

# 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

著者	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
雑誌名	日本機械学会論文集 = Transactions of the JSME
巻	81
号	824
ページ	14-00543
発行年	2015-04-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/42979">http://hdl.handle.net/2297/42979</a>

doi: 10.1299/transjsme.14-00543

# 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

立矢 宏<sup>\*1</sup>, 田中 啓道<sup>\*2</sup>, 池上 弘樹<sup>\*2</sup>, 土田 博貴<sup>\*2</sup>, 真田 茂<sup>\*3</sup>  
西村 誠次<sup>\*3</sup>, 多田 薫<sup>\*4</sup>, 川嶋 広貴<sup>\*4</sup>, 堀江 翔<sup>\*4</sup>

## Verification of the rehabilitation effect for wrist contracture by dynamic analysis of carpals

Hiroshi TACHIYA<sup>\*1</sup>, Hiromichi TANAKA<sup>\*2</sup>, Hiroki Ikegami<sup>\*2</sup>, Hiroki TSUCHIDA<sup>\*2</sup>,  
Shigeru SANADA<sup>\*3</sup>, Seiji NISHIMURA<sup>\*3</sup>, Kaoru TADA<sup>\*4</sup>, Hiroki KAWASHIMA<sup>\*4</sup> and Sho HORIE<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Faculty of Mechanical Engineering  
Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa 920-1192, Japan

<sup>\*2</sup> Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University  
Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa 920-1192, Japan

<sup>\*3</sup> Kanazawa University, Institute of Medical, Pharmaceutical and Health Sciences, Faculty of Health Sciences  
5-11-80 Kodatsuno, Kanazawa-shi, Ishikawa 920-0492, Japan

<sup>\*4</sup> Kanazawa University Hospital  
13-1 Takara-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa 920-8641, Japan

### Abstract

Distal radius bone fracture is major disease for elderly people. As its cure needs fixing the wrist for long time, the wrist often stiffens up and the range of its motion tends to be restricted, which is generally called “contracture”. As the contracture interferes with their daily life, the speedy improvement of the contracture are strongly required. Thus, the rehabilitation of the wrist joint is necessary. Recently, the traction of the maniphalanx during flexing and extending the wrist joint is considered to be efficient as the rehabilitation procedure. However, the recovering mechanism by the traction is not clear. The investigation of its mechanism will improve the rehabilitation procedure and be available for development of rehabilitation equipment. However adjusting the magnitude and direction of the traction force to the maniphalanx applied manually during such rehabilitation procedure is almost impossible. Thus, we developed a rehabilitation equipment for the investigation. The equipment mainly consists of a wrist traction device and a round-rail base. The wrist traction device can pull maniphalanx toward finger direction by constant weights, and slide roundly. Thus, the equipment can applied the constant traction force to the wrist during flexing and extending the wrist joint. By the equipment, the dynamic motion of carpals in the wrist is observed by X-ray photography. As a result, it is found that the displacement range of radius - lunate joint (R-L joint) is extended by the traction. Namely, if R-L joint suffers contracture highly, the discussed rehabilitation procedure well moves R-L joint and can improve its movability.

**Key words** : Rehabilitation, Carpal, Wrist, Contracture, Joint, Rehabilitation equipment

## 1. 緒 言

関節付近を骨折し、治療後に患部を長期間に渡って保護固定すると、患部周辺の筋肉や皮膚、靭帯などの軟部

\* 論文 No.14-00543 [DOI: 10.1299/transjsme.14-00543]

\*1 正員, 金沢大学理工研究域 機械工学系(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

\*2 金沢大学大学院 自然科学研究科

\*3 金沢大学 医薬保健研究域(〒920-0942 石川県金沢市小立野 5-11-80)

\*4 金沢大学附属病院(〒920-8641 石川県金沢市宝町 13-1)

E-mail of corresponding author: tachiya@se.kanazawa-u.ac.jp

組織が硬直することが多い。これにより、関節の可動範囲が制限され正常な回動運動が妨げられてしまう。このような現象を拘縮と呼ぶ(室田, 1992)。

手関節に拘縮が生じると、手を掌側および背側に屈曲させる掌背屈運動の可動範囲が減少し、日常における様々な動作に支障をきたす。前腕に存在する橈骨が手関節側で骨折する橈骨遠位端骨折は、高齢者の4大骨折の一つ(小林, 1996)とされており、転倒時に手をつくなど些細なことで生じる。手関節付近の骨折はこのように発生率が高いうえに日常生活への影響が大きい。そのため、手関節の拘縮を疾患治療後のリハビリテーションにより早期に改善させることが望まれる(野中他, 2010)(有野, 根元, 2005)(粕淵他, 2013)。

手関節の運動は、主に橈骨手根関節と手根中央関節の運動の和として生ずる(有野, 根元, 2005)。これら2つの関節それぞれの手関節全体の動きに対する運動の割合である寄与率には特徴的な傾向が存在し(有野, 根元, 2005)(今村, 1987)、リハビリテーションでは各関節の拘縮を改善して、寄与率を正常にすることが重要である(梶迫他, 2003)。しかし、単純に手関節をリハビリテーションで運動させるだけでは、いずれかの関節のみが主に運動させられることがあり、効率的な治療が行えないとともに、症例によっては罹患している関節に負担を与えてしまう。よって、リハビリテーションでは、症例に応じて各関節を効率的に運動させるように計画することが望まれる(梶迫他, 2003)(Werner, et al., 2004)。例えば、手根中央関節を効果的に他動運動させるリハビリテーションとして、ダーツを投じるように手関節を橈背屈から掌尺屈へ運動させる、ダーツスロー運動の応用が検討されている(Werner, et al., 2004)(粕淵他, 2013)。同運動によれば、患部が橈骨手根関節付近である場合、同関節に負担をかけずに、早期から手根中央関節のリハビリテーションを行うなどが可能となる。

同じく手関節の拘縮を効果的に改善するリハビリテーションとして、徒手的に手首を手先方向へ牽引した状態で他動的に掌背屈運動を施術する徒手的な手関節他動掌背屈運動が注目され(野中他, 2010)(多田他, 2013)、実際に手関節の可動域を早期に回復させる効果が確認されている(野中他, 2010)。

このような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の牽引による距離の変化が測定されている(野中他, 2010)(Guntern, et al., 2011)(Leventhal, et al., 2010)。野中らは牽引により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が、詳細は明らかにされていない(野中他, 2010)。

牽引による手関節の拘縮改善効果を検討するためには、手関節骨間の距離だけでなく、牽引下における各関節の運動を明らかにする必要がある。しかし、牽引した状態における手関節の動態を測定し、その運動を考察した例はきわめて少ない。Ishikawaらは屍体を用いた実験により、牽引が手関節の掌背屈運動に与える影響について調査し、牽引を加えた場合、手関節骨部は非牽引時とは異なる挙動を示すことを確認した(Ishikawa, et al., 1999)。しかし、生体では異なる挙動を示すことが十分予想される。そこで、著者らの中の複数名によって、生体を対象に療法士の徒手により手首を牽引した状態での掌背屈運動における手関節骨部の動態を測定し、牽引によって橈骨手根関節を効果的に運動させられる可能性を確認した(多田他, 2013)。牽引しながらの掌背屈運動が、橈骨手根関節を効果的に運動させるのであれば、同運動は橈骨手根関節の拘縮が手根中央関節より深刻である場合などに対する効果的なリハビリテーションとなる。しかし、以上の測定では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たため、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った。そのため、同施術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(多田他, 2013)。

そこで本論文では、牽引力および牽引方向を調整した徒手的な手関節他動掌背屈運動が実施可能な装置を製作する。同装置を用いて以上のリハビリテーションを行い、そのときの手関節の運動をX線動画像として撮影する。得られたX線動画像を用いて手関節を構成する手根骨の動態解析を行うことで、本リハビリテーションによる効果を明らかにする。同時に、リハビリテーションに適した牽引力などの条件を検討する。

なお、本論文で実施する測定に関しては金沢大学医学倫理委員会から2012年9月19日に承認を得ている。

## 2. 他動掌背屈運動による手関節拘縮改善リハビリテーション

### 2・1 手関節の構造と運動

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。手根骨は手先側また

は前腕側によって2種類に分類され、手先側の1:大菱形骨(Trapezium), 2:小菱形骨(Trapezoid), 3:有頭骨(Capitate)および4:有鈎骨(Hamate)の4つを遠位列手根骨, 前腕側の5:舟状骨(Scaphoid), 6:月状骨(Lunate), 7:三角骨(Triquetrum)および8:豆状骨(Pisiform)の4つを近位列手根骨と呼ぶ。

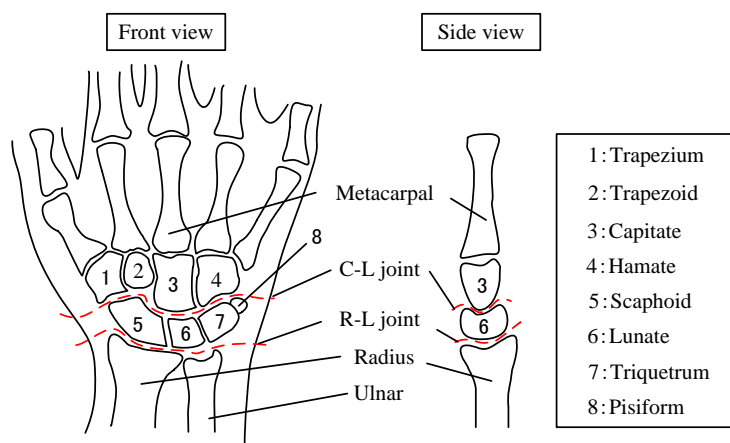


Fig. 1 Structure of wrist

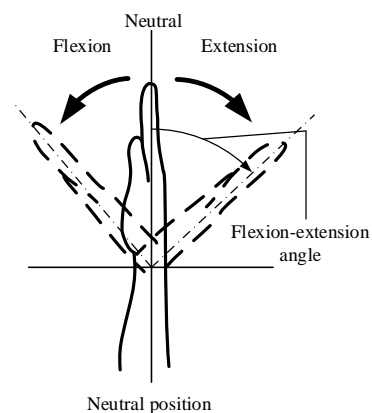


Fig. 2 Flexion and extension of wrist

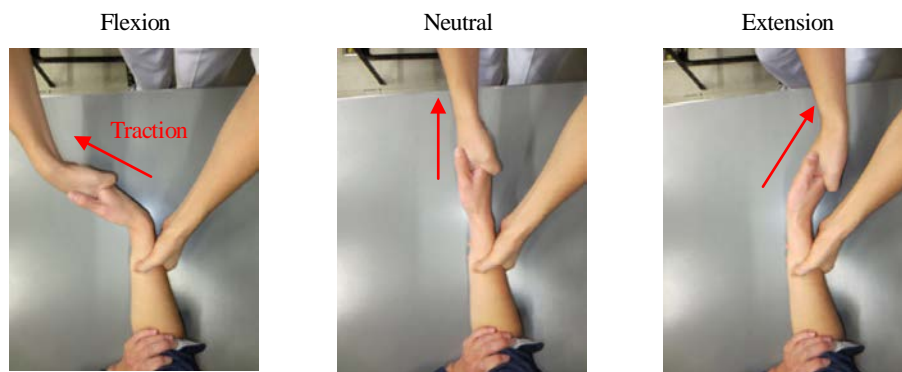


Fig. 3 Rehabilitation for wrist contracture. A therapist gives flexion and extension of the wrist joint with pulling the maniphalanx toward finger direction.

手関節には、橈骨・尺骨と近位列手根骨との間の橈骨手根関節(R-L 関節), 近位列手根骨と遠位列手根骨との間の手根中央関節(C-L 関節), 遠位列手根骨と中手骨との間の手根中手関節が存在する。手関節を側面から見た場合、橈骨と6:月状骨がなす関節が R-L 関節, 6:月状骨と3:有頭骨がなす関節が C-L 関節, 有頭骨と中手骨がなす関節が手根中手関節に相当する。このうち、手根中手関節には可動性がないと報告されており(梶迫他, 2003), 手関節の掌背屈運動は R-L 関節および C-L 関節, すなわち、手根骨の運動でなされている(有野, 根元, 2005)。したがって、骨折後のリハビリテーションでは、R-L 関節および C-L 関節の拘縮改善が目的となる。

## 2・2 徒手の手関節他動掌背屈運動の概要

手関節の拘縮を防ぐリハビリテーションとしては図 2 に示すように手関節を連続的に掌屈(Flexion), 中間位(Neutral), 背屈(Extension)と他動運動を施すことが一般的である。なお、本論文では掌背屈運動時の手首の屈曲角度を図 2 に示すように定義し、中間位を 0 deg として背屈側を正とする。リハビリテーション時には、前節で述べた2つの関節を効果的に動かすことが目的となる。健常者が掌背屈運動を行う場合、手関節全体の屈曲角変位に対する R-L 関節および C-L 関節それぞれの屈曲角変位の割合(以後、寄与率と記す)には個人差はあるが、一定の傾向があり、掌屈時には C-L 関節の寄与率が高く、背屈時には R-L 関節の寄与率が高くなると報告されている(梶迫他, 2003)。ただし、疾患の状態により、一方の関節に強く拘縮が生じることがある。その場合、他動掌背屈運動によって拘縮が生じやすい関節をより動かすことが骨折後の早期回復につながる。先述のように、C-L 関

節を効果的に他動運動させるリハビリテーションとしては、ダーツスロー運動の応用が検討されている(Werner, et al., 2004) (粕淵他, 2013).

今回対象とする徒手の手関節他動掌背屈運動は、図3に示すように療法士が、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ことで(野中他, 2010) (多田他, 2013), R-L 関節の寄与率を増加させることを期待している(多田他, 2013). これにより、疾患に応じた施術方法選択の根拠を示し得ると考えている.

### 3. X線撮影用リハビリテーション装置

本論文では、牽引力を一定に保ちながら再現性の高い掌背屈運動を被験者に施して、他動掌背屈運動時の手根骨の挙動をX線撮影し、R-L 関節の寄与率の変化を確認するとともに、牽引力の影響を明らかにする. そこで、対象者の指先や手首、前腕が脱力した状態で、その手先を一定の力および方向に牽引しながら掌背屈運動を与えることが可能な図4に示す装置を製作した. 同装置は、主に前腕固定部、円弧運動ガイド、手先牽引部および錘積載台から構成される. 手先牽引部および錘積載台は円弧運動ガイド上に設置されている. 図5に概略を示すように、前腕固定部で前腕を保持し、手先牽引部に設けた固定具で手先を保持する. 手先固定具はワイヤを介して錘台に繋がれており、錘の積載により、一定の静荷重で手関節を牽引する. この状態で、手先牽引部および錘積載台を円弧運動ガイドで滑走させることで、手関節を牽引しながらの他動掌背屈運動を行う.

装置の主な仕様として、牽引力0~100Nの範囲において5N間隔での調整が可能であり、手関節の屈曲角度約-85~85 degの範囲で掌背屈運動が可能である. なお、X線撮影時にX線の照射光および透過光を遮断しないよう、本装置は照射部位である手関節周辺のスペースを空けた中空半円形状となっている. 撮影時にはこの中空部分にX線検出装置を配置する.

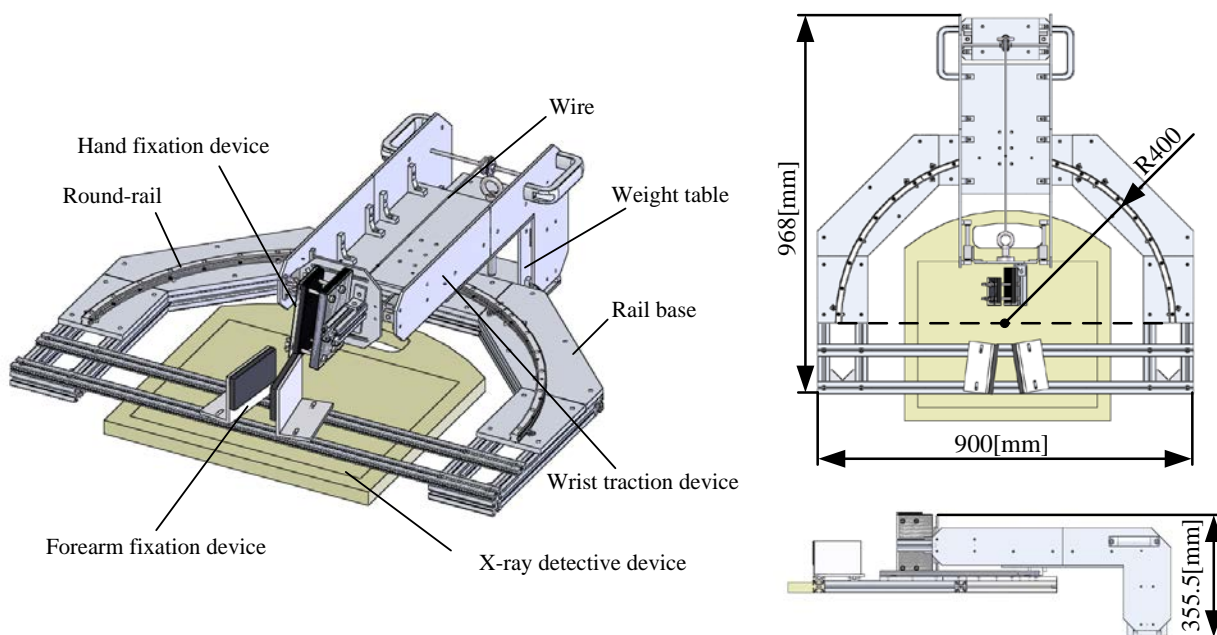


Fig. 4 Rehabilitation equipment for X-ray photography. Hand is fixed by the hand fixation device and is pulled by constant weight through wire. The hand fixation device swings along the rail base to give the flexion and extension motion of the wrist.

## 4. X線撮影用リハビリテーション装置による実験および手根骨動態解析の方法

### 4・1 実験方法

実際の施術に近い条件での各関節の寄与率の変化を検証するため、療法士にリハビリテーション時を想定してばねばかりを引張してもらい測定した値を参考に、牽引力を25Nとして3章で製作した装置による実験を行った. また、比較対象とする非牽引状態での結果を得るため、牽引力を0Nとした実験を同様に行った. 実験の様子を

図5に示す。被験者は手関節に疾患のない健常な男性20名(20~30歳代, 平均年齢27.0歳, 標準偏差4.1歳)を対象とし, 手関節を非牽引または牽引状態にしながら掌背屈運動を行い, その際の手根骨の運動をX線動画像として撮影した。掌背屈運動は, 中間位の姿勢を開始とし, 背屈, 掌屈の順番で屈曲角度 $\pm 60$  degの範囲で1往復させた。なお, 1往復の時間は約20 secとした。

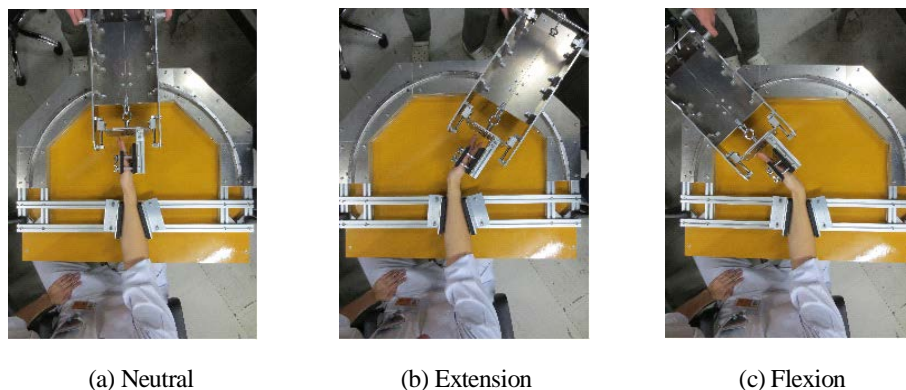


Fig. 5 Rehabilitation experiment by the rehabilitation equipment for X-ray photography. Hand is fixed by the hand fixation device and is pulled by constant weight through wire. The hand fixation device swings along the rail base to give the flexion and extension motion of the wrist.

X線撮影は, X線発生装置としてTOSHIBA ROTANODEを, X線検出装置としてCanon CXDI-50RFを使用した。X線検出装置は動画像対応FPD(Flat Panel Detector)が搭載されており, 静止画像だけでなく動画像も撮影可能である。X線動画像の撮影条件は管電圧48 kV, 管電流0.4 mAs, 撮影距離1 m, 動画像は12 bit グレースケールで出力し, マトリックスサイズは1024 $\times$ 1024 pixels, ピクセルサイズは0.16 mmとした。撮影時間は20 sec, 撮影レートは2 frame/secとし, 合計40枚の画像からなるX線動画像を取得した。

#### 4・2 関節角度の測定方法

X線動画像は医用画像DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine)形式で取得し, 医用画像処理ソフトImage Jにより動態解析を行う。図6に例を示すように, 得られた手関節付近のX線動画像において, 橈骨, 月状骨および中手骨の動態に着目する。月状骨は近位列手根骨に分類されるため, 月状骨と橈骨の相対的な角度変化は2・1節で述べたR-L関節の角度変化を示し, また, 有頭骨は遠位列手根骨に分類されるため, 有頭骨と月状骨の相対的な角度変化は同様にC-L関節の角度変化を示す。ただし, 先述のとおり, 有頭骨と中手骨の間の手根中手関節には可動性がないため, 中手骨と月状骨の相対的な角度変化はC-L関節の角度変化に相当する。

そこで, 中手骨の右側側面に接する線分 $l-l'$ , 月状骨の尖部を結んだ線の垂線 $m-m'$ , 橈骨の右側側面に接する線分 $n-n'$ を設定し, 図7に示すように $l-l'$ と $n-n'$ のなす角を手首全体の屈曲角度とし,  $n-n'$ と $m-m'$ のなす角をR-L関節角度,  $m-m'$ と $l-l'$ のなす角をC-L関節角度とし画像解析によって測定する(多田他, 2013)(今村, 1987)。



Fig. 6 X-ray photograph

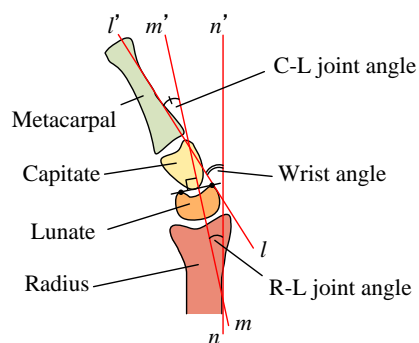


Fig. 7 Measurement of each joint angle



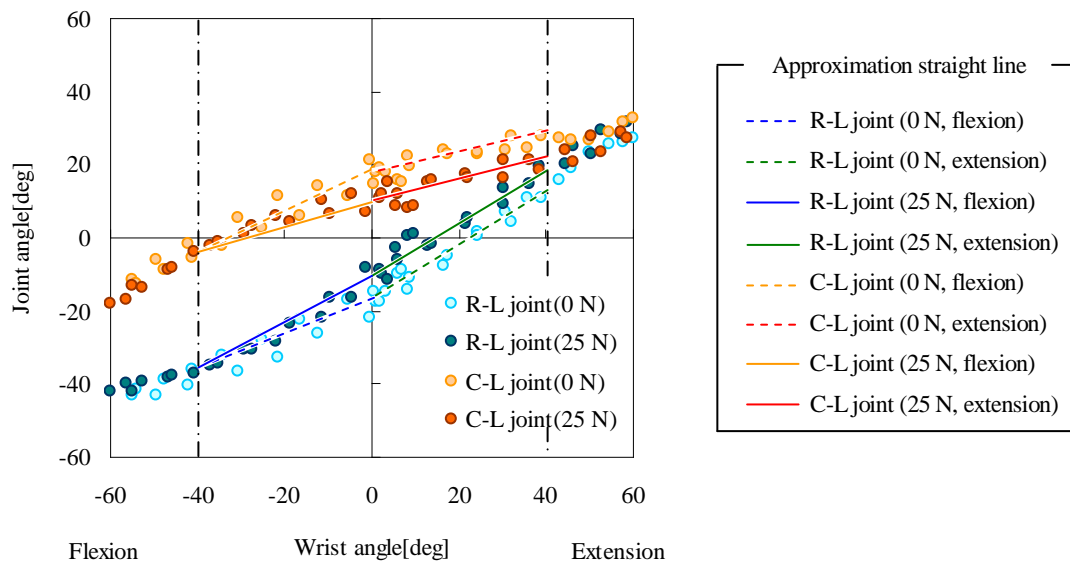


Fig. 8 Changes in joint angles with traction force: 0 and 25 N. The gradient of the linear approximated equation of the measured results is equal to the contribution ratio of each joint angle. In the range of the flexion, the contribution ratio of R-L joint angle increases.

### 4・3 寄与率の算出方法

X線動画画像から得られた手首全体の屈曲角度変化に対するR-L関節およびC-L関節の屈曲角度変化の例として、被験者1名(23歳)の非牽引状態および牽引状態の測定結果を図8に示す。なお、横軸は手首全体の屈曲角度であり、縦軸はR-L関節角度およびC-L関節角度の値を示す。各関節角度の定義は図2および7に示したとおりであり、0 degから背屈方向への角度変化を正として表している。

対象とするリハビリテーションの効果は、手首全体の屈曲に対する関節角度の変化割合である寄与率(梶迫他, 2003)で評価される。なお、実際のリハビリテーションでは、過度な負荷を患者に与えないように、手首屈曲角度を-40~40 degの範囲として他動運動を施すことが多い。そこで、本論文では測定を行った-60~60 degの範囲から-40~40 degの範囲を抽出して解析を行った。さらに、横軸の手首屈曲角度で表す-40~0 degの範囲を掌屈、0~40 degの範囲を背屈とし、それぞれの範囲で寄与率を算出した。寄与率の算出は図8に示すように各関節角度の測定値を、掌屈および背屈の範囲で最小二乗法により線形近似し、得られた近似式の傾きとして求めた。近似直線の傾きは手首全体の屈曲角度1 deg当たりのR-L関節およびC-L関節それぞれの屈曲角度の平均を示すことになり、手首全体の運動に対する各関節の寄与率の平均値に相当する。

## 5. 実験結果および牽引効果に関する考察

被験者20名に対する測定より、4章の方法で得られた掌背屈全範囲、掌屈時および背屈時の寄与率の平均値を図9(a), (b)および(c)にそれぞれ示す。本論文ではエラーバーで標準偏差を示す。また、手首屈曲角度が-40~40 degの範囲、掌屈に相当する-40~0 degの範囲、背屈に相当する0~40 degの範囲でのR-LおよびC-L関節の実際の角度変化量をそれぞれ表1に示す。

牽引によるR-LおよびC-L関節角度の寄与率の変化に関して有意確率 $p$ を5%としてt検定を行った。その結果を図9中に示す。まず、非牽引状態では従来の報告のとおり(梶迫他, 2003)、掌屈時にC-L関節の寄与率が高く、背屈時はR-L関節の寄与率が高い。牽引を加えることで、図9(b)に示すようにR-L関節の寄与率は約10%増加し有意な差が生じている。また、図9(a)に示すように全体的にもR-L関節の寄与率は増加している。ただし、図9(c)に示すように、背屈時では非牽引においてもR-L関節の寄与率は高く、牽引による有意な増加はみられない。

表 1 より, R-L および C-L 関節の角度変化量に関して, R-L 関節は牽引により掌屈において平均で 5 deg 程度角度変化量が増加し, 背屈では変化は少ない. 40 deg の掌屈に対する 5 deg の増加は臨床的には有効であり, また, 個人によって 10 deg を超える効果が期待できることから, 牽引しながらの徒手の手関節他動掌背屈運動は, R-L 関節の拘縮改善のためのリハビリテーションとして有効である. また, 牽引は掌背屈運動全体ではなく, 特に掌屈時において効果が顕著であり背屈時は少ない. したがって, 背屈時には牽引を行わず, 患者および療法士の負担軽減を図ることも, 有効な施術方法として考えられる.

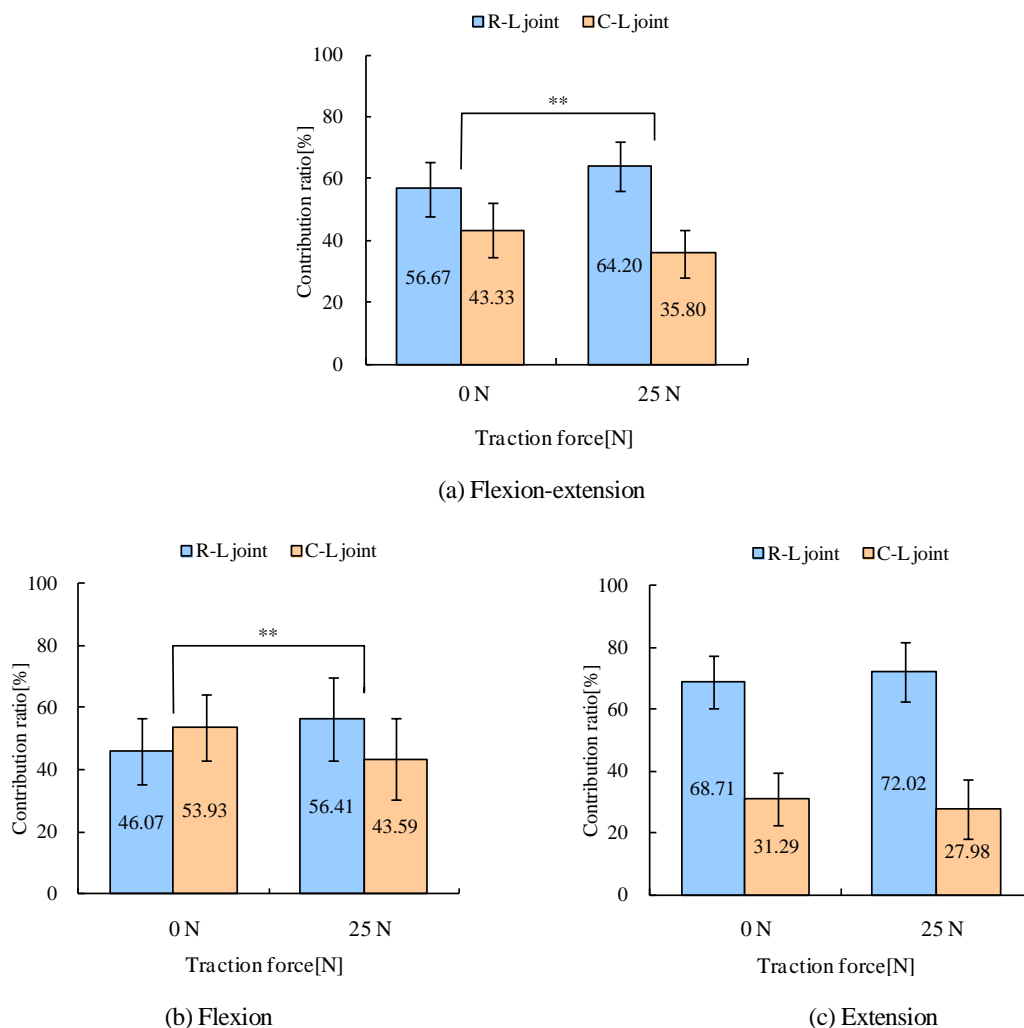


Fig. 9 Contribution ratio of each joint with traction force: 0, 25 N [ $**p < 0.01$ ,  $*p < 0.05$ ]. The results were obtained from 20 subjects and evaluated by t-test. It was found that the contribution ratio of R-L joint increases significantly especially in the range of flexion by the traction of the wrist.

Table 1 Joint angle displacements [degree] at traction and non-traction: each cell shows mean value (standard deviation).

	Wrist angle (-40°~40°)		Flexion (-40°~0°)		Extension (0°~40°)	
	R-L joint	C-L joint	R-L joint	C-L joint	R-L joint	C-L joint
0N	45.4(6.3)	34.6(6.3)	17.5(6.1)	22.5(6.1)	27.9(3.7)	12.1(3.7)
25N	50.6(5.8)	29.4(5.8)	22.5(5.5)	17.5(5.5)	28.0(4.3)	12.0(4.3)
Variation	5.17(8.6)	-5.17 (8.6)	5.00 (8.2)	-5.00 (8.2)	0.17 (5.7)	-0.17 (5.7)



## 6. 牽引力の大きさの影響に関する測定および考察

### 6・1 複数の牽引力に対する関節角度および寄与率の測定

5章において、徒手的手関節他動掌背屈運動における牽引の効果を確認した。しかし、実験条件とした牽引力の大きさは、療法士によるリハビリテーションを想定したばねの牽引から決定した値であり、必ずしも適切な値とは限らない。また、著者らは図4の装置を将来的に実際のリハビリテーションに応用することも視野にいれている。同装置を用いれば、療法士では困難な、より大きな牽引力での徒手的手関節他動掌背屈運動も可能になり得る。

そこで、手首屈曲角に対する各関節の寄与率に牽引力が及ぼす影響を検討するため、手首に疾患のない健常な男性8名(20~60代, 平均年齢36.2歳, 標準偏差13.9歳)を対象とし、牽引力を0, 30および50 Nの3通りに変化させ4章と同様に実験を行った。測定例として、被験者1名(28歳)を対象とした牽引力0, 30および50 Nの時の、手首全体の屈曲角度変化に対する各関節の屈曲角度変化を図10に示す。各被験者に対して同様に得られた結果から、先述のようにX線画像の動態解析によって各牽引力におけるR-L関節およびC-L関節の角度変化を求めるとともに、R-L関節およびC-L関節の寄与率を最小二乗法による測定値の線形近似結果から算出した。

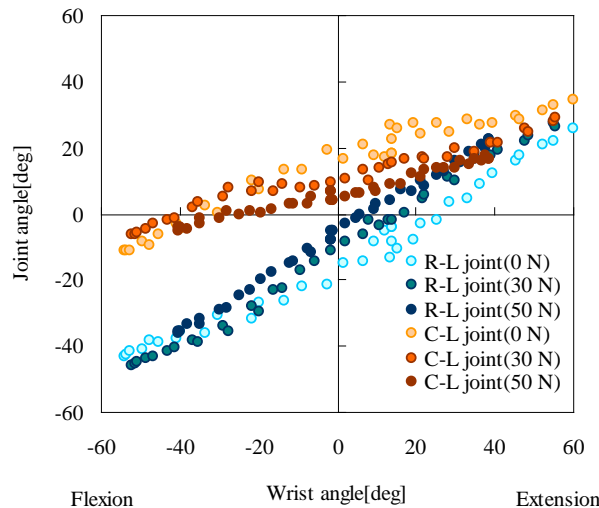


Fig. 10 Changes in joint angles with traction force: 0, 30 and 50 N. The differences between the results with traction force of 30 N and those of 50 N are relatively small compared with the results of 0 N.

### 6・2 測定結果および考察

被験者8名に対して得られた、掌背屈全範囲、掌屈時および背屈時の寄与率の平均値と標準偏差を図11(a), (b)および(c)に示す。さらに、手首屈曲角度が-40~40 degの範囲、掌屈に相当する-40~0 degの範囲、背屈に相当する0~40 degの範囲でのR-LおよびC-L関節の実際の角度変化量を表2にそれぞれ示す。

以上の結果より、牽引力の大きさが各関節の寄与率に及ぼす影響を考察する。図11より、牽引力を0 Nから30 Nに増加させることでR-L関節の寄与率が掌背屈全体で約8%増加し、また、特に掌屈時での増加傾向が顕著であり、5章と類似した傾向が得られ再現性が確認された。しかし、牽引力が30 Nと50 Nの場合の結果を比較すると、力の増加に対してR-L関節の寄与率の増加は掌背屈全体で約3%と小さい。特に、掌屈時におけるR-L関節の寄与率の変化は、牽引力が0 Nから30 Nに増加した場合、約14%上昇することに対し、牽引力が30 Nから50 Nに増加した場合は、約4%の上昇と低い。

これらの結果を統計的に確認するため、牽引力に対するR-L関節角度の寄与率の増加の有意差を判定するため有意確率 $p$ を5%として分散分析を行った。その結果、図11(a), (b)に示すとおり、掌背屈時、掌屈時のみでは荷重に対するR-L関節角度の寄与率の増加の有意差が確認されたが、図11(c)に示す背屈時では確認されなかった。さらに、掌背屈時、掌屈時において、各牽引力間でのR-L関節角度の寄与率の増加の有意差をTukeyのHSD法(出

村, 2007)による多重比較検定を行ったところ, 牽引力が 30 N から 50 N への増加に対しては R-L 関節角度の寄与率の増加の有意差は確認されなかった.

表 2 から, 30 N の牽引に対しては 5 章で示した 25 N の牽引の場合と同様に, 掌屈時における R-L 関節の角度変化量は 5 deg 程度増加し, 背屈時における同関節の角度変化量の変化は少ないことが確認される. さらに, 50 N の牽引に対しては, 30 N の牽引時の結果に比べて, 掌屈時は数度程度の増加となっており, 背屈時は若干ではあるが減少することがわかる. したがって, 牽引力をある値以上増加させても R-L 関節の寄与率の増大は必ずしも期待できない.

以上の結果より, R-L 関節を効果的に運動させるための徒手の手関節他動掌背屈運動において過大な牽引力は必要ないことがわかった. 患者および療法士の負担の観点からも過度な牽引力は好ましくなく, 適切な牽引力でリハビリテーションを行うことが望まれる. 本実験で得られた結果の範囲では, 適切な牽引力は 25~30 N であった. ただし, 今回は被験者の条件が限られていたため, この値に関しては, 年齢層, 性別などを考慮して, 被験者を増やし, さらに, 検討していく必要がある.

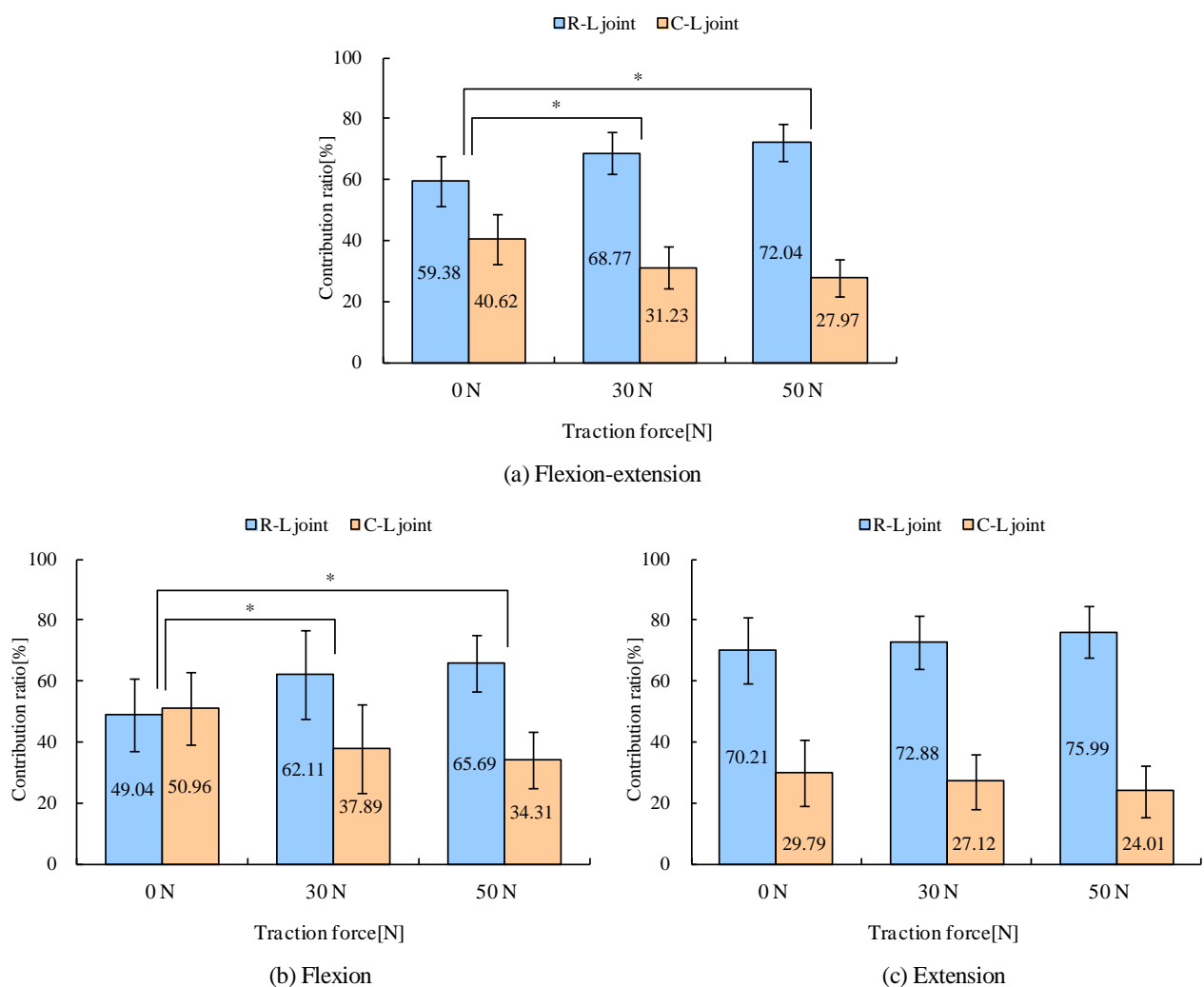


Fig. 11 Contribution ratio of each joint in the experiment (traction force: 0, 30, 50 N) [ $**p < 0.01$ ,  $*p < 0.05$ ]. The data were obtained from 8 subjects and evaluated by t-test. The results denote larger traction force is not always effective for the rehabilitation of wrist.

Table 2 Joint angle displacements [degree] with the traction force: each cell shows mean value (standard deviation).

	Wrist angle (-40°~40°)		Flexion (-40°~0°)		Extension (0°~40°)	
	R-L joint	C-L joint	R-L joint	C-L joint	R-L joint	C-L joint
0N	48.3 (7.6)	31.7 (7.6)	19.5 (4.0)	20.5 (4.0)	28.2 (3.7)	11.8 (3.7)
30N	54.2 (5.4)	25.8 (5.4)	23.7 (5.3)	16.3 (5.3)	30.5 (2.8)	9.5 (2.8)
50N	52.8 (7.2)	27.2 (7.2)	24.7 (4.9)	15.3 (4.9)	27.5 (5.0)	12.5 (5.0)

## 7. 結言

本論文では X 線撮影環境下において、手関節を手先方向へ牽引しながら他動掌背屈運動が実施可能な装置を製作した。同装置を用いたリハビリテーション実験の結果より、牽引によって掌背屈運動中における R-L 関節の運動量が増加することが判明した。また、リハビリテーション効果は牽引力の増加にともなって比例的に増加するわけではなく、ある一定以上の牽引力では効果が飽和する可能性を示した。これらの結果を踏まえ、本論文で実施した実験において適切な牽引力は 25~30 N の範囲であることを推定した。

今後は実際に以上の結果に基づいた臨床試験を行うとともに、本論文で用いた装置を療法士の補助として使用可能なリハビリテーション機器として応用することを検討していく。

## 謝 辞

本装置の開発に、ご尽力いただいた金沢大学理工研究域技術職員 吉田博一氏に深く感謝いたします。

## 文 献

- 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.
- 出村慎一, 例解 健康・スポーツ科学のための統計学 改訂版 第2版 (2007), p.271, 大修館書店.
- Guntern, D., Becce, F., Richarm, D., Palthais, 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 Resonance Imaging* Vol. 34 (2011), pp. 239–244.
- 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.
- Ishikawa, J., Cooney, W., Niebur, G., An, K., Minami, A. and Kaneda, K., The effects of wrist distraction on carpal kinematics, *The Journal of Hand Surgery*, Vol.24, Issue 1(1999), pp.113–120.
- 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.
- 粕淵賢志, 福本貴彦, 土肥義告, 藤田浩之, 今北英高, 橈骨遠位端骨折後症例のダーツスロー・モーション面 ROM と DASH スコアの関係, *理学療法学*, Vol.40, No.3 (2003), pp.169–175.
- 小林徹也, 高齢者の骨折と治療, *整形外科勉強会*(1996)  
available from <<http://www.asahi-net.or.jp/~dn4t-kbys/elderlyfracture.pdf>>, (参照日 2013 年 12 月 20 日).
- 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.
- 室田景久, 手の機能解剖, *日本リハビリテーション医学会誌*, Vol.29, No.4 (1992), pp.257–261.
- 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.
- 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.
- Werner, F. W., Green, J. K., Short, W. H. and Masaoka, S., Scaphoid and lunate motion during a wrist dart throw motion, *The Journal of Hand Surgery*, Vol.29, Issue3(2004), pp.418–422.

## References

- Arino, K. and Nemoto, K., Wrist and hand -Biomechanics for actual rehabilitations -, *Journal of Clinical Rehabilitation*, Vol.14, No. 10 (2012), pp.958–961(in Japanese).
- Demura, S., *Statistics for Health, Sports Science* (2007), p.271, Taisyukan (in Japanese).
- 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 Resonance Imaging*, Vol. 34 (2011), pp. 239–244.
- Imamura, K., Cineradiographic study of the wrist motion, *The Journal of Japanese orthopaedic surgical society*, Vol.61, No.5 (1987), pp.45-56 (in Japanese).
- Ishikawa, J., Cooney, W., Niebur, G., An, K., Minami, A. and Kaneda, K., The effects of wrist distraction on carpal kinematics, *The Journal of Hand Surgery*, Vol.24, Issue 1(1999), pp.113–120.
- Kajisako, M., Sanada, S., Ikeda, K. and Hayashi, N., Kinematic analysis of the wrist with the X-ray lateral images -Joint movement in flexion and extension-, *The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, Technical Report of IEICE M12003-51(2003)* , pp.29–34 (in Japanese).
- Kasubuchi, K., Fukumoto, T., Dohi, Y., Fujita, H. and Imagita, H., A relationship between dart-throwing motion plane rom and the dash score after distal radius fracture, *Journal of the Japanese physical therapy association*, Vol.40, No.3(2003) , pp.169–175 (in Japanese).
- Kobayashi, T., A bone fracture and treatment of the elderly people, *Study meeting of orthopedic surgery* available from < <http://www.asahi-net.or.jp/~dn4t-kbys/elderlyfracture.pdf> > , (accessed on 20 December, 2013), (1996) (in Japanese).
- 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.
- Murota, K., Function analysis of the hand, *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*, Vol.29, No.4(1992), pp.257–261 (in Japanese).
- Nonaka, N., Tasaki, K., Yamada, G., Sakamoto, R., Yui, H., Kaida, E., Miyazaki, Y., Sugino, M. and Ooi, T., Extension and flexion motions by hand to early renew the movable range of wrist in case of distal radius bone fracture, *The Journal of Japan Hand Therapy Society*, Vol.3( 2010), pp.27–36 (in Japanese).
- Tada, K., Tsuchiya, H., Kawashima, H., Horie, S., Nishimura, S. and Sanada, S., Effect of traction force of wrist angle on motion of radiocarpal joint and midcarpal joint, *The Journal of Japan Society for Surgery of the Hand*, Vol.30, No.3( 2013), pp. 282–286 (in Japanese).
- Werner, F. W., Green, J. K., Short, W. H. and Masaoka, S., Scaphoid and lunate motion during a wrist dart throw motion, *The Journal of Hand Surgery*, Vol.29, Issue3(2004), pp.418–422.