にはWelchの方法を用いた。有意差を認めた場合にはそれぞれScheffe法、Games-Howell法による多重比較検定を実施した。有意水準はいずれも5%とした。

結果

ギプス固定前の膝関節角度は平均 $32.5 \pm 2.5^\circ$ であり、8週間のギプス固定直後は平均 $98.7 \pm 8.6^\circ$ であった。

ギプス固定解除直後、S群の体重は平均255 ± 15.4g (240g~280g)、M群の体重は平均254 ± 7.4g (245g~265g)であった。両群ともに治療期間中に徐々に増加し、8週間後にはS群で平均349g ± 6.1g (344g~356g)、M群で平均341 ± 11.4g (318g~349g)となった。このため、それぞれの治療において用いた力は、S群で2.4N~3.5N、M群で2.4N~3.4Nの範囲であった。

ギプス解除8週間後の膝関節角度は、S群で平均53.6 ± 4.3°、M群で52.0 ± 1.8°、F群で平均59.3 ± 4.4°であった。各群とも治療期間の経過とともに改善率は上昇したが、8週間の治療期間後もおおむね3割程度の関節可動域制限が残存した。群間比較の結果、6週間後、7週間後、8週間後において、F群とM群の間で有意な差を認めた(表1)。

考 察

関節不動化により惹起された関節可動域制限に対するストレッチおよびモビライゼーションの効果を比較・検討するために本研究を実施し

た。結果、通常飼育による自然回復に比べ、モビライゼーションを加えることで関節可動域は大きく改善し、モビライゼーションの有効性が確認された。一方、ストレッチでは明らかな効果を認めることができなかった。

谷本ら [18] はラット膝関節を4週間内固定した屈曲拘縮モデルを用いて、75秒間の持続伸張を1日6回、週5回実施した結果、介入開始8週間後において、自然治癒による改善に比べて伸展可動域が有意に改善したことを報告している。また井上ら [17] はギプス固定によるラット足関節底屈拘縮モデルを用いて、1日30分、週6回の間歇的ストレッチの効果を検証したところ、介入開始1、2週後において、自然回復よりも有意に大きな背屈可動域の改善が得られたと報告している。我々のグループでも本研究と同様の動物モデルを用いて、2週間あるいは4週間の不動化後の膝関節拘縮に対し、同期間1日5分、週5回の持続伸張を加えたところ、介入を加えなかった群に比べて、大きな関節可動域改善が得られることを確認した [19, 21]。しかし、これまでに本研究と同期間の8週間の不動化モデルを用いてストレッチの効果

表1 各群の伸展制限可動域の改善率

	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後
S群	31.3 ± 11.69	40.7 ± 2.79	39.0 ± 7.60	46.3 ± 10.95
M群	23.1 ± 12.11	40.6 ± 6.56	38.9 ± 6.95	42.9 ± 2.83
F群	27.0 ± 7.66	39.1 ± 5.81	41.3 ± 7.65	47.3 ± 6.66
	5週間後	6週間後	7週間後	8週間後
S群	60.0 ± 4.71	60.0 ± 4.71	68.7 ± 9.01	67.3 ± 7.23
M群	62.9 ± 11.96	65.3 ± 3.37	66.5 ± 3.38	69.8 ± 2.53
F群	51.6 ± 4.41	54.4 ± 5.84*	59.5 ± 4.19*	62.2 ± 3.21*

(平均値±標準偏差, 単位: %)

* ; M群との有意差 (p < 0.05)

改善率 = (a - b) / a × 100 (a : ギプス解除直後の制限角度, b : 各週間後の制限角度) として算出。

を検証した報告は見当たらない。関節不動後の拘縮の制限因子に関し、Trudelら [15] は不動後2週間で関節性の制限が徐々に強くなっていくことを報告している。また我々は不動後の関節構成体を病理組織学的に検討した結果から、不動後2週以降で関節構成体の変化が観察され、不動化期間の長期化に伴い変化が著明となることを確認している [20]。これらを考慮すると、本研究で用いた8週間の不動化は、これまでの報告に見られる4週間までの不動化に比べ、関節性の制限が大きいことが予測される。この制限因子の違いがストレッチの効果が認められなかった原因であると推察される。すなわちストレッチは筋性が優位の関節可動域制限に対しては有効であるが、直接的に伸張力を加えることが難しいであろう関節包や靭帯といった関節性の制限に対しては十分に作用しない可能性が考えられた。対照的にモビライゼーションでは、まさに関節包の伸張を目的として実施されることから、本研究において有意な改善を認めたものと思われた。Hsuら [6, 7] は、新鮮遺体肩関節を用いて、背側方向または尾側方向へのモビライゼーションにより、外転可動域の増加を報告している。またMurakiら [11] は、新鮮肩関節試料を用いて、モビライゼーションを想定した反復伸張刺激を加えた結果、後部関節包の剛性の変化を認めたとし、これには関節包の膠原線維間の架橋結合だけを損傷させた可能性があることを報告している。本研究結果もこれらを支持するものと考えられ、モビライゼーションが関節構成体に影響を及ぼし、その結果、関節可動域を大きく改善させたものと推察された。

これまでに、実験動物を用いた基礎研究において、関節拘縮に対するモビライゼーションの効果を検討した報告は、我々が検索した限り見

当たらないことから、本研究で用いた治療介入の頻度、時間、強度が妥当であるかは、継続して検討する必要がある。また、本研究では関節可動域のみで効果の判定をしており、その改善のメカニズムについて言及できない。今後は組織学的あるいは生化学的手法を加えて多角的に検討することが課題である。

謝 辞

本研究はJSPS科研費 23700641の助成を受け実施した研究成果の一部である。

文 献

- [1] Banks K, Hengeveld E. (2005) Mobilization and Manipulation. Banks K, Hengeveld E. Maitland's peripheral manipulation. 4th ed. Elsevier, Philadelphia, pp25-38
- [2] Bovend'Eerd T, Newman M, Barker K, Dawes H, Minelli C, Wade DT. (2008) The effects of stretching in spasticity: a systematic review. Arch Phys Med Rehabil. 89: 1395-406
- [3] Brudvig TJ, Kulkarni H, Shah S. (2011) The effect of therapeutic exercise and mobilization on patients with shoulder dysfunction: a systematic review with meta-analysis. J Orthop Sports Phys Ther. 41: 734-748
- [4] Decoster LC, Cleland J, Altieri C, Russell P. (2005) The effects of hamstring stretching on range of motion: a systematic literature review. J Orthop Sports Phys Ther. 35: 377-87
- [5] Hertlind D, Kessler RM. (2006) Arthology. Hertlind D, Kessler RM. Management of common musculoskeletal disorders: physical therapy principles and methods. 4th ed.

- Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp27-51
- [6] Hsu AT, Ho L, Ho S, Hedman T. (2000) Immediate response of glenohumeral abduction range of motion to a caudally directed translational mobilization: a fresh cadaver simulation. *Arch Phys Med Rehabil.* 81: 1511-1516
- [7] Hsu AT, Ho L, Ho S, Hedman T. (2000) Joint position during anterior-posterior glide mobilization: its effect on glenohumeral abduction range of motion. *Arch Phys Med Rehabil.* 81: 210-214
- [8] Kaltenborn FM. (2007) Joint mobilization. Kaltenborn FM. *Manual Mobilization of the joints Volume 1 The Extremities.* 6th ed. Norli, Oslo, pp73-84
- [9] Katalinic OM, Harvey LA, Herbert RD. (2011) Effectiveness of stretch for the treatment and prevention of contractures in people with neurological conditions: a systematic review. *Phys Ther.* 91: 11-24
- [10] Kisner C, Colby LA. (2002) Stretching. Kisner C, Colby LA. *Therapeutic Exercise Foundations and Techniques.* 4th ed. F. A. Davis Company, Philadelphia, pp171-215
- [11] Muraki T, Yamamoto N, Berglund LJ, Sperling JW, Steinmann SP, Cofield RH, An KN. (2011) The effect of cyclic loading simulating oscillatory joint mobilization on the posterior capsule of the glenohumeral joint: a cadaveric study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 41: 311-318
- [12] Neuman DA. (2002) *Arthrokinematics.* Neuman DA. *Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for physical rehabilitation.* 1st ed. Mosby, St. Louis, pp8-11
- [13] Pin T, Dyke P, Chan M. (2006) The effectiveness of passive stretching in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 48: 855-62
- [14] Radford JA, Burns J, Buchbinder R, Landorf KB, Cook C. (2006) Does stretching increase ankle dorsiflexion range of motion? A systematic review. *Br J Sports Med.* 40: 870-5
- [15] Trudel G, Uthoff HK. (2000) Contractures secondary to immobility: is the restriction articular or muscular? An experimental longitudinal study in the rat knee. *Arch Phys Med Rehabil.* 81: 6-13
- [16] Yang JL, Jan MH, Chang CW, Lin JJ. (2012) Effectiveness of the end-range mobilization and scapular mobilization approach in a subgroup of subjects with frozen shoulder syndrome: a randomized control trial. *Man Ther.* 17: 47-52.
- [17] 井上貴行, 沖田実, 高橋裕司, 原田裕司, 鈴木重行. (2007) 不動終了後のラットヒラメ筋に対する間歇的伸張運動が関節可動域と筋線維におよぼす影響. *理学療法学* 34 : 1-9
- [18] 谷本正智, 水野雅康, 塚越卓, 田村将良, 磯山明宏, 渡邊晶規. (2008) 関節不動後のラットハムストリングスに対する持続伸張運動の効果 単一筋線維筋電図を用いた筋収縮特性の検討. *理学療法科学.* 23 : 383-390
- [19] 武村啓住, 細正博, 由久保弘明, 松崎太郎, 小島聖, 渡邊晶規, 立野勝彦. (2004) ラット膝関節2週固定後の拘縮に対するストレッチが関節構成体に及ぼす病理組織学的影響. *理学療法学.* 31 : 76-85
- [20] 渡邊晶規, 細正博, 武村啓住, 由久保弘明, 松崎太郎, 小島聖. (2007) 関節拘縮における関節構成体の病理組織学的変化 ラット膝関節長期固定モデルを用いた検討. *理学療法科学.* 22 : 67-75
- [21] 渡邊晶規, 細正博, 由久保弘明, 松崎太郎, 小島聖. (2009) 拘縮に対するストレッチが関節包に及ぼす病理組織学的影響 ラット膝関節4週間固定モデルを用いた検討. *理学療法科学.* 24 : 403-409

Effects of Stretching and Mobilization on the Limitation of Range of Motion

—A Study of Knee Joint Immobility Model in the Rat—

Masanori Watanabe^{1,3}, Satoshi Kojima^{2,3}, Itaru Hibino¹,
Taro Matsuzaki³, Masahiro Hosoi³

Abstract

Manual therapy such as joint mobilization and manipulation is frequently used in the treatment of joint contracture. This study aimed to investigate the effects of stretching or mobilization on limit of range of motion using a rat knee joint contracture model. Seventeen male Wistar rats (aged 9 weeks) had the right posterior limb knee joint immobilized for 8 weeks to induce contracture. They were divided into three groups— stretching, mobilization, and non-treatment groups. After the removal of casts, the non-treatment group (n=6) was bred normally for 8 weeks, and the other two groups underwent the stretching (n=5) or mobilization (n=6) for the same 8 weeks. Measurements of knee joint range of motion (ROM) were performed before inducing contracture, following the cast removal, and on every week. The improvement rate was calculated from the limitation angle of knee joint ROM which occurred after immobilization. The improvement rate in mobilization group was significantly higher than non-treatment group from 6 weeks after the removal of casts. On the other hand, the changes of improvement rate in stretching group were equal to non-treatment group on all periods. These data indicate that the mobilization was effective for improving the limited range of motion.

Keywords : mobilization, stretching, range of motion, rat

-
- 1 Faculty of Rehabilitation Science, Nagoya Gakuin University
 - 2 Department of Medical Health Science, Kinjo University
 - 3 Division of Health Sciences, Kanazawa University Graduate School of Medical Sciences