

手関節拘縮改善リハビリテーションに及ぼす牽引効果のMRIによる検証

Verification of the effect of wrist traction on rehabilitation for the joint contracture by MRI

○折坂康介(金沢大学大学院) 立矢 宏(金沢大学) 浜尾沙世(金沢大学)
小塚裕明(金沢大学) 鈴木陽介(金沢大学)

Kosuke ORISAKA, Graduate School of Kanazawa University

Hiroshi TACHIYA, Kanazawa University

Sayo HMAO, Kanazawa University

Hiroaki KOZUKA, Kanazawa University

Yosuke SUZUKI, Kanazawa University

Abstract: Convalescence of distal radius bone fracture requires speedy improvement of the contracture for wrist joint angles. Recently, traction of the wrist during flexing and extending the wrist joint is considered to be efficient as the rehabilitation procedure. Previously, we developed equipment that can apply the constant traction force to the wrist during flexing and extending the wrist joint. By using the equipment, we observed the dynamic motion of carpals in the wrist by X-ray photography. However, by X-ray photography, the displacement and rotation of carpal couldn't be measured precisely. We have developed new equipment for MRI photography. By using the equipment, the study reveals that lunar, which constitutes radius - lunate joint (R-L joint) as a major carpal, rotates by traction of the wrist and its rotation extends the motion range of R-L joint to dorsiflexion side, and also demonstrates relations between interosseous distance and the joint angles.

Key Words: Rehabilitation, Wrist joint, Carpal, Contracture, MRI

1. 諸言

手関節付近の骨折治療では、長期の保護固定により拘縮が生じ、手首を掌側および背側に曲げる掌背屈運動の可動域が制限されることがある。手関節の運動は、橈骨手根関節と手根中央関節の2関節の運動の和として生じる⁽¹⁾。早期に拘縮を予防、改善するためには、症例に応じて各関節を効果的に運動させるリハビリテーションの手技を施すことが望まれる⁽²⁾。

近年、手関節拘縮改善リハビリとして、徒手的に手首を手先方向へ牽引した状態で、他動的に手関節を掌背屈運動させる徒手的他動掌背屈運動が注目され⁽³⁾⁽⁴⁾、実際に手関節拘縮に対し可動域を早期に回復させる効果が確認されており⁽³⁾、多田らは同手技が橈骨手根関節を効果的に運動させる可能性を示した⁽⁴⁾。しかし、施術中の牽引力や掌背屈角度は療法士の経験と感覚によって加減されるため、施術中に牽引力を一定に保つことや、また、その大きさや方向を正確に調整したり、大きな力で牽引したりすることは困難であり、同手技の定量的な評価や適切な牽引力の検討は不十分であった⁽⁴⁾。

そこで、先に、牽引力および牽引方向を調整可能な徒手的他動掌背屈運動を実施する装置を開発し、同装置を用いたリハビリテーションを行って手関節骨部の動態をX線動画像で撮影し、解析を行った。その結果から、徒手的他動掌背屈運動時には、手関節全体の角度変化に対する橈骨手根関節の角度変化の割合が増加することを確認した。

しかし、従来研究は、手関節の牽引と関節角度変化割合との関係の評価のみにとどまっており、牽引による手根骨の移動・回転などの詳細な調査や、関節角度変化量が増加する要因の検証などが不十分であった。

また、牽引が手関節に及ぼす影響としては、手関節を構成する骨間距離の変化が測定されており⁽³⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾、野中らは牽引による関節骨間の開大が骨折部への負荷を軽減しているのではないかと推測している⁽³⁾。

そこで、本論文では断面画像が取得可能MRI(magnetic resonance imaging)の使用を前提とし、MRI撮影環境下において牽引力および牽引方向を一定に保持可能な装置を製作する。また、同装置による施術時の手関節MRI画像を取得し、手根骨の距離および角度に対する牽引による影響を検証する。

なお、本研究は金沢大学医学倫理委員会から承認を得て行った。

2. 手関節の徒手的他動掌背屈運動

2・1 手関節の構造

右手の手関節に関して正面(甲側)および側面(拇指側)から見た様子を図1に示す。手関節は前腕の橈骨(Radius)と尺骨(Ulnar)、8個の短骨で構成される手根骨、さらに中手骨(Metacarpal)から構成される。また、手根骨は、近位列手根骨(舟状骨、月状骨、三角骨、豆状骨)と遠位列手根骨(大菱形骨、小菱形骨、有頭骨、有鈎骨)とに分類される。

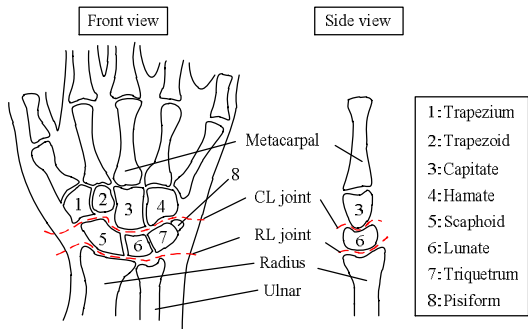


Fig. 1 Structure of wrist

2・2 徒手的他動掌背屈運動とその効果

手関節の掌背屈運動は、主に橈骨と近位列手根骨の間の RL 関節(Radiolunate joint)および近位列手根骨と遠位列手根骨の間の CL 関節(Capitolunate joint)の2関節の運動の和として生ずる⁽¹⁾。正常な手関節では、掌屈時は CL 関節、背屈時は RL 関節の運動割合が優位となる傾向がある⁽²⁾。

RL 関節を効果的に他動運動させる手技として、療法師が対象者の上腕もしくは前腕を固定し、さらに、その手掌および手背部を強く把持して牽引しながら、手関節を連続的に掌屈、中間位、背屈と他動運動を施す徒手的他動掌背屈運動の応用が期待されている⁽³⁾⁽⁴⁾。

従来研究⁽⁵⁾における X 線動画撮影実験より、手関節牽引他動掌背屈運動は、掌屈時における RL 関節の運動割合を増加させ、掌背屈全域で RL 関節の運動割合を優位とする効果が認められた。また、適切な牽引力は 25~30 N 程度と推定された。以上より、掌屈時、背屈時ともに牽引によって RL 関節の寄与率が優位となるため、徒手的他動掌背屈運動時は RL 関節を選択的に動作させるリハビリテーションとして有効であることがわかった。

3. MRI 撮影実験

3・1 実験装置

製作した MRI 撮影実験用手関節牽引装置を図2に示す。従来研究で用いた検証装置は比較的大型であり、また、構成部品に磁性材料を使用しており、MRI 撮影装置内への設置が不可能であった。そこで、本装置は寸法を装具程度の 435×130×174.5 mm³と小型化し、材料には樹脂材料及びチタンといった非磁性材料のみを使用することで、MRI 撮影装置内へ設置可能としている。

装置は手先牽引部と前腕固定部によって構成され、回転軸によって連結されている。手関節牽引時には、手先牽引部に設けられたねじ送り機構により圧縮ばねのたわみ量を調整することで、牽引力を 0~60 N の

間で設定可能である。また、MRI 撮影時には撮影中に肢位を保持する必要があるため、軸固定板により屈曲角度を 40 deg, 0 deg, -40 deg で保持可能としている。

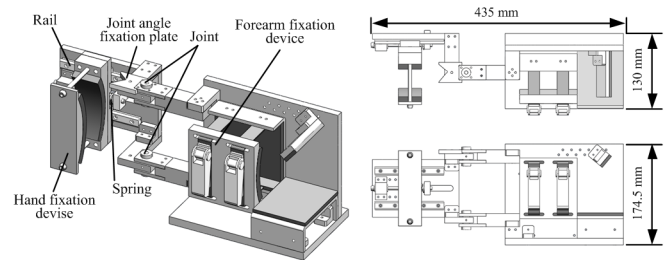


Fig. 2 Equipment for MRI photography

3・2 実験方法

被験者は健康な男性 10 名(20~30 代, 平均年齢 25.8 歳, 標準偏差 5.1 歳)を対象とする。前節に示した牽引装置を用いて MRI 撮影実験を実施し、牽引力を 0 および 40N の各状態で、背屈位(屈曲角度 40 deg)、中間位(屈曲角度 0 deg)および掌屈位(屈曲角度-40 deg)の 3 肢位にて手関節を撮影し、得られた画像に対し手根骨の角度、変位に関する解析を行う。

4. 関節角度および骨間距離の測定方法

関節角度測定は医用画像処理ソフト ImageJ を使用する。図3に示すように、橈骨および月状骨は尖部 2 点を結ぶ線の垂線、中手骨は右側面に接する直線を各基準線と設定し、各基準線の相対角度より手関節屈曲角度、RL 関節および CL 関節角度を算出する。加えて、本論文では舟状骨が遠位列手根骨から近位列手根骨への運動伝達に関与している⁽⁸⁾との考えより、舟状骨左側面に接する線分を舟状骨基準線と設定し、遠位列手根骨に対する舟状骨角度として CS 角度を算出する。

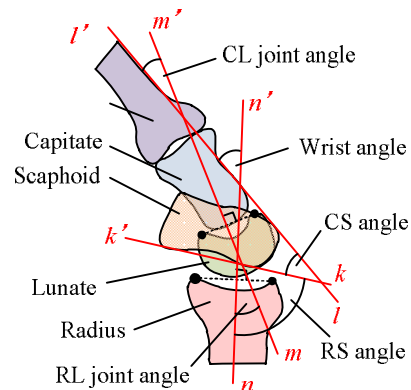


Fig. 3 Measurement of each joint angle

関節間距離の測定には医用画像解析ソフト 3DSlicer を使用する。橈骨，月状骨および有頭骨が確認可能な，連続する 8 枚の矢状断面画像を対象とし，RL 関節間距離 l_{RL} および CL 関節間距離 l_{CL} を測定する。本論文では，図 4(a)に示すように，各骨端において，おおよそ等間隔となるように 5 点を選択し，各関節でこれらの点を結んだ 5ヶ所の距離を測定する。同様の測定を図 4(b)に示すように連続する 8 枚の矢状断面に対して行うことで，計 40ヶ所の測定結果を取得しこれらの平均値を l_{RL} および l_{CL} とし評価する。

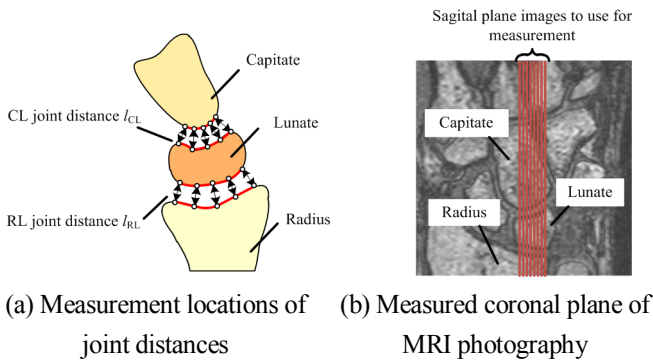


Fig. 4 Measurement of joint distances.

5. 測定結果

5・1 関節角度の測定結果

被験者 10 名の，屈曲角度 0，40，-40 deg における非牽引および牽引時の各関節角度変化の平均値を図 5 に示す。また，以上の結果について統計的に評価するために，牽引による角度変化について有意確率 p を 5%として t 検定を行った結果を図 5 中に示す。

図 5(a)より RL 関節角度は牽引によって中間位では背屈方向へ約 6 deg，背屈位では背屈方向へ約 5 deg 有意に回転している。すなわち，牽引により月状骨が背屈方向に回転する。なお，RL および CL 関節角度の和が手関節の屈曲角度となるため，CL 関節角度の増減は RL 関節と逆の傾向を示す。

また，図 5(b)より，非牽引状態の CS 角度の肢位による差は，掌屈位と中間位とでは約 13 deg であるのに対し，中間位と背屈位とでは約 1 deg と非常に小さい。すなわち，背屈域では有頭骨に対する舟状骨の相対運動は微小であり，舟状骨は遠位列手根骨に近い運動を示す。さらに牽引時は，掌屈位と中間位の差が約 5.3 deg，中間位と背屈位の差が約 0.8 deg となることから，牽引を加えることで，遠位列手根骨に対する舟状骨の相対運動はさらに抑制される。

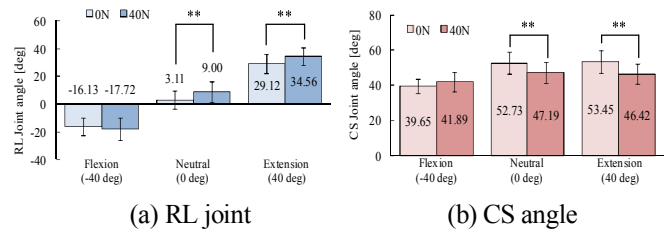


Fig. 5 Joint angle displacements with traction force: 0, 40 N [$**p < 0.05$]

5・2 骨間距離の測定結果

被験者 10 名に対して 4・2 に示す方法により測定した，RL 関節を構成する橈骨-月状骨間距離 l_{RL} および CL 関節を構成する有頭骨-月状骨間距離 l_{CL} の平均値を図 6(a) および (b) に示す。また，牽引による骨間距離の変化量に関し，有意確率 p を 5%として t 検定を行い，結果を同図中に示した。

図 6(a)より l_{RL} は牽引により中間位で 0.11 mm，背屈位で 0.08 mm の有意な増加がみられ，掌屈位では有意差はみられない。また， l_{CL} は牽引により中間位で 0.16 mm，背屈位で 0.25 mm，有意な増加がみられ，掌屈位では有意差はみられない。また，図 6(b)よりいずれの肢位においても牽引による関節間距離の増加量は CL 関節の方が大きい。

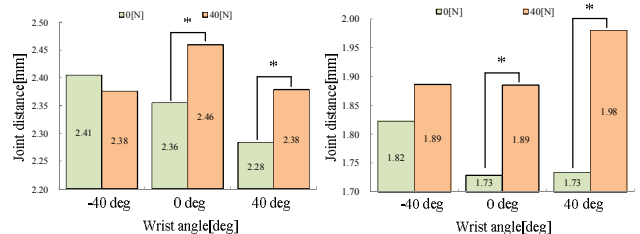


Fig. 6 Change in joint distances with traction force: 0, 40 N [$*p < 0.05$]

6. 考 察

5・1 より，RL 関節角度，CL 関節角度および CS 角度のいずれも牽引を加えることで各肢位における角度が変化する場合があることを確認した。また，5・2 より，従来の報告⁽⁶⁾と同様，牽引によって RL 関節および CL 関節を構成する骨間が開大し，特に CL 関節において顕著であることを確認した。以上の結果において優位差が確認されたのはいずれも中間位および背屈位であることから，

月状骨および舟状骨の角度変化に CL 関節の骨間の開大が関係している可能性が推測される。

そこで、肢位ごとの l_{CL} 変化量と各角度変化量との相関係数を算出した。RL 関節角度変化量との相関係数は、掌屈位で 0.10、中間位で -0.1 と弱い相関を示したが、背屈位では 0.66 のやや強い相関を示した。CS 角度変化量との相関係数は、掌屈位で -0.08、中間位で -0.32 と弱い相関を示したが、背屈位では -0.93 と強い相関が確認された。

ここで、手関節靭帯に着目すると、舟状骨は遠位列手根骨と直接靭帯で接続されているのに対し、月状骨は接続されていない。また、月状骨-舟状骨間には呼ばれる強固な内在靭帯が存在し、同骨間の安定にもっとも寄与しているといわれている⁹⁾。前述の結果を考慮すると、手関節に対する牽引は、主に背屈時において効果があり、CL 関節が開大することで舟状骨が回転し、この影響で月状骨の背屈効果が得られると考察できる。しかし、中間位では各相関が小さいことから他の要因が寄与している可能性も考えられる。

7. 結 言

- (1) MRI 撮影環境下において牽引力および屈曲角度が保持可能な手関節牽引装置を製作し、MRI 撮影実験を実施した。
- (2) 手関節が中間位および背屈位である状態では、橈骨手根関節の動きを代表する月状骨が牽引により背屈方向へ回転し、また、背屈側への最終的な到達角度も増加する。また、舟状骨は、近位列手根骨の一つであるが、他動掌背屈運動において遠位列手根骨と同様な運動傾向を示す。
- (3) 骨間距離の測定より、中間位および背屈位において牽引により橈骨手根関節および手根中央関節を構成する骨間に開大が生じ、掌屈位では開大しないこと、また、橈骨手根関節より手根中央関節の方が開大しやすいことを確認した。また、月状骨および舟状骨の角度変化量と手根中央関節の開大量には相関がみられることを示した。

参考文献

- (1) 有野浩司, 根元孝一, 手関節・手ーリハビリテーションの現場で役立つバイオメカニクスー, *Journal of Clinical Rehabilitation*, Vol.14, No.10(2005), pp. 958–961.
- (2) 梶迫正明, 真田茂, 池田和夫, 林則夫, 手関節側面 X 線動画像の解析ー掌背屈運動における関節動態ー, *通学技報 M12003-51*(2003), pp.29–34.
- (3) 野中信宏, 田崎和幸, 山田玄太, 坂本竜弥, 油井栄樹, 貝田英二, 宮崎洋一, 杉野美里, 大川尊規, 橈骨遠位端骨折例に対する手関節可動域早期獲得への徒手的他動掌背屈運動, *日本ハンドセラピィ学会誌*, Vol.3(2010), pp.27–36.
- (4) 多田薫, 土屋弘行, 川嶋広貴, 堀江翔, 西村誠次, 真田茂, 手関節の牽引が橈骨手根関節と手根中央関節の運動に与える影響について, *日本手外科学会誌*, Vol.30, No.3(2013), pp. 282–286.
- (5) 立矢宏, 田中啓道, 池上弘樹, 土田博貴, 真田茂, 西村誠次, 多田薫, 川嶋広貴, 堀江翔, 手根骨動態解析による関節拘縮改善リハビリテーション効果の検証, *日本機械学会論文集*, 81-824 号(2015-4)
- (6) Guntern, D., Becce, F., Richarm, D., Palhais, N., Meuli, R. and Theumann N., Direct magnetic resonance arthrography of the wrist with axial traction: A feasibility study to assess joint cartilage, *Journal of Magnetic Response Imaging* Vol. 34 (2011), pp. 239–244.
- (7) Leventhal, E., Moore, D., Akelman, E., Wolf, S. and Crisco, J., Conformational changes in the carpus during finger trap distraction, *The Journal of Hand Surgery*, Vol.35, Issue 2(2010), pp.237–244.
- (8) 今村宏太郎, Cineradiography による手関節運動の解析, *日整会誌*, Vol.61, No.5 (1987), pp.45-56.
- (9) Colin Woon, *Wrist Ligaments & Biomechanics* (2004), *Wrist Ligaments & Biomechanics - Hand - Orthobullets.com*
Available from
<<http://www.orthobullets.com/hand/6005/wrist-ligaments-and-biomechanics>>, (参照日 2015 年 1 月 15 日)