

信州大学審査学位論文

腰痛予防・改善を目的とした治療手技の
定量的解析に関する研究

2016年3月

小形 洋悦

目 次

第1章 序 論 研究の背景と研究の目的	1
1. 1 研究の背景	2
1. 1. 1 腰痛理解と治療の現状	2
1. 1. 2 腰痛治療手技についての研究の現状	3
1. 1. 3 本研究の必要性	4
1. 1. 4 感性工学としての徒手理学療法の研究	5
1. 2 研究の目的	5
1. 3 論文構成	8
文 献	9
第2章 腰椎の分節的持続的回旋の機械的効果および下肢伸展挙上・腰椎屈曲に対する効果の定量的評価	10
2. 1 研究の背景	11
2. 2 研究の目的	12
2. 3 研究の方法	12
2. 3. 1 研究デザイン	12
2. 3. 2 対 象	12
2. 3. 3 使用機器	13
2. 3. 4 研究手順	15
2. 3. 5 統計解析	17
2. 4 結 果	18
2. 4. 1 腰椎の分節的持続的回旋の信頼性	18
2. 4. 2 腰椎の分節的持続的回旋の信頼性テストで 加えられた力と方向	19
2. 4. 3 同側 SLR, 対側 SLR および腰椎屈曲の変化	20
2. 5 考 察	23

2. 6	結 論	24
	文 献	27
第 3 章	腰椎の分節的持続的回旋が下肢伸展挙上と腰椎屈曲に及ぼす効果	31
3. 1	研究の背景	32
3. 2	研究の目的	33
3. 3	研究の方法	33
3. 3. 1	研究デザイン	33
3. 3. 2	対 象	34
3. 3. 3	研究手順	34
3. 3. 3. 1	介入群の測定手順	34
3. 3. 3. 2	sham 群の測定手順	37
3. 3. 3. 3	対照群の測定手順	37
3. 3. 4	統計解析	37
3. 3. 5	LSSR の至適強度を特定するための強度設定	38
3. 4	結 果	39
3. 4. 1	右 LSSR による右 SLR の変化	39
3. 4. 2	右 LSSR による左 SLR の変化	41
3. 4. 3	右 LSSR による長座位体前屈の変化	42
3. 5	考 察	44
3. 5. 1	右 LSSR による右 SLR に対する効果	44
3. 5. 2	右 LSSR による左 SLR に対する効果	45
3. 5. 3	右 LSSR による長座位体前屈に対する効果	46
3. 5. 4	LSSR の臨床応用	47
3. 6	結 論	48
	文 献	50

第4章 椅子座位前屈位腹筋群収縮の腰椎屈曲可動域改善効果と超音波画像による効果検証	54
4.1 研究の背景	55
4.2 研究の目的	56
4.3 研究の方法	56
4.3.1 研究デザイン	56
4.3.2 対象	56
4.3.2.1 立位体前屈位での超音波画像による腰椎棘突起間距離測定 of 検者内信頼性確認の対象と方法	56
4.3.2.2 立位体前屈距離および棘突起間距離の測定	58
4.3.3 使用機器	58
4.3.4 研究手順	59
4.3.4.1 対照群の測定手順	59
4.3.4.2 介入方法と測定手順	59
4.3.5 統計解析	60
4.4 結果	60
4.4.1 超音波測定 of 信頼性分析	60
4.4.2 立位体前屈の変化	61
4.4.3 腰椎棘突起間距離の変化	61
4.5 考察	62
4.5.1 超音波測定装置による腰椎棘突起間距離の測定	62
4.5.2 腹筋群収縮による腰椎屈曲可動域 of 拡大	63
4.5.3 椅子座位前屈位での腹筋群収縮 of 臨床応用	65
4.6 結論	66
文献	67

第5章 研究の結論	71
5. 1 研究のまとめ, 臨床応用と今後の展望	72
発表論文	74
学会発表	75
謝 辞	76

第 1 章

序 論

研究の背景と研究の目的

1. 1 研究の背景

1. 1. 1 腰痛理解と治療の現状

痛覚神経の自由神経終末が分布する腰背部の全ての構造から腰痛は起こりうる。また、内臓からの関連痛が腰部に出現することもある。胸椎や腰椎に転移した悪性腫瘍は腰痛の原因となる。強直性脊椎炎、リウマチなどの特定疾患、骨粗鬆症による椎体の圧迫骨折が腰痛の原因となることもある。腰背部の椎間関節、椎間板、筋、腱、靭帯などほとんどの構造が腰神経後枝の支配を受けている¹⁾。したがって患者の訴える腰背部、下肢の疼痛領域の訴えだけでは、どの構造が原因の関連痛なのか特定できない。それぞれ別の構造から同じ領域に関連痛が生じることがあるからである²⁾。椎間板のヘルニアや椎間孔・脊柱管の狭小化により、神経根が圧迫されることがある。この場合圧迫された神経根が支配する皮膚節に、根性疼痛、シビレ、感覚低下が出現する。また神経根に支配される筋の筋力低下が生じる。このように腰痛の原因は多岐にわたるため、その特定は困難と考えられてきた。

しかし、障害発生の頻度が高い構造と好発年齢は比較的明らかとなっている。20代から40代は椎間板損傷の頻度が高い³⁾。椎間板の主な機能はその分節から上の体重を支えることである。そのため椎間板が正常に機能する若い世代では、椎間板への加重および回旋ストレスが大きく障害の頻度が高くなる。50代以降は椎間板の変性が進行し、体重を支える機能が椎間板から左右の椎間関節に移行するため、加齢と共に椎間関節由来の腰痛発生頻度が増加する。

理学療法の評価では、このような障害発生の好発構造と年齢、腰痛の発生頻度を考慮し、各構造にストレスを加えることで、患者の訴える症状を再現し、腰痛の原因と考えられる構造を特定する。そしてその構造に対して適切と考えられる治療手技を選択し実施する。再評価により腰痛の軽減、消失が確認できれば仮説が証明されたことになる。この系統的な評価・治療・再評価の過程が理学療法の臨床的推論 (clinical reasoning) である⁴⁾。

一方、日本の医師の診断は主に画像所見を基に行われる。しかし、X-ray, MRI 共に、症状があっても異常が見つからない場合がある。逆に、画像所見に異常があっても症状が認められない場合がある。その結果として、原因が特定できない腰痛

(いわゆる腰痛症)の頻度は80~90%と言われている⁵⁻⁶⁾。腰痛に対する医師の主な役割は投薬と手術である。したがって原因の特定できない腰痛症の治療は、保存的治療を担当する理学療法士の役割となる。つまり理学療法士はほとんどの腰痛患者を対象とすることになり、その責任は重い。しかし、上述のような系統的評価によって腰痛の原因となる構造を特定し、その構造の障害に対して適切な治療手技を選択し、実施するという方法は、まだ日本の理学療法には普及していない。腰痛の診断名に対しては、医師の処方に基づき、腰痛体操・物理療法・マッサージといった、いわゆるレシピータイプのプログラムが実施されることが多い。そのため、治療効果および腰痛の再発予防の効果が十分に得られていない。

理学療法で保険請求できる上限は、20分1単位を基本とし、1日8時間で24単位、週108単位と決められている。しかし、実際には治療と治療の間に時間のロスが生じるので、1日7時間21単位程度になるのが一般的である。1日に治療できる人数に制限があるため、患者数の多い施設では週1、2回の治療頻度になる。障害の程度、回復のステージによるが、その頻度で腰痛治療を行っても、完治せず、再発を繰り返すことが多い。このような診療事情を考慮すれば、1週間に1回20分の理学療法治療のみではなく、患者自らが日常的に実施できる治療手技の導入が再発予防のためには必要である。日本の現在の保険診療の基では、腰痛患者の症状に合わせて、理学療法士が理学療法の時間や回数を自由に設定することはできない。これが日本の医療システム、理学療法における腰痛治療の現状である。

1. 1. 2 腰痛治療手技についての研究の現状

過去15年間でManual Therapyという筋骨格系の理学療法では最も知名度の高い専門誌に掲載された研究の多くは、腹部・背部の深部筋のエクササイズであった。他動的な治療だけでは、腰痛再発の予防が得られないとの認識が広まったためだと考えられる。しかし、同じ筋線維の走行であれば、深部筋と表在筋は共同筋(synergist)として同時に協調的に収縮する。深部筋のみに固執するのは、実際の機能から離れ、偏った研究方向に進む危険性があることを認識する必要がある。

腰痛の原因の頻度が高い椎間板と椎間関節は、腰椎の深部に位置する。したがっ

て、徒手的に治療するには直接手の届きにくい場所に存在する。触診の技術の信頼性についての研究は多数行われているが、その信頼性は低いと報告されることが多いのはそのためである。さらに、その大多数の研究は腰椎棘突起の触診技術に関する研究である⁷⁾。外傷の既往がなければ、棘突起に障害が生じることは稀である。一方、腰椎椎間関節の障害により腰痛が発生する頻度は高い。障害のある椎間関節を触診することで、触診の再現性をテストするならば、障害レベルの関節は触診により疼痛が誘発されるので、触診の再現性は増すはずである⁸⁾。

このように、臨床の実際と乖離した研究が行われるのは、治療技術に精通した研究者が少ないことを示唆する。また、治療技術に優れていて、治療効果を得ている治療者が必ずしも研究方法に通じているとは限らない。治療効果が得られる治療技術の開発には、優れた臨床家と研究者の協力が必要である。そして、臨床現場で実際に使われている治療手技について、科学的に解明することが求められる。そのことが、多くの腰痛患者の症状を改善し、日常生活の質を向上し、理学療法の実現につながる。

1. 1. 3 本研究の必要性

一般に、臨床で腰痛治療に効果を発揮している治療手技であっても、その手技が何故腰痛およびそれに伴う他の症状に効果があるのかを証明することは困難である。そのため、ほとんどの腰痛治療手技は、科学的に分析されないまま、技術の伝承が続けられてきた。測定機器の開発に伴い、治療手技について定量的な測定が可能になった現在、腰痛治療で効果的とされる手技を測定・分析し、科学的に解明することが望まれる。

本研究では、腰痛患者を対象とせず、健常成人を対象とした。臨床で腰痛患者の治療によく使われる腰椎の回旋手技に着目し、まず健常成人を対象として、その手技が腰椎に及ぼす力と力の方向について明らかにしたいと考えた。本研究の実施内容を考慮すると直接腰痛患者を対象とする前に、健常成人を対象とすることがリスク管理の面から妥当と判断した。

治療手技を効果的に用いて腰痛やその他の症状が改善できたとしても、腰痛が再

発し、繰り返し治療を必要とすることは、臨床現場で日常的に体験することである。したがって包括的な腰痛対策としては、治療手技と再発予防手技の効果的な組み合わせが求められる。そしてその再発予防手技についても客観的な定量的評価が必要である。腰痛治療と再発予防が適切に機能してこそ、臨床貢献が可能となる。本研究の対象者はすべて健常成人であった。しかし、腰痛治療で使われる回旋手技と腰痛再発予防手技についての定量的評価の結果は、腰痛患者への適切な手技の処方に役立つと考える。

1. 1. 4 感性工学としての徒手理学療法の研究

感性工学の「感性」とは「対話」である。徒手理学療法との共通点がそこにある。理学療法、特に徒手理学療法では、手を使って患者の身体構造と対話する。徒手理学療法の触診とは手で異常な部位を見つけ、治療とは手でその異常を取り去ることである。まさに「手当」である。患部に手を当てると、症状が少し和らぐのは、気のせいではない。手にも患部にもメカノレセプター (mechanoreceptor)、プロプリオセプター (proprioceptor) が存在する。手で患部を適度な力で圧することで、患部のこれら受容器が刺激され、脊髄の後角の1層から5層の間で痛覚の抑制が行われる。痛みを伝える自由神経終末からの疼痛信号は細いA δ 線維とC線維を通り、脊髄後角に入るが、メカノレセプター・プロプリオセプターからの太いA β 線維が脊髄後角の中でA δ 線維とC線維から送られてきた疼痛信号を抑制するのである。これを脊髄レベルでの疼痛閥門制御 (gate control mechanism) とよぶ⁹⁾。手当という手と患部の対話はこのように科学的に解明されている。

徒手理学療法で使われる手技についても、工学的な手法を用いて解明できると考える。徒手理学療法で使われる手技、すなわち手と身体部位との対話の効果について工学的に科学する。対話を科学するという意味で、徒手理学療法を工学的に解明することは、まさに感性工学であるとの解釈が成り立つ。

1. 2 研究の目的

本研究の目的は、臨床で腰痛治療に効果があると経験的に信じられている手技に

ついて、定量的な測定を行い、その客観的な効果について明らかにすることである。さらに、その定量的な評価を基に、腰痛患者自らが日常的に実施可能な腰痛予防手技について検討し、その方法を提案することである。つまり、臨床で日常的に使われている治療手技について、工学的な測定と評価を行い、腰痛患者の治療と再発予防に貢献することが、この研究全体の目的である。

筋骨格系理学療法士が腰痛患者を治療する機会が多い。しかし、理学療法士が使う専門的な治療手技について、加えられる力の強さや方向についての定量的な研究は少ない。したがって、その安全性の判断についても経験を頼りにすることが多く、客観的な指標は確立されていない。そのことが理学療法への適応や効果を曖昧にし、理学療法についての理解や評価の停滞につながり、有効な治療手技の開発の妨げとなっている。さらに、たとえ治療後に疼痛軽減や無痛可動域の改善が得られたとしても、その効果は一時的なものであることが多い。腰痛の再発予防につながる効果的な対策は未だ確立されていない。

研究1（第2章）の目的の一つは、腰痛治療の中で最も効果的で最初に使うべき治療手技とされている腰椎の回旋手技について、加えられる力の強さと相対的方向を明らかにすることである。現在一般的に使われている回旋手技は、骨盤と体幹を逆方向に回旋する全体的回旋（general rotation）である。この手技と腰椎を分節的に回旋する手技（segmental rotation）とで、下肢伸展挙上と腰椎屈曲に対する効果比較を行うことが二つ目の目的である。

研究1の結果を基に、研究2（第3章）では、まず腰椎の分節的持続的回旋（lumbar segmental sustained rotation: LSSR）手技で加えられる力の至適強度を明らかにする。次にLSSR手技で加えられる力を3段階に分けて、左右の下肢伸展挙上と長座位体前屈の改善比較を行う。分節構造に加えられる至適回旋強度を把握することは、患者の状態に合わせて治療手技の適応を判断し、リスク管理を適切に行う上で重要である。

研究1と2でLSSR手技の力と方向、左右の下肢伸展挙上および腰椎屈曲に対する効果が明らかになれば、その結果を参考に、腰椎屈曲効果をさらに改善し、持続させるための方法についての研究が必要となる。LSSRで腰椎屈曲の改善は認めら

れた。しかし、その効果は十分とは言えなかった。また他動的操作を常に必要とするのでは、持続的な改善効果は期待できない。患者自身が自宅で簡単に行える運動であれば腰痛予防の効果が期待できる。研究3（第4章）の目的は、簡単にできる実用的な自動運動手技による腰椎屈曲の改善効果について検証することである。その自動運動手技とは、椅子座位前屈位で腹筋群を持続的に収縮させ、腹圧を高め、その腹圧により腰背部の軟部組織を伸張し、腰椎屈曲可動域を改善する方法である。その自動運動手技の前後で、腰椎棘突起間距離を超音波エコー装置で測定し、前後の変化について可視化する。その結果と体幹前屈の自動運動とを比較することで、腹筋群収縮による腰椎屈曲の効果を検証する。これが研究3の具体的な目的である。以上3つの研究結果を統合し、最後に、腰痛治療と再発予防に効果的な治療手技と再発予防手技の組み合わせとその理論的根拠を提示することで、腰痛治療の臨床に貢献したい。

1. 3 論文構成

論文は5章で構成され、以下の内容となっている。

- 第1章 「序論」では本研究の背景として、腰痛治療・研究の現状、本研究の必要性、感性工学としての徒手理学療法の研究、そして本研究の目的について述べた。
- 第2章 「腰椎の分節的持続的回旋の機械的効果および下肢伸展拳上・腰椎屈曲に対する効果の定量的評価」では、分節的回旋手技の力と方向を定量的に測定した結果について分析・考察した。また、分節的回旋手技の下肢伸展拳上と腰椎屈曲に対する効果について検討した。さらに全体的回旋と分節的回旋の効果について比較評価した。
- 第3章 「腰椎の分節的持続的回旋が下肢伸展拳上と腰椎屈曲に及ぼす効果」では、回旋の至適強度を明らかにし、さらにその至適強度付近での下肢伸展拳上と腰椎屈曲に対する効果について検証した。
- 第4章 「椅子座位前屈位腹筋群収縮の腰椎屈曲可動域改善効果と超音波画像による効果検証」では、腹筋群収縮による腰椎屈曲可動域改善の効果について超音波画像を用いて腰椎棘突起間距離の変化を可視化した。さらに長坐位体前屈の変化と比較検討した。
- 第5章 「研究の結論」では、腰痛治療後に腰痛の再発予防につなげるための回旋手技や腹筋群収縮による腰椎屈曲可動域改善手技の臨床応用、今後の展望、及び本研究の制限 (limitations) について述べた。

文 献

- 1) Bogduk N: Lumbar dorsal ramus syndrome and zygapophysial joint pain. Proceedings of Low Back Pain Symposium, MTAA, Brisbane; 1980, pp 15-46.
- 2) Bogduk N: Lumbar dorsal ramus syndrome. In: Grieve GP editor. Modern Manual Therapy of the Vertebral Column. 1st ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1986, pp 396-404.
- 3) Rowe LT: Imaging of mechanical and degenerative symptoms of the lumbar spine. In: Giles LGF and Singer KP editors. The Clinical Anatomy and Management of Back Pain Series. Volume 1: Clinical Anatomy and Management of Low Back Pain. Oxford: Butterworth Heinemann; 1997, pp 276-313.
- 4) Higgs J: Fostering the acquisition of clinical reasoning skills. New Zealand Journal of Physiotherapy, 1990, 18(3): 13-17.
- 5) Giles LGF: Introduction. In: Giles and Singer KP editors. The Clinical Anatomy and Management of Back Pain Series. Volume 1: Clinical Anatomy and Management of Low Back Pain. Oxford: Butterworth Heinemann; 1997, pp 3-17.
- 6) Spratt KF et al: A new approach to the low-back physical examination. Behavioral assessment of mechanical signs. Spine, 1990, 15(2): 96-102.
- 7) Downey B, Taylor N, Niere K: Can manipulative physiotherapists agree on which lumbar level to treat based on palpation? Physiotherapy, 2003, 89(2): 74-81.
- 8) Harlick JC, Milosavljevic S, Milburn PD: Palpation identification of spinous processes in the lumbar spine. Manual Therapy, 2007, 12: 56-62.
- 9) Bogduk N: The anatomy and physiology of nociception. In: Crosbie J and McConnell J, editors. Key Issues in Musculoskeletal Physiotherapy. Oxford: Butterworth Heinemann; 1993, pp 48-87.

第 2 章

腰椎の分節的持続的回旋の機械的効果および下肢伸展拳上・腰椎屈曲
に対する効果の定量的評価

2. 1 研究の背景

腰椎の回旋手技は、腰部下肢片側に出現する症状・徴候の改善と無痛可動域回復を目的に使われる¹⁻⁶⁾。Maitland¹⁾は、回旋手技は最も効果的で、最初に使うべき手技であると強調している。しかし、腰椎の構造に対する回旋手技の機械的効果、すなわち力と方向については、未だ解明されていない^{5,7-8)}。

回旋手技は次の3つに大別される：持続的回旋 (sustained rotation)、周期振動的回旋 (cyclic oscillatory rotation)、マニピュレーション (manipulation) である¹⁾。理学療法士はその3種類すべてを使う⁹⁻¹¹⁾。一方カイロプラクター (chiropractor) とオステオパス (osteopath) は主にマニピュレーションを使う¹⁰⁾。腰椎の持続的回旋 (LSSR) 手技は、局所的な腰背部痛、下肢への関連痛など、片側の症状と徴候の治療として使われる¹²⁾。LSSR 手技は片側に関連痛があり、神経根の圧迫が疑われる患者に最も効果的な手技と言われている^{1-3, 13-14)}。しかし、その根拠を示す研究はない。

他動周期振動的な手技は片側の腰背部・下肢痛、無痛可動域改善目的の治療に使われる^{3, 15-18)}。Twomey and Taylor¹⁹⁾は周期振動手技には関節軟骨や椎間板を通して関節液の流れを促通、関節周囲の靭帯、筋、髄膜の伸張の可能性が考えられると報告している。

持続的回旋、周期振動回旋のどちらも全体的回旋が一般的で、分節的回旋ではない^{5, 20)}。しかし、患者の症状と徴候は分節的に発症することが多いので、分節的回旋手技の方が全体的回旋より効果的だと考えられる¹⁾。腰椎の回旋マニピュレーション手技は片側に症状や徴候があり、その疼痛の軽減と可動域の改善目的に使用される²¹⁾。各手技の利点や効果について明らかにするために、さらに研究が必要である²²⁾。

現在、明確な理論的根拠が確立されていないため、治療は試行錯誤の状態である。各回旋手技の腰椎構造に対する機械的な効果について明らかにし、客観的な評価が必要である。神経根の圧迫や椎間板障害が原因の腰痛患者は下肢伸展挙上 (straight leg raising: SLR) の低下と腰椎屈曲制限を伴うことが多い。先行研究では全体的回旋で SLR と腰椎屈曲が改善したと報告されている^{1, 5, 23)}。そうであれば、分節的回

旋は SLR と腰椎屈曲にさらに効果があると予想される。しかし、LSSR 手技で加えられる力の方向と力の強さを測定した研究はない^{5,7)}。また、LSSR の SLR と腰椎屈曲に対する効果についての研究も行われていない⁸⁾。

2. 2 研究の目的

この研究の第 1 の目的は、LSSR 手技で腰椎棘突起に加えられる力の強さと相対的な方向を測定することである。そして、その結果から他の治療手技で加えられる力の強さと比較して、LSSR の安全性と適応を判断することである。第 2 に、LSSR の SLR と腰椎屈曲に対する効果を明らかにすることである。

2. 3 研究の方法

2. 3. 1 研究デザイン

本実験の前に検者内信頼性のテストを行った。検者は臨床経験 28 年の徒手療法専門理学療法士 (manipulative physiotherapist) で、5 人の被験者 (平均年齢 21 歳) を 5 回測定した。その後、同じ理学療法士が 18 人の被験者に対して本実験を実施した。被験者は次の 3 試行を無作為順序で実施した。同じ 18 名の被験者が 3 試行すべてに参加した。その 3 試行は: (1) LSSR (分節的回旋: segmental rotation), (2) sham (体幹と骨盤の全体的回旋: general rotation), (3) 対照 (安静) であった。各試行は無作為順序で行われ、各試行の測定間隔を少なくとも 5 日間開けた。

2. 3. 2 対象

対象は健常成人 18 名 (男性 9 名, 女性 9 名, 年齢 21~30 歳) とした。対象の属性 (身長, 体重, BMI) は平均値±標準偏差で示す。身長 $163.9 \pm 10.7\text{cm}$, 体重 $64.3 \pm 18.4\text{kg}$, BMI $23.6 \pm 4.7\text{ kg/m}^2$ であった。対象者に全身性疾患, 神経筋骨格系症状がなく, 本研究開始前 12 か月以内に腰痛, 下肢痛の既往はなかった。研究期間中, どの対象者も薬物治療を受けていなかった。対象者には研究の目的と内容, 利益とリスク, 個人情報保護, 参加の拒否と取り消しについて説明を行った。参加同意書には自筆による署名を受けた。本研究はこおりやま東都学園研究倫理委員会から

研究実施の承認を得た（承認番号：R1007）。

2. 3. 3 使用機器

S1 棘突起に加わる力の方向と強さは 3 軸力覚計測ステーション，小型 3 軸力覚センサー（USL06-H5-500N，テック技販社製）を使用した。計測誤差範囲は full scale の 1%未満で，出力特性は C（直線）型である。直線性は $\pm 0.1\%$ FS，使用温湿度範囲は $0 \sim +50^{\circ}\text{C}$ ， $20 \sim 85\%$ RH 以下（結露なきこと）である。ローパスフィルタは遮断周波数：約 5，20，200Hz，減衰特性： -12dB/oct ，LPF-SWI による 3ch 連動である。力覚センサーは縦横 19mm の正方形で厚さ 4mm のメタル製，中心に位置するセンサー部分の直径は 5mm である（図 2-1）。

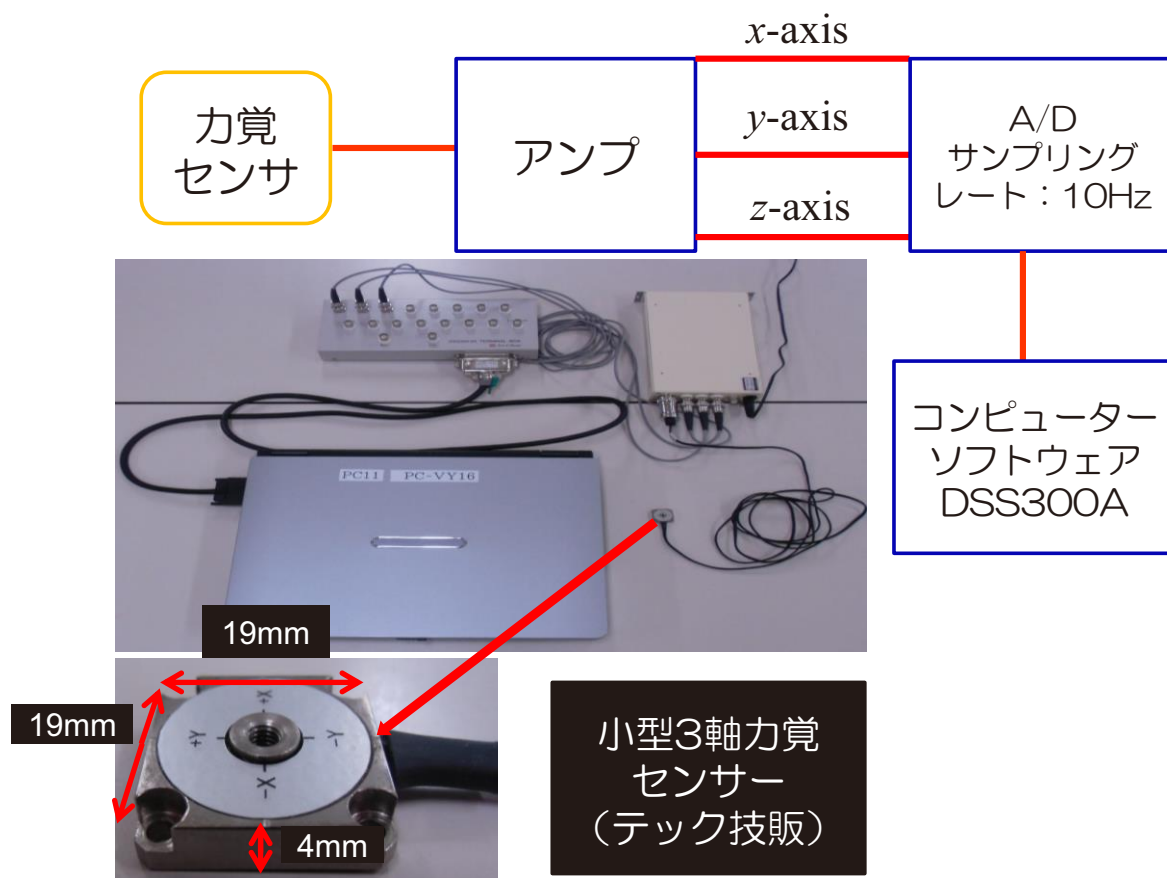


図 2-1 3 軸力覚計測ステーションと小型 3 軸力覚センサー（テック技販社製）



図 2-2 デジタルレベル角度計 (NJ-1, 佐藤商事社製)

SLR はデジタルレベル角度計 (MJ-1, 佐藤商事社製) で測定した (図 2-2). コンパクトなミニサイズ (51×65×34 mm) で, 0.1 度単位の角度測定が可能である (測定精度 ± 0.1 度). どんな角度でも基準点を 0 度にセットすることができて, ± 180 度の計測が可能である. 気泡の位置で傾きを確認できる水準器が装備されている.

立位体前屈 (腰椎屈曲) は台の上に立ち, テープメジャーで, 台から中指先端までの距離を測定した (図 2-3).



図 2-3 立位体前屈の計測

2. 3. 4 研究手順

本研究では、腰椎 L5 と仙椎 S1 を逆方向に回旋したときに、S1 棘突起に加えられる力の大きさと方向を 3 軸力覚センサーで測定した。被験者は左下側臥位で、左下肢伸展位、右下肢は股・膝関節共に 45°屈曲姿勢をとる。前方に位置する右足背を左膝裏に掛け、右下肢の重さを利用し、骨盤の左回旋を助ける。検者は被験者の前方に立ち、体幹を右に骨盤を左に回旋する (general rotation)。その後で、左示指

先端を S1 棘突起に掛け引き上げる．右母指指腹で L5 棘突起を下方に押す．被験者の体幹を右に骨盤を左に回旋し，その最終可動域でさらに L5/S1 を回旋する．その姿勢のまま，回旋の最終可動域で 10 秒間保持する．3 軸力覚センサーは左示指と S1 棘突起間に置き，疼痛予防目的に，棘突起とセンサー間に縦 30mm，横 30mm，厚さ 1mm のラバーを挿入する．そして S1 棘突起に加わる力の方向と大きさを測定した（図 2-4）．



図 2-4 小型 3 軸力覚センサーによる LSSR の測定

検者内信頼性のテストを，本実験に先駆けて実施した．1 人の検者が 5 人の被験者に対して 5 回測定した．測定項目は，合成ベクトル，合成ベクトルと x 軸との角度，合成ベクトルと y 軸との角度，合成ベクトルと z 軸との角度である．一般的に 2 つのベクトル \mathbf{A} と \mathbf{B} で作られる角度 θ は次の式で計算される． $\mathbf{A} = (A_x, A_y, A_z)$ ， $\mathbf{B} = (B_x, B_y, B_z)$ ，とすると，

$$(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \cos \theta$$

$$= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

$$\cos \theta = (A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z) / (|\mathbf{A}||\mathbf{B}|) = a$$

$$\theta = \cos^{-1} a.$$

となる。ただし、 (\mathbf{A}, \mathbf{B}) は \mathbf{A} と \mathbf{B} の内積、 $|\mathbf{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2}$ 、 $|\mathbf{B}| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$ である。ここで、 $\mathbf{A} = \mathbf{V} = (V_x, V_y, V_z)$ 、 $\mathbf{B} = (1, 0, 0)$ とすると、 θ は合成ベクトル \mathbf{V} と x 軸で作られる角度 θ_x になる。

したがって、 $\cos \theta_x = (V_x \times 1 + V_y \times 0 + V_z \times 0) / (|\mathbf{V}| \times 1) = V_x / \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} = a_x$
 $\theta_x = \cos^{-1} a_x$ となる。

同様に、 x の代わりに y と z を代入することで、合成ベクトル \mathbf{V} と y 軸、合成ベクトル \mathbf{V} と z 軸との角度が求められる。

検者内信頼性テストのあとで、本実験を行った。腹臥位で L5、S1 の棘突起を触診して棘突起下端にペンで線を引き、そのあと被験者は治療ベッドに左下側臥位の姿勢をとった。信頼性テスト同様、検者が被験者の体幹を右に、骨盤を左に回旋した。回旋の最終可動域で、L5 棘突起は右母指で下方に押し、S1 棘突起は左示指で上方に引き上げた。その姿勢で 10 秒間保持した (図 2-4)。この回旋前後で被験者の左右 SLR と立位体前屈を測定した。SLR はデジタルレベル角度計で測定し、被験者が痛みを感じ始めた角度 (P1) を SLR の角度とした²⁴⁾。立位体前屈は被験者が台の上に立ち、中指尖端が足指に触れるよう立位から前屈していく。そして中指尖端と足指との距離を測定した。足指に届かなければ (－) cm、足指を越えれば (+) cm と表記した (図 2-3)。メジャーテープは台から床に垂直に貼り付けた。Sham (全体的回旋) は体幹と骨盤のみを逆方向に回旋し、そのまま 10 秒間保持した。分節的回旋は行わなかった。対照 (安静) は、治療ベッドの上で 10 秒間安静臥床とし、繰り返しの効果を除外するため、両側 SLR を 2 回測定した。左右の SLR と立位体前屈は試行前後で 2 回ずつ測定しその平均を代表値として採用した。

2. 3. 5 統計解析

LSSR の測定の信頼性分析には級内相関係数 (Intraclass Correlation Coefficients : ICC) を用いた。LSSR 前後の同側 SLR、対側 SLR、立位体前屈の変化の比較にはウイルコクソンの符号付順位検定を用いた。左右 SLR の比較では、LSSR、sham、対照の、立位体前屈では LSSR と sham との比較に一元配置分散分析を用いた。その後の試行間比較には多重比較 (Bonferroni post hoc group comparisons) を用いた。

有意水準は5%とした。統計解析には SPSS for Windows ver. 21 を使用した。

2. 4 結果

2. 4. 1 腰椎の分節的持続的回旋の信頼性

検者内信頼性は x 軸を除いて有意に高い値を示した。 x 軸（矢状方向）の $ICC_{1.5}$ は 0.188, y 軸（水平方向）の $ICC_{1.5}$ は 0.875 ($p < .01$), z 軸（垂直方向）の $ICC_{1.5}$ は 0.856 ($p < .01$), 合成ベクトルの大きさの $ICC_{1.5}$ は 0.877 ($p < .01$) という結果が得られた。

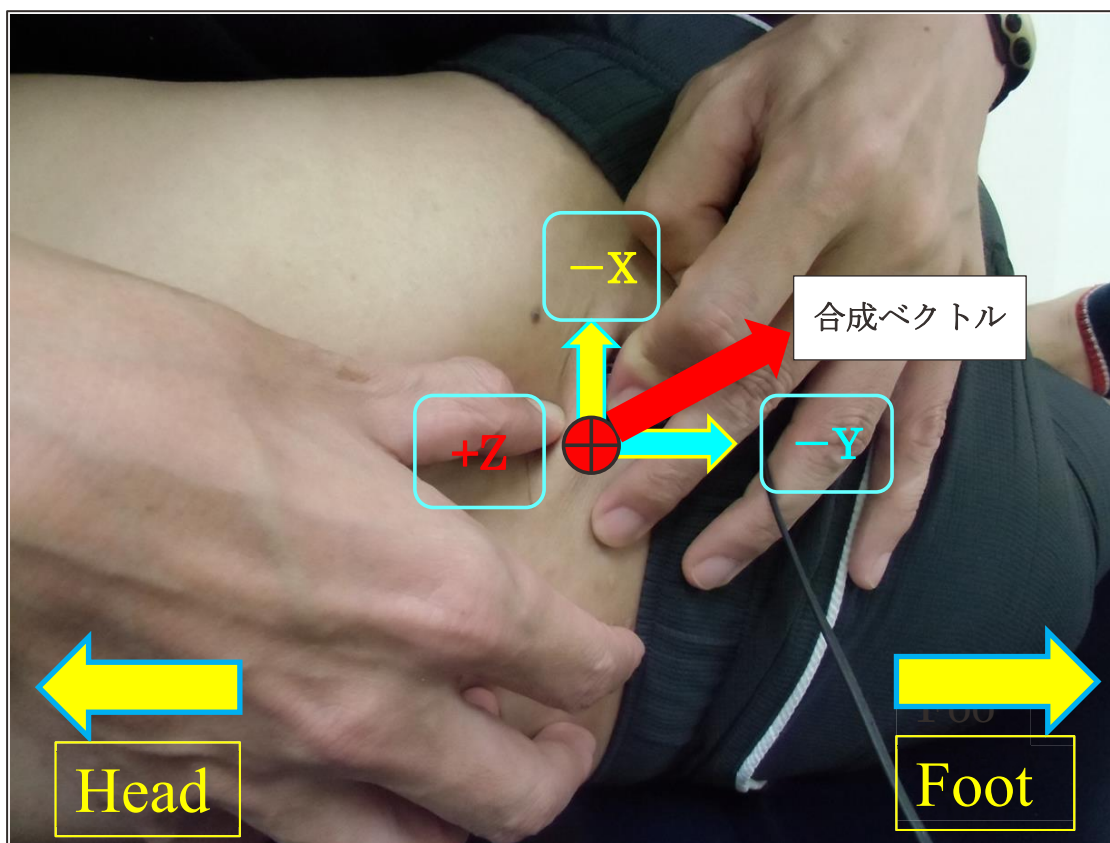


図 2-5 x 軸（下方）, y 軸（頭側）, z 軸（腹側）のプラス方向

2. 4. 2 腰椎の分節的持続的回旋の信頼性テストで加えられた力と方向

x 軸のプラス方向は下方と定義した. 同様に, y 軸のプラス方向は頭側, z 軸のプラス方向は腹側と定義した (図 2-5). 合成ベクトルの大きさは前述したアークコサイン (arc cosine) を導く計算式を用いて算出した. その結果, 合成ベクトルと x 軸の角度は $89.6^\circ (\pm 1.5^\circ)$, 合成ベクトルと y 軸の角度は $130.9^\circ (\pm 5.6^\circ)$, 合成ベクトルと z 軸の角度は $41.6^\circ (\pm 4.7^\circ)$ であった. この合成ベクトルの方向は図 2-5 で, 腹側・尾側方向, すなわち腰椎屈曲方向になる.

下方向 (x 軸) に加えられた力の平均値は $0.06\text{N} (\pm 0.29\text{N})$, 同様に頭側方向 (y 軸) は $5.26\text{N} (\pm 0.01\text{N})$, 腹側方向 (z 軸) は $6.16\text{N} (\pm 1.33\text{N})$ という結果が得られた. 合成ベクトルの大きさの平均値は $8.19\text{N} (\pm 1.12\text{N})$ であった (図 2-6).

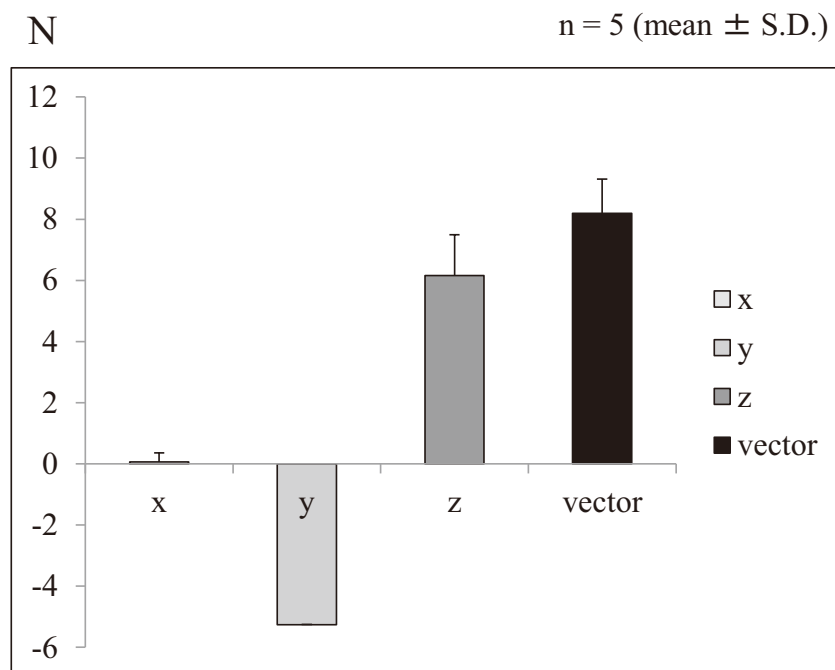


図 2-6 x , y , z 方向に加えられた力と合成ベクトルの大きさ (信頼性テスト)

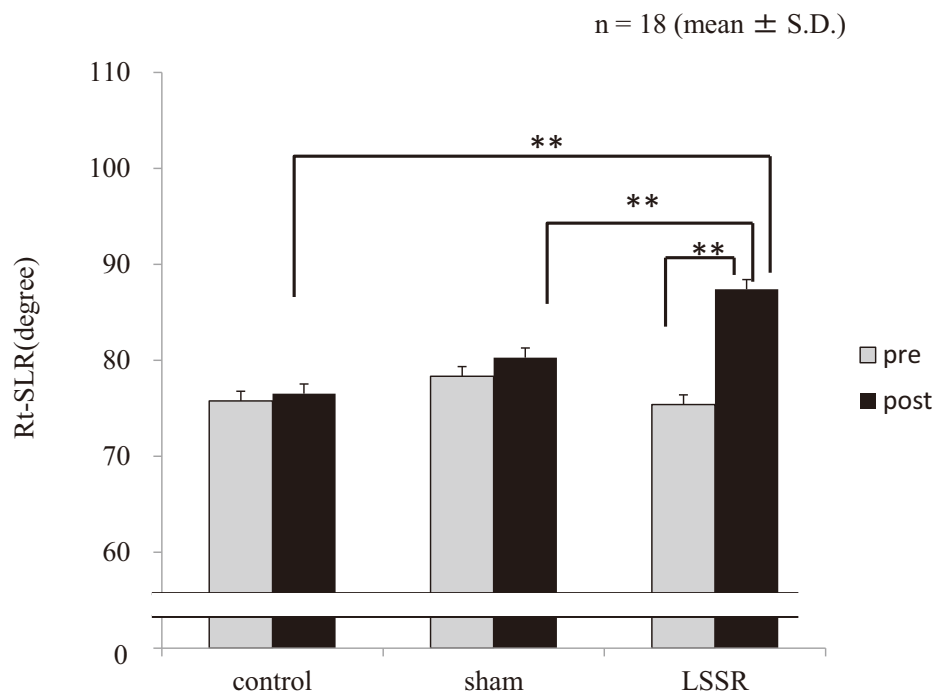


図 2-7 同側（右）SLR の試行前後の比較

** : $p < .01$

2. 4. 3 同側 SLR, 対側 SLR および腰椎屈曲の変化

SLR は同側, 対側共に, LSSR 後に有意な改善が認められた ($p < .01$) (図 2-7, 図 2-8). 多重比較の結果, 同側 SLR の平均値の差は sham, 対照と比較して, LSSR に有意な増加が認められた ($F_{(2, 34)} = 59.29, p < .01$) (表 2-1). 対側 SLR 変化の平均値も同様に, 他の 2 試行と比較して LSSR に有意な増加が認められた ($F_{(2, 34)} = 18.15, p < .01$) (表 2-2). しかし, sham と対照の比較では有意な差が認められなかった. 一方, 腰椎屈曲は LSSR 後に有意に増加した ($p < .01$) (図 2-9). また, 腰椎屈曲の平均値の差も sham と比較して有意に増加が認められた ($F_{(1, 17)} = 9.04, p < .01$) (表 2-3).

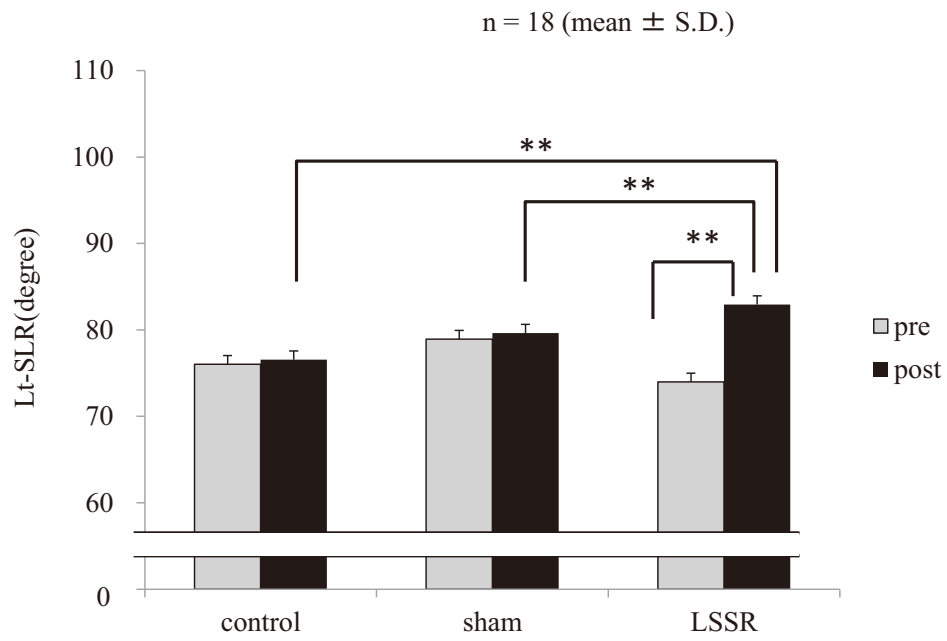


図 2-8 対側（左）SLR の試行前後の比較

** $p < .01$

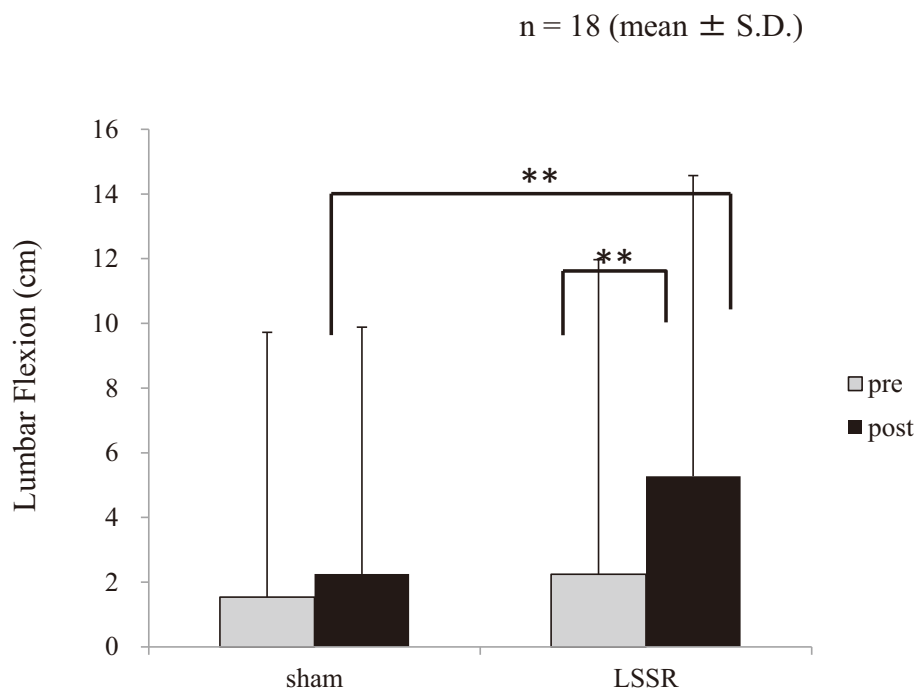


図 2-9 試行前後の腰椎屈曲の比較

** $p < .01$

表 2-1 同側 SLR の変化 (degree)

	Pre	Post	ANOVA
LSSR	75.4±9.2	87.4±9.5**,††	F = 59.29 <i>p</i> < .01
sham	78.6±12.9	80.3±12.2	
control	71.9±12.3	76.5±11.9	

n=18 (mean ± SD)

***p* < .01 (LSSR vs. sham)

††*p* < .01 (LSSR vs. control)

表 2-2 対側 SLR の変化 (degree)

	Pre	Post	ANOVA
LSSR	70.8±11.3	82.9±8.2**,††	F = 18.15 <i>p</i> < .01
sham	78.9±11.8	79.6±12.0	
control	76.2±10.5	76.6±10.5	

n=18 (mean ± SD)

***p* < .01 (LSSR vs. sham)

††*p* < .01 (LSSR vs. control)

表 2-3 腰椎屈曲の変化 (cm)

	Pre	Post	ANOVA
LSSR	2.24±9.7	5.3±9.3**	F = 9.04
sham	1.5±8.2	2.3±7.6	<i>p</i> < .01

n=18 (mean ± SD)

***p* < .01 (LSSR vs. sham)

2. 5 考 察

3 軸力覚センサーの測定により LSSR の力の強さは、左下側臥位を基準にして下方 (x 軸) に $0.06\text{N} \pm 0.29\text{N}$ 、尾側 (y 軸) に $5.26\text{N} \pm 0.01\text{N}$ 、腹側 (z 軸) に $6.16\text{N} \pm 1.33\text{N}$ の力が加えられたことが明らかとなった。この結果、LSSR では x 軸方向にはほとんど力が加わっておらず、尾側・腹側方向、すなわち腰椎の屈曲方向に力が加わっていたことが確認された (図 2-6)。このことは、LSSR により腰椎屈曲と両側 SLR が改善したことの 1 つの要因と考えられる。

S1 棘突起に加えられた合成ベクトルは $8.19\text{N} \pm 1.12\text{N}$ であった。腰椎への関節モビライゼーションやマニピュレーションの手技により加えられる力は $100\text{N} \sim 600\text{N}$ という過去の研究結果と比較すると非常に小さい力と言える²⁵⁾。LSSR で加えられた力が小さかった理由としては、全体的回旋で体幹と骨盤を反対方向にゆっくり回旋し、すでに回旋の最終可動域が作られているため、L5/S1 の回旋可動範囲 ($1 \sim 2^\circ$) を動かすのに、それほど力を要しなかったためと考えられる²⁶⁻²⁷⁾。また、LSSR では持続的に力が加えられるため、クリープ (creep) 現象が生じ、ゆっくりと L5/S1 棘突起及び椎間関節周囲の軟部組織が伸張される²⁸⁾。このゆっくりとした持続的な回旋中に、加えられた力が関節包、靭帯、腱、筋、関節軟骨などの軟部組織に吸収されたと考えられる²⁹⁾。一方、マニピュレーションでは速いスピードのスラストが加えられるので、「力×速度」の外力は飛躍的に増加する³⁰⁾。いずれにしても、LSSR で明らかになった 8.19N は他の治療手技で加えられる力と比較して、腰椎の組織や構造に負担の少ない外力だといえる。

LSSR は全体的回旋と比較して、両側 SLR と腰椎屈曲に有意な改善が認められた。LSSR は全体的回旋の後に L5/S1 の分節的回旋を加えたので、当然の結果ともいえる。腰椎の椎間板ヘルニア、椎間関節症は分節で障害される¹⁾。体幹と骨盤をただ全体的に回旋するよりも、障害のある分節を見つけて、その分節を回旋する方がはるかに効果的だと考える。

LSSR の SLR に対する効果についての報告はない。しかしマニピュレーションで使われる分節的回旋で SLR、腰椎屈曲の改善が得られたと報告されている³¹⁾。瞬間的に回旋するマニピュレーションで SLR が改善するなら持続的に回旋する LSSR

でも SLR の改善が期待される³²⁾。健常成人では 1 分節の持続的回旋で神経根が 0.5 ~1.0cm 伸張される³³⁾。右の回旋では右の後根が右の前根に比較し、さらに伸張される³⁴⁾。屈曲では脊髄や髄膜が伸張され脊柱管の前方に移動する³⁵⁾。すなわち、LSSR 右回旋では、神経根、特に右の後根が伸張され右 SLR が改善したと考えられる³⁶⁾。また右 LSSR では右回旋に左側屈、屈曲方向の力が加えられる。そのため右の神経系（神経根、後神経節、灰白交通枝、坐骨神経）と脊髄・髄膜が伸張され、右 SLR が拡大したと考えられる³⁷⁾。

右 LSSR では右回旋・左側屈・屈曲の動きが複合される。そのため、右ほどではないにしろ、特に屈曲の要素により左側の神経系も伸張され、左 SLR が拡大したと考えられる³²⁾。

腰椎各分節の屈曲・伸展運動の回転軸は L5/S1 では椎間板のほぼ中央、他のレベルでは椎体上縁の中心部に位置する³⁸⁾。その回転軸より後方に位置する軟部組織構造は腰椎屈曲の制限因子になりうる³⁶⁾。その構造には黄色靭帯、椎間板、関節包、後縦靭帯、棘上・棘間靭帯、脊柱起立筋、腰背筋膜が含まれる。特に椎間板線維輪、棘間靭帯、関節包は線維の走行が斜めまたは横方向であり、LSSR により線維が伸張される可能性がある³⁹⁾。横断面積が広い黄色靭帯、後縦靭帯、脊柱起立筋、腰背筋膜も LSSR の回旋・屈曲・側屈の組み合わせにより、その運動方向に応じて伸張される可能性がある。これら背部の軟部組織が LSSR の持続的な、特に屈曲方向の伸張により腰椎屈曲が拡大したと考えられる。

2. 6 結 論

本研究の結果、3 軸力覚センサーを用いた力と方向の測定は、 x 軸を除いて、 y 軸、 z 軸、合成ベクトルで、検者内信頼性が高いことが確認された。合成ベクトルの大きさの平均値は 8.19N だった。この結果から、LSSR で加えられる力は 1kg 程度以下で、他の治療手技と比較して、安全に使える手技と確認された。また、LSSR は腰椎屈曲と両側の SLR の改善に効果があることが明らかとなった。本研究は健常成人を対象に行ったものである。しかし、以上の結果から、患者の症状と徴候を注意深く確認しながら行えば、LSSR は急性期の腰痛や神経根の圧迫に対しても適

応が示唆される。LSSR は腰椎の屈曲可動域を改善するのに有効なので、腰椎屈曲制限を伴う脊柱管狭窄症にも適応が期待される⁴⁰⁾。この3軸力覚センサーを含む計測システムは、LSSR の力の方向や強さを示してフィードバックが可能なので、学生に対する技術の指導にも役立つ。

腰椎の回旋手技は神経根の圧迫を取るために有効とされてきた。そしてその回旋手技は体幹と骨盤を逆方向に回旋する全体的回旋であった。回旋手技の主な目的は同側の椎間孔を開くことで神経根を含む神経系の圧迫を軽減することとされてきた¹⁴⁾。しかし、椎間板ヘルニアの60%は後側方に生じる。すなわち脊柱管内で生じる頻度が高い⁴¹⁾。そのため、例えばL5/S1の椎間板ヘルニアではS1の神経根が圧迫されることが多い。脊柱管の中でのヘルニアによる神経根の圧迫を軽減する目的であれば、同側・対側どちらの方向の回旋でも、ヘルニアと神経根の接触が離れる方向であれば、神経根圧迫の症状は改善するはずである(図2-10)。例えば、図2-10の左回旋で、ヘルニアは右、神経根は左に移動し、ヘルニアによる神経根の圧迫が軽減することが予想される。しかも全体的回旋よりも、LSSRの方が局所に加えられる力は低強度で済む。したがって、神経学的徴候や症状を注意深くモニターしながらLSSRを施行するなら、腰痛患者、特に椎間板ヘルニアによる神経系の圧迫に対して有効な治療手技になりうる。

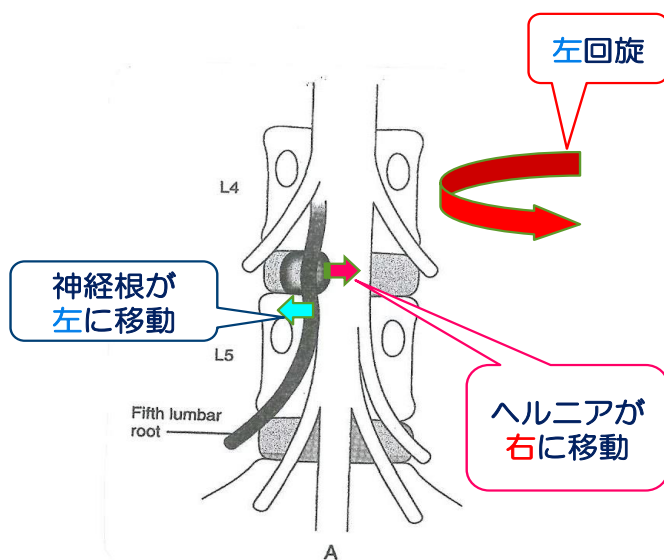


図 2-10 回旋時のヘルニアと神経根の位置関係

本研究には2つの制限 (limitations) がある。本研究の被験者数は18名で標本サイズとしては小さい。加えて、若い健常成人が被験者であった。したがって、得られた結果が必ずしも腰痛患者に反映できるとは限らない。次の研究では、被験者数を増やし、腰痛患者を対象として実施する必要がある。

文 献

- 1) Maitland GD: Vertebral Manipulation. 5th ed. London: Butterworths; 1986, pp 115-143, 259, 310-313.
- 2) Van Hoesen LB: Mobilization and manipulation techniques for the lumbar spine. In: Grieve GP editor. Modern Manual Therapy of the Vertebral Column. 1st ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1986, pp 733-739.
- 3) Trott PH, Maitland GD: Manipulative therapy for the low lumbar spine: Technique selection and application to some syndromes. In: Twomey LT, Taylor, editors. Physical Therapy of the Low Back. New York: Churchill Livingstone; 1987, pp 199-224.
- 4) Haswell K: The rotated segment in acute low back pain. J Man Manip Ther, 1995, 3(4): 127-134.
- 5) Tsung BYS, Evans J, Tong P, Lee RYW: Measurement of lumbar spine loads and motions during rotational mobilization. J Manip Physiol Ther, 2005, 28(4): 238-244.
- 6) Cramer GD, Cambron J, Cantu JA, et al.: Magnetic resonance imaging zygapophysial joint space changes (gapping) in low back pain patients following spinal manipulation and side-posture positioning: a randomized controlled mechanisms trial with blinding. J Manip Physiol Ther, 2013, 36(4): 203-217.
- 7) Fazey PJ, Song S, Price RI, et al.: Nucleus pulposus deformation in response to rotation at L1-2 and L4-5. Clin Biomech, 2013, 28: 586-589.
- 8) Bialosky JE, George SZ, Horn ME, et al.: Spinal manipulative therapy-specific changes in pain sensitivity in individuals with low back pain (NCT01168999). J Pain, 2014, 15(2): 136-148.
- 9) Crawford CM, Hannan RF: Management of lumbar disk herniation initially presenting as mechanical low back pain. J Manip Physiol Ther, 1999, 22 (4): 235-244.
- 10) Nougrou F, Dugas C, Loranger M, et al.: The role of preload forces in spinal manipulation: experimental investigation of kinematic and electromyographic responses in healthy adults. J Manip Physiol Ther, 2014, 37(5): 287-293.
- 11) Sung Y-B, Lee J-H, Park Y-H: Effects of thoracic mobilization and manipulation on

- function and mental state in chronic lower back pain. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26: 1711-1714.
- 12) Bronfort G, Haas M, Evans R, et al.: Evidence-informed management of chronic low back pain with spinal manipulation and mobilization. *Spine J*, 2008, 8: 213-225.
 - 13) McKenzie RA: *The lumbar spine: mechanical diagnosis and therapy*. Upper Hutt: Wright & Carman Limited; 1981.
 - 14) Zito G: Manipulative therapy treatment and its progression in the relief of low back pain. *Clinical Proceedings of the Low Back Pain Conference of the Manipulative Therapists Association of Australia (Victoria)*. Melbourne, 1984, pp 95-113.
 - 15) Gong W: The influence of lumbar joint mobilization on joint position sense in normal adults. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26: 1985-1987.
 - 16) Sato T, Koumori T, Uchiyama Y: Preliminary study of the immediate effect of spinal segmental side bending mobilization on improve lumbar range of motion. *J Phys Ther Sci*, 2012, 24: 431-434.
 - 17) Choi J, Hwangbo G, Park J, et al.: The effects of manual therapy using joint mobilization and flexion-distraction techniques on chronic low back pain and disc height. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26: 1259-1262.
 - 18) Park S-E, Wang J-S: Effects of joint mobilization using KEOMT and PNF on a patient with CLBP and a lumbar transitional vertebra: a case study. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27: 1629-1632.
 - 19) Twomey L, Taylor J: Spine update. Exercise and spinal manipulation in the treatment of low back pain. *Spine*, 1995, 20(5): 615-619.
 - 20) Lee RYW: Kinematics of rotational mobilization of the lumbar spine. *Clin Biomech*, 2001, 16: 481-488.
 - 21) Mieritz RM, Bronfort G, Jakobsen MD, et al.: Reliability and measurement error of sagittal spinal motion parameters in 220 patients with chronic low back pain using a three-dimensional measurement device. *Spine J*, 2014, 14: 1835-1843.
 - 22) Doulgeris JJ, Gonzalez-Blohm SA, Aghayev K, et al.: Axial rotation mechanics in a

- cadaveric lumbar spine model: a biomechanical analysis. *Spine J*, 2014, 14: 1272-1279.
- 23) Nwuga V: Relative therapeutic efficacy of vertebral manipulation and conventional treatment in back pain management. *Am J Phys Med Rehabil*, 1982, 61: 273-278.
 - 24) Matyas T and Bach T: The reliability of selected techniques in clinical arthrometrics. *Aust J Physiother*, 1985, 31: 175-199.
 - 25) Willett E, Hebron C, Krouwel O: The initial effects of different rates of lumbar mobilizations on pressure pain thresholds in asymptomatic subjects. *Manual Ther*, 2010, 15: 173-178.
 - 26) Percy MJ, Tibrewal SB: Axial rotation and lateral bending in the normal lumbar spine measured by three-dimensional radiography. *Spine*, 1984, 9(6): 582-587.
 - 27) Xia Q, Wang S, Kozanek M, et al.: In-vivo motion characteristics of lumbar vertebrae in sagittal and transverse planes. *J Biomech*, 2010, 43: 1905-1909.
 - 28) Oliver MJ, Twomey LT: Extension creep in the lumbar spine. *Clini Biomech*, 1995, 10(7): 363-368.
 - 29) Lee M, Liversidge K: Posteroanterior stiffness at three locations in the lumbar spine. *J Manip Physiol Ther*, 1994, 17(3): 511-516.
 - 30) Herzog W, Conway PJ, Kawchuk GN, et al.: Forces exerted during spinal manipulative therapy. *Spine*, 1993, 18(9): 1206-1212.
 - 31) McFadden KD, Taylor JR: Axial rotation in the lumbar spine and gapping of the zygapophyseal joints. *Spine*, 1990, 15(4): 295-299.
 - 32) Choi J, Lee S, Hwangbo G: Influences of spinal decompression therapy and general traction therapy on the pain, disability, and straight leg raising of patients with intervertebral disc herniation. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27: 481-483.
 - 33) Farfan HF: Torsion and compression. In: *Mechanical Disorders of Low Back*. Philadelphia: Lea & Febiger, 1973, pp 61-92.
 - 34) Breig A: *Adverse mechanical tension in the central nervous system*. Stockholm: Almqvist & Wiksell International, 1978.
 - 35) Troup JDG: Biomechanics of the lumbar spinal canal. *Clin Biomech*, 1986, 1: 31-43.

- 36) Ebert R, Campbell A, Kemp-Smith K, et al.: Lumbar spine side bending is reduced in end range extension compared to neutral and end range flexion postures. *Manual Ther*, 2014, 19: 114-118.
- 37) Urban LM: The straight-leg-raising test: a review. In: Grieve GP, editor. *Modern Manual Therapy of the Vertebral Column*. Edinburgh: Churchill Livingstone, 1986, pp 567-575.
- 38) Percy MJ, Bogduk N: Instantaneous axes of rotation of the lumbar intervertebral joints. *Spine*, 1988, 13(9): 1033-1041.
- 39) Izzo R, Guarnieri G, Guglielmi G, et al.: Biomechanics of the spine. Part I: Spinal stability. *Eur J Radiol*, 2013, 82: 118-126.
- 40) Choi J, Lee S, Jeon C: Effects of flexion-distraction manipulation therapy on pain and disability on patients with lumbar spinal stenosis. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27: 1937-1939.
- 41) Rowe LT: Imaging of mechanical and degenerative symptoms of the lumbar spine. In: Giles LGF and Singer KP editors. *The Clinical Anatomy and Management of Back Pain Series. Volume 1: Clinical Anatomy and Management of Low Back Pain*. Oxford: Butterworth Heinemann; 1997, pp 276-313.

第 3 章

腰椎の分節的持続的回旋が下肢伸展拳上と腰椎屈曲に及ぼす効果

3. 1 研究の背景

第2章で、腰椎の分節的持続的回旋 (lumbar segmental sustained rotation: LSSR) 手技の力と相対的方向が明らかとなった。またこの手技は、健常成人の下肢伸展挙上と立位体前屈の改善に効果のあることが認められた。しかし、第2章の実験では被験者数が18名とサンプルサイズが小さかった。また、LSSR手技の下肢伸展挙上と立位体前屈の改善に効果が認められたとしても、その至適強度については解明されていない。そのため、どの程度の強度で下肢伸展挙上と体前屈に効果が発揮されるのか、明確にする必要がある。それによって、臨床応用への指標が確立される。

徒手の専門理学療法士 (manipulative physiotherapist)、カイロプラクター (chiropractor)、オステオパス (osteopath) は腰痛や神経根症状の治療に回旋手技を用いることが多い¹⁻⁵⁾。腰椎の治療手技の中でも回旋は、最初に使うべき手技であり、最も効果的であるとされている⁶⁻⁷⁾。しかしその力学的効果についての研究は、生体ではほとんど行われていない⁸⁻⁹⁾。特にLSSRは、神経根の圧迫、急性腰痛などの治療に用いられるが、その生体力学的効果については不明である。

Straight leg raising (SLR) は腰痛患者の評価として用いられる。神経根を含む神経系の経路で圧迫や障害がある場合、疼痛が生じ可動域が制限される¹⁰⁾。SLRテストで疼痛が出現または増悪する原因として、神経根、硬膜の袖を含む硬膜、硬膜外静脈、椎間関節などの構造への機械的負荷が挙げられる¹¹⁻¹³⁾。ところが腰椎の回旋手技とSLRの関係についての研究は少ない。神経根障害に伴いSLR制限が生じるなら、神経根障害の治療に使われる回旋手技がSLRに及ぼす効果について、明らかにする必要がある¹⁴⁾。

椎間板障害や椎間板ヘルニアによる神経根障害では、疼痛を伴う腰椎屈曲制限が生じる³⁾。腰椎の回旋手技が椎間板障害や椎間板ヘルニアによる神経根障害に対して有効であれば、その回旋手技は腰椎屈曲の改善にも有効であることが示唆される。ところが両者の関係に着目した研究はない。また、モビライゼーション (mobilization) やマニピュレーション (manipulation) で腰椎に加えられる力は100~200Nという報告がある^{4,15)}。一方回旋手技による腰椎の負荷は3.7~7.1 Nmであったと報告されている¹⁶⁾。しかしこの回旋は骨盤と体幹を逆方向に回旋するのみの全体的回旋

(general rotation) であり，分節的回旋ではない．腰椎の障害は椎間板ヘルニア，椎間関節共に分節で障害される．ただ骨盤と体幹を回旋するより，障害のある分節を特定して局所的に回旋する方がはるかに効果的だと考えられる．ところが分節的回旋の強度及び至適強度，SLR，腰椎屈曲に対する LSSR の効果についての報告はない．

3. 2 研究の目的

本研究の第 1 の目的は，LSSR 手技の至適強度を明らかにすることである．そして，第 2 の目的は，LSSR 手技の回旋負荷量の変化が下肢伸展挙上と長座位体前屈に与える効果について明らかにすることである．

3. 3 研究の方法

3. 3. 1 研究デザイン

試行条件は，介入 (LSSR : 分節的回旋) (1) 5N, (2) 10N, (3) 15N と，(4) sham (全体的回旋)，(5) 対照 (安静) の 5 条件とした．同 1 被験者に対して無作為順序で 5 条件を実施し比較した．各条件の実施には 1 週間の期間を開けた．LSSR (1) ~ (3) の介入は LSSR の開始肢位すなわち側臥位で体幹を右に，骨盤を左に回旋し，さらに分節的に S1 棘突起を左に L5 棘突起を右に回旋し 10 秒間保持した (図 1)．Sham は L5/S1 の分節的回旋は行わず，全体的回旋の最終可動域で 10 秒間保持した．対照には安静を指示した．測定項目は，左右 SLR と長座位体前屈とした．

測定機器は，SLR 測定にデジタルレベル角度計 (MJ-1, 佐藤商事社製)，長座位体前屈測定にはデジタル長座位体前屈計 (T.K.K.5112, 竹井機器工業社製) を用いた．L5/S1 の LSSR 測定には 3 軸力覚計測ステーション，小型 3 軸力覚センサー (USL06-H5-500N, テック技販社製) を用いた．計測誤差範囲は full scale の 1%未満で，出力特性は C (直線) 型である．力覚センサーは縦横 19mm の正方形で厚さが 4mm のメタル製，中心に位置するセンサー部分の直径は 5mm である (図 3-1)．センサーのメタルが棘突起の皮膚に接触する時の，疼痛防止と皮膚保護の目的で，

メタルと皮膚の間に厚さ 1mm, 縦 30mm, 横 30mm のラバーを挿入した。

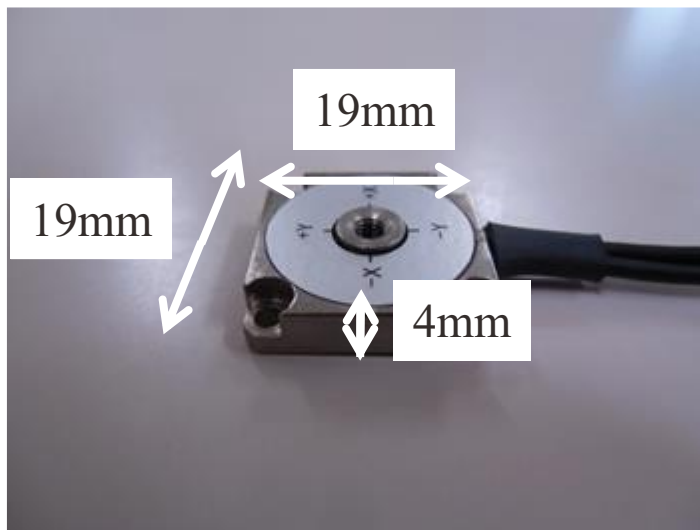


図 3-1 小型 3 軸力覚センサー

3. 3. 2 対象

対象は健常成人 30 名（男性 17 名，女性 13 名，年齢 19-34 歳）とした。対象の属性（身長・体重・BMI）は平均値±標準偏差で示す。身長 166.8±8.8 cm，体重 56.9±6.5 kg，BMI 20.1±1.7 kg/m²であった。すべての対象者に全身性疾患，重篤な神経筋骨格系症状がなく，本研究開始 12 ヶ月以内に腰痛・下肢痛の既往もなかった。研究期間中どの対象者も薬物治療を受けていた者はいなかった。すべての対象者に研究の目的と内容，利益とリスク，個人情報保護，参加の拒否と撤回について説明を行い，参加同意書には自筆による署名を受けた。本研究はこおりやま東都学園研究倫理委員会から研究実施の承認を得た（承認番号：R1007）。

3. 3. 3 研究手順

3. 3. 3. 1 介入の測定手順

SLR の測定は対側の膝と骨盤を固定し，デジタルレベル角度計を脛骨粗面に当てて測定した（図 3-2）。測定は下肢伸展挙上時，疼痛が出現した角度を P1 とし，その角度を計測した。長座位体前屈は肩甲帯，体幹背側，骨盤を壁につけ，上肢を伸

ばした位置を開始肢位とした。その位置から前屈し、長座位体前屈計を両手で押し、前屈最終域までの移動距離を測定した。移動距離はテープメジャーでも測定し、デジタル表示の数値と一致していることを確認した（図 3-3）。

L5/S1 回旋の前に、腹臥位で L5 腰椎棘突起下端を触診し、ペンで印を付けた。対象者は左下側臥位で体幹を右側に、骨盤を左側に回旋した。その最終可動域で検者の右母指で L5 棘突起を右に、左示指で S1 棘突起を左に回旋させた。体幹と骨盤の回旋後、力覚センサーと厚さ 1mm のラバーを示指と棘突起間に挿入し、L5/S1 を回旋した（図 3-4）。回旋施行中、力覚センサーに加わる x, y, z の合力 $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ をモニターし、それぞれ 5N, 10N, 15N の合力を維持しながら 10 秒間保持した。介入前後で左右 SLR と長座位体前屈を 2 回測定しその平均を代表値とした。介入前後の測定間隔は約 30 分だった。

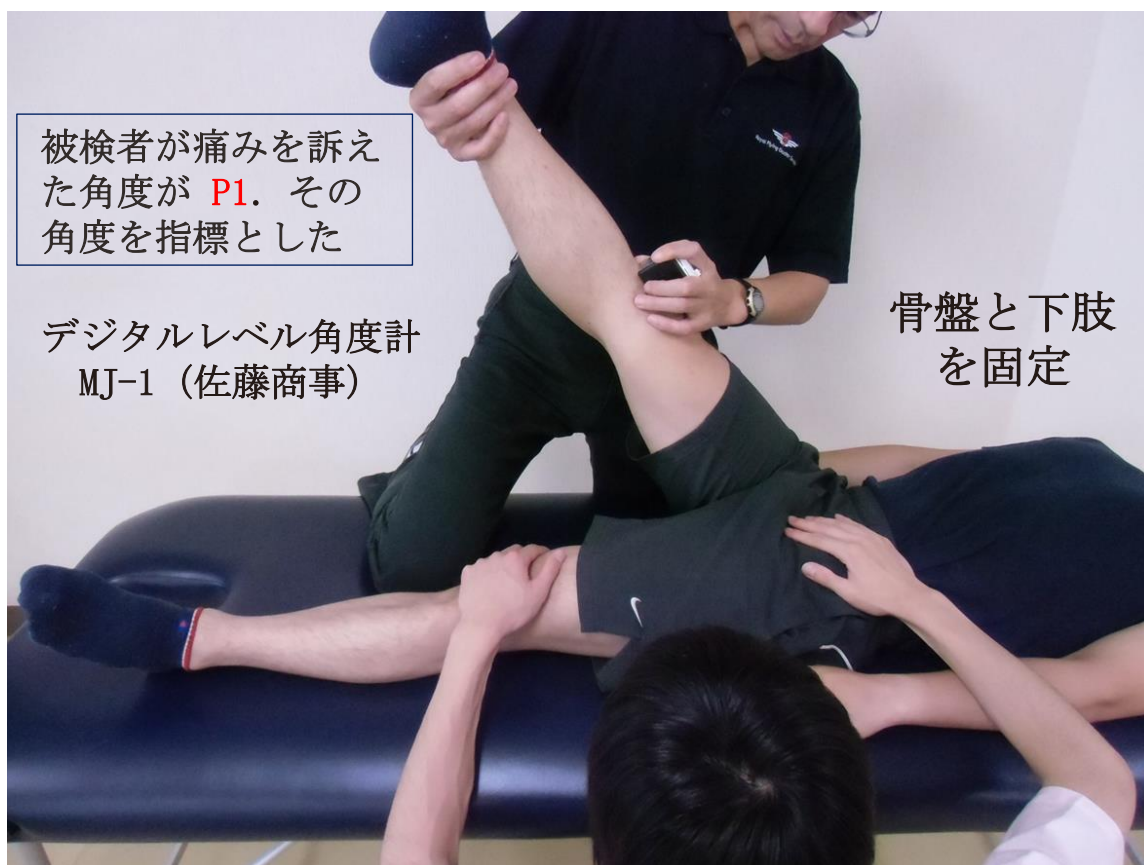


図 3-2 デジタルレベル角度計を用いての SLR の測定



図 3-3 長座位体前屈計の測定 (上: 開始肢位, 下: 測定肢位)



図 3-4 3 軸力覚センサーを用いての LSSR の測定

3. 3. 3. 2 Sham の測定手順

左下側臥位で、体幹を右に骨盤を左に回旋し、10 秒間保持した。Sham では L5/S1 の分節的回旋（LSSR）は行わず、体幹と骨盤のみを回旋し、その最終可動域で保持した。すなわち sham の回旋手技は全体的回旋（general rotation）である。施行前後で左右 SLR と長座位体前屈を 2 回ずつ測定し、その平均を代表値として採用した。施行前後の測定間隔は約 30 分だった。

3. 3. 3. 3 対照の測定手順

LSSR や全体的回旋（general rotation）などの回旋手技を行わず、安静を指示した。安静前後に左右 SLR と長座位体前屈を 2 回ずつ測定し、その平均を代表値として採用した。左右 SLR、長座位体前屈共、それぞれ 2 回の測定間隔は約 30 分だった。

3. 3. 4 統計解析

SLR と長座位体前屈の比較は、介入 (1) 5N, (2) 10N, (3) 15N と, (4) sham,

(5) 対照の 5 つの試行条件と pre/post の測定時間を 2 要因とする反復測定による二元配置分散分析を用いた。その後の試行間比較は多重比較 (Tukey-HSD) を行った。有意水準は 5% とした。統計解析には、SPSS for Windows ver. 21 を使用した。

3. 3. 5 LSSR の至適強度を特定するための強度設定

回旋が腰椎に及ぼす力についての研究は *in vitro* (死体) で行うか、生体では棘突起にピン (Kirschner wire) を挿入した実験のみであった^{4,17-20}。ところが *in vitro* の実験では筋、腱、靭帯、関節包など軟部組織の抵抗が生体とは異なる。ピンを刺入する方法は侵襲的で、動きと共に皮膚が牽引され、刺入部に不快感が生じ、可動域制限が生じる可能性がある。また、たとえ妥当な結果が得られたとしても、大勢を対象とする実験には適さない²¹。一方、生体を対象とした研究は稀である^{16,22}。唯一腰椎の回旋手技を用いた研究では、腰椎に加えられた力が 3.7~7.1Nm であったと報告されている¹⁶。しかしこの実験で行ったのは骨盤と体幹を反対方向に回旋するいわゆる全体的回旋 (general rotation) であり、分節的回旋ではない。すなわち、過去の研究からは LSSR で腰椎に加えられる回旋力の指標は得られていない。

本研究では、体幹を右に骨盤を左に回旋し、その最終可動域でさらに L5 棘突起を右に S1 棘突起を左に回旋した。その時に S1 棘突起に加わる合力を力覚センサーで測定した。その最大値は約 15N だった。そこで介入群の合力は上限を 15N とし、それぞれ 5N, 10N, 15N の 3 条件が LSSR の至適強度を特定するための強度設定として妥当と考えた。腰椎のマニピュレーション (manipulation) では LSSR と同様の姿勢を採用し、最終可動域で椎間関節のクラッキング (cracking) を行う。その時腰椎に加えられる力は 220~550N, あるいは 400~600N と報告されている²³⁻²⁴。研究者によりばらつきはあるが、manipulation では LSSR と比較して非常に強い力が加えられる。

ところが LSSR の開始肢位では、上位胸椎から下位腰椎まで、順に各分節を緩徐に右に回旋していく。次に骨盤を左に回旋する。その最終可動域で L5/S1 を持続的に回旋する。胸椎から腰椎までの各椎間関節で回旋力は分散吸収される。L5/S1 の分節では片側約 2° の回旋が生じる^{2,25-26}。上下の関節面が接触、圧迫されて回旋は

止められる。この時右（側臥位で上方）椎間関節の関節包は伸張され、左（下方）椎間関節は圧迫される^{2, 27-28}）。Manipulation では関節の cracking 目的に急激な回旋が瞬間的に加えられる。一方、LSSR では各分節 2°の回旋で同側上下関節突起の関節軟骨が接触し、その軟骨で回旋力が吸収され回旋が止められる。Manipulation とは異なり、ゆっくりと持続的に回旋する LSSR では、それほど大きな力を必要としないと考えられる。したがって、至適強度は 5~15N の範囲内に存在すると考えた。

3. 4 結果

3. 4. 1 右 LSSR による右 SLR の変化

二元配置分散分析の結果、右 SLR において介入が sham, 対照と比較して変化のパターンに違いを認めた ($F_{(4,1)} = 34.07, p < .01$) (表 3-1)。多重比較 (Tukey-HSD) の結果、介入 (5N, 10N, 15N) は sham, 対照と比較して右 SLR が有意に拡大した (5N: $p < .05$; 10N, 15N: $p < .01$)。介入の 5N に比較して、10N と 15N では右 SLR の角度が有意に拡大した ($p < .01$)。しかし、10N と 15N の間に有意差は認められなかった (図 3-5)。右 LSSR による右 SLR の変化において、介入 (5N, 10N, 15N) は sham, 対照と比較して変化のパターンに違いを認めた。介入は sham, 対照と比較して post で右 SLR が有意に拡大した。

多重比較 (Tukey-HSD) の結果、介入 (5N, 10N, 15N) は sham, 対照と比較して右 SLR に有意な拡大が認められた。介入 5N は 10N, 15N と比較して右 SLR に有意な拡大が認められた。しかし、10N と 15N の比較では有意差は認められなかった。

表 3-1 右 SLR の変化 (cm)

	Pre	Post	ANOVA
5N	70.7±10.5	75.6±10.5*	F =34.07 <i>p</i> < .01
10N	71.4±12.8	79.6±12.8**,††	
15N	70.2±11.3	79.8±11.7**,††	
sham	72.7±11.2	72.6±11.4	
control	71.1±11.4	72.5±9.9	

n=30 (mean ± SD)

p* < .05 (5N vs. sham, control), *p* < .01 (10N, 15N vs. sham, control)

††*p* < .01 (5N vs. 10N, 15N)

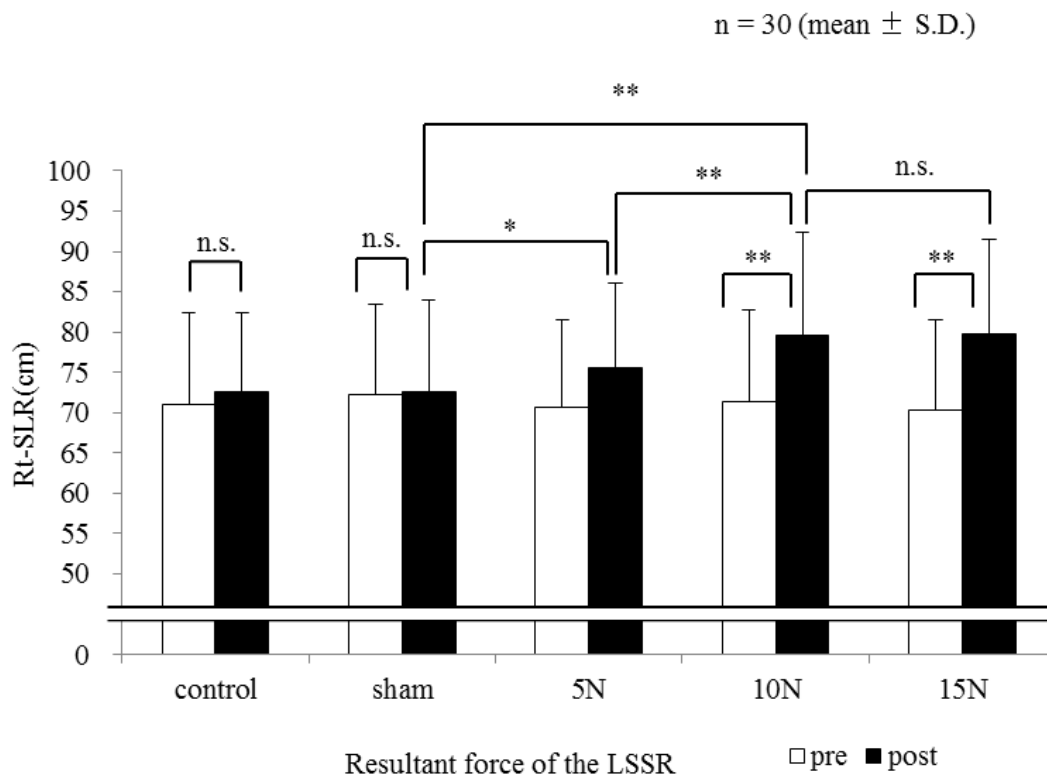


図 3-5 右 SLR の比較

p* < .05, *p* < .01, n.s. : not significant

3. 4. 2 右 LSSR による左 SLR の変化

二元配置分散分析の結果、介入が sham, 対照と比較して変化のパターンに違いを認めた ($F_{(4,1)} = 22.9, p < .01$) (表 3-2). 右 LSSR による左 SLR の変化において、介入 (5N, 10N, 15N) は sham, 対照と比較して変化のパターンに違いを認めた. 介入は sham, 対照と比較して post で SLR が有意に拡大した.

多重比較 (Tukey-HSD) の結果、介入 (10N, 15N) は sham, 対照と比較して、左 SLR に有意な拡大が認められた ($p < .01$). 一方、介入の 5N と sham, 対照の間には有意差は認められなかった (図 3-6). 介入の 5N に比較して 10N と 15N では、有意に左 SLR の拡大が認められた (10N: $p < .05$; 15N: $p < .01$). しかし、10N と 15N の間に有意差は認められなかった (図 3-6).

表 3-2 左 SLR の変化 (cm)

	Pre	Post	ANOVA
5N	70.6±12.4	74.5±10.4*	F =22.9 $p < .01$
10N	70.3±12.8	78.2±12.6**	
15N	70.4±11.4	78.7±13.9**	
sham	72.1±12.0	72.4±12.1	
control	70.8±12.4	72.1±11.6	

n=30 (mean ±SD)

* $p < .05$ (5N vs. 10N), ** $p < .01$ (10N, 15N vs. sham, control)

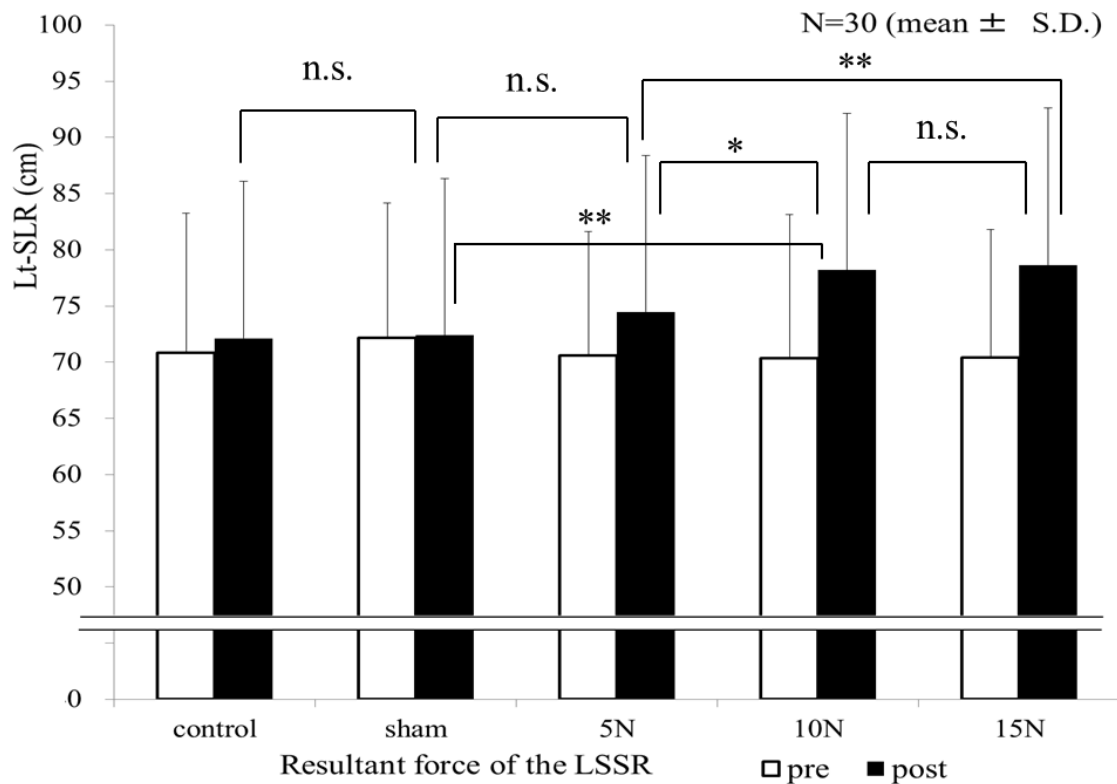


図 3-6 左 SLR の比較

* $p < .05$, ** $p < .01$, n.s. : not significant

3. 4. 3 右 LSSR による長座位体前屈の変化

二元配置分散分析の結果, 右 LSSR による長座位体前屈において介入 (5N, 10N, 15N) が sham, 対照と比較して変化のパターンに違いを認めた ($F_{(4, 1)} = 5.60, p < .01$) (図 3-7). 二元配置分散分析の結果, 長座位体前屈で 5 条件 (介入/sham/対照) と pre/post に交互作用が認められた. しかし多重比較 (Tukey-HSD) の結果, 5 条件の全ての 2 群間に, 有意差は認められなかった (表 3-3).

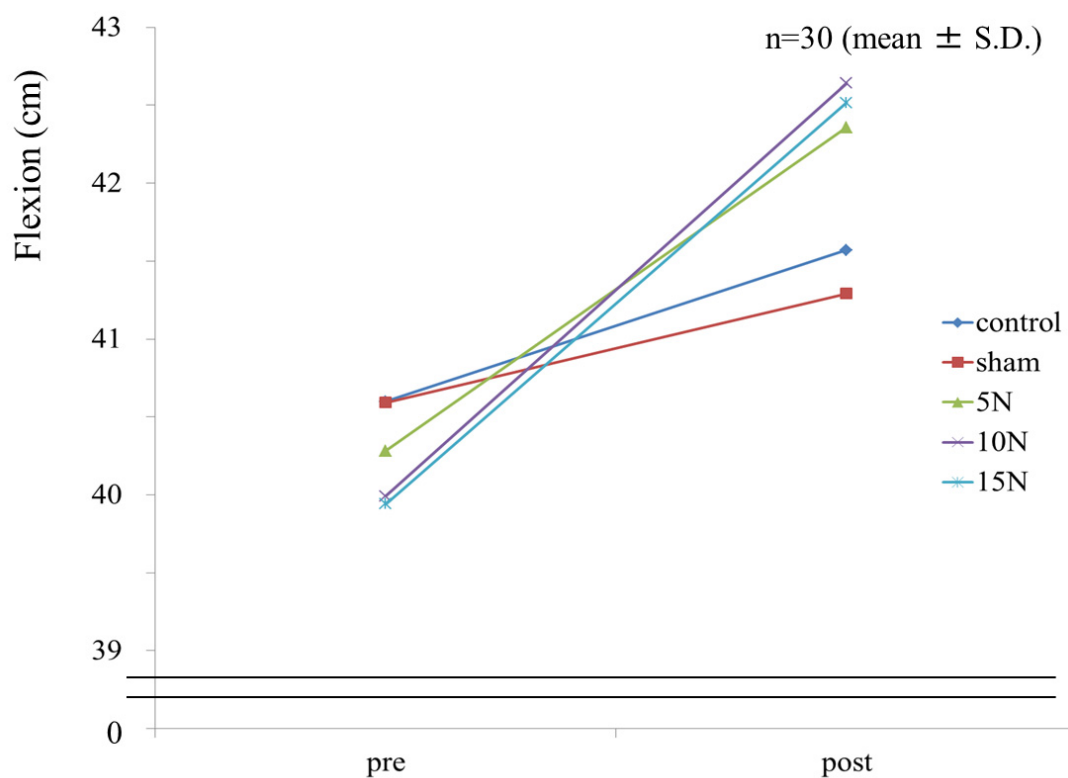


図 3-7 長座位体前屈の変化パターン

	Pre	Post	ANOVA
5N	39.8±10.0	41.9±10.2	F =5.60 P < .01
10N	39.5±10.0	42.1±10.2	
15N	39.4±11.1	42.0±10.6	
sham	40.1±10.7	40.8±11.1	
control	40.1±10.3	41.1±10.4	

n=30 (mean ± SD)

3. 5 考 察

3. 5. 1 右 LSSR による右 SLR に対する効果

デジタルレベル角度計 (inclinometer) を用いた P1 を指標とした SLR 測定の検者内信頼性は高い (ICC: $r = 0.96$) と報告されている²⁹⁻³⁰。本研究では、更に信頼性を高めるため、反対側の膝と骨盤を固定して SLR を測定した (図 3-2)。

SLR は LSSR の回旋強度を 5N, 10N および 15N で比較した。5N と比べ 10N と 15N が効果的であり、さらに 10N と 15N を比べると差がなかった。生体に与える負担やリスクを考慮すると、LSSR で用いる至適強度は 10N が妥当と考えられる。

LSSR の SLR に対する効果についての報告はない。Manipulation の手技として使われる腰椎の分節的回旋では、SLR の改善、体幹屈曲可動域の改善、疼痛の軽減、椎間板ヘルニアのサイズの減少などの効果が報告されている²⁾。Manipulation の回旋手技は側臥位上側の椎間関節を瞬間的に離開する。その時、cracking という音が発生する。Manipulation の回旋手技で SLR が改善するなら、持続的に回旋する LSSR でも SLR の改善が期待できる。

SLR が 70° 以上で出現する疼痛は腰椎椎間関節または仙腸関節が原因と考えられている³¹⁾。本実験の対象者の大多数は、初めから SLR が 70° 以上であった。LSSR では右 L5/S1 の椎間関節が離解され、左 L5/S1 の椎間関節は圧迫される。この椎間関節の離解と圧迫が LSSR 後に両側 SLR が有意に改善した原因である可能性がある。そしてそれは、椎間関節をリズミカルに圧迫する mobilization、椎間関節を急速に離解して cracking を起こす manipulation で SLR が改善したという結果³⁾と一致する。椎間関節の離解や圧迫が何故 SLR の改善に効果があるのかについての生理学的機序は明らかになっていない。しかし、LSSR で加えられる椎間関節の離解と圧迫という mechanical な刺激が SLR の改善に影響した可能性は高い。

Crawford & Hannan³⁾は椎間板ヘルニアにより、腰背部筋の防御性筋収縮、腰椎屈曲可動性の減少、SLR の減少が生じると報告している。その説明として、腰椎屈曲可動性の減少は神経根の圧迫が増すため、SLR の減少は神経根の緊張と根性疼痛が増し下肢痛が増悪するためとしている³⁾。すなわち、腰椎の回旋手技で腰椎屈曲可動域と SLR の改善が得られたなら、その手技により神経根の圧迫及び神経根の緊

張が軽減したことを意味する。椎間板ヘルニアに対する LSSR の腰椎屈曲可動域・同側 SLR の改善は同様の生体力学的効果が働いているためと考えられる。

健常成人の場合では、一分節の持続的回旋で神経根は 0.5~1.0cm 伸張され³²⁾、左の回旋では左の後根が左の前根に比べて、さらに伸張されるとの報告がある³³⁾。屈曲では脊髄や髄膜が伸張されて脊柱管の前方に移動し、伸展では後方に移動する³³⁾。側屈では凹側が短縮し、凸側が伸張される³³⁾。すなわち介入群の LSSR 右回旋では、神経根特に右の後根が伸張され、右 SLR が拡大したと考えられる。また右 LSSR では右回旋に加えて、左側屈・屈曲方向の動きが加えられる。そのため右側の神経系（神経根、後神経節、灰白交通枝、坐骨神経）と脊髄・髄膜が伸張され、右 SLR が拡大したと考えられる。

3. 5. 2 右 LSSR による左 SLR に対する効果

右 LSSR では右回旋・左側屈・屈曲の動きが複合される。そのため右ほどではないにしろ、特に屈曲の要素により、左側の神経系も伸張され、左 SLR が拡大したと考えられる。

また神経系の緊張は脊髄を横断して反対側に伝達されるとする報告がある³⁴⁻³⁵⁾。Rubenach³⁵⁾は健常成人に対して一方の上肢に症状が出るまでテンションテストを加え、そのポジションを保持しながら他方の上肢にテンションテストを加えると、元の上肢の症状が変化したと報告している。被験者 116 人中 77%に症状の変化が認められ、そのほとんどが症状の減少であったと報告している。さらに Bell³⁶⁾は健常成人 100 人に対して、上肢のテンションテストを維持しながら、両側 SLR を加えた結果、77 人に上肢の症状に変化が認められ、その内 67 人は症状が減少し、10 人は増悪したと報告している。すなわち神経系の緊張による作用は、四肢の左右のみならず片側上下肢についても関連している可能性を示唆する。今後、なぜ右 LSSR が左 SLR の拡大に作用するのか、生体力学のおよび生理学的な解明を目的とした研究が必要と考えられる。

3. 5. 3 右 LSSR による長座位体前屈に対する効果

LSSR の長座位体前屈に対する効果について、二元配置分散分析の結果、介入が sham, 対照と比較して変化のパターンに違いを認めた (図 3-7). しかし、多重比較の結果では、5 条件の全ての 2 試行間に有意差は認められなかった (図 3-8). これは、介入後の長座位体前屈の拡大量と比較して、対象者間内のばらつきが大きかったことが原因と考えられる.

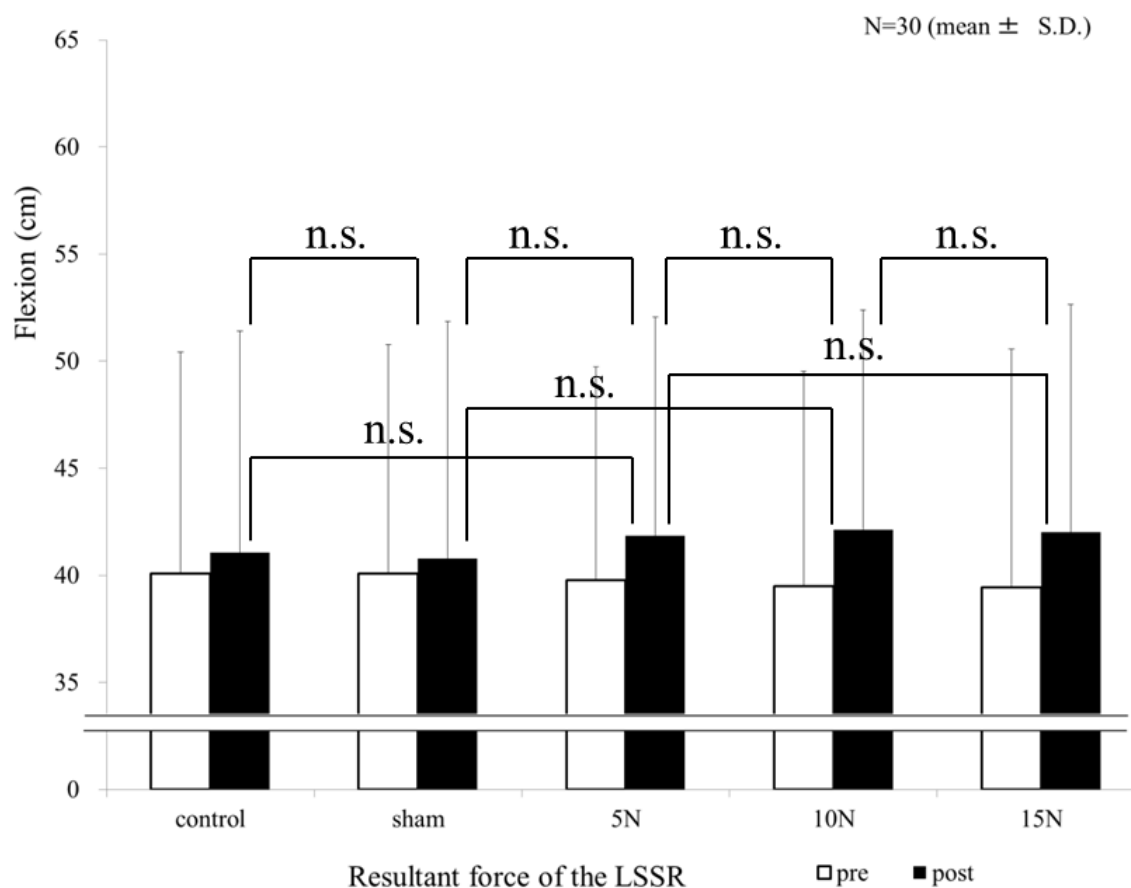


図 3-8 長座位体前屈の比較

n.s. : not significant

腰椎各分節の屈曲・伸展運動の回転軸は L5/S1 では椎間板のほぼ中央、他のレベルでは椎体上縁の中心部に位置する³⁷⁾。その回転軸より後方に位置する軟部組織構造は腰椎屈曲の制限となりうる。その構造には、黄色靭帯、椎間板、椎間関節関節包、後縦靭帯、棘上・棘間靭帯、脊柱起立筋及び腰背筋膜が含まれる³⁸⁾。特に椎間板線維輪、棘間靭帯、椎間関節関節包は線維の走行が斜めまたは横方向なので、LSSR により線維が伸張される可能性がある³⁸⁾。横断面積の広い黄色靭帯、後縦靭帯、脊柱起立筋、腰背筋膜も LSSR の回旋・屈曲・側屈の組み合わせにより、その運動方向に応じて伸張される可能性がある。これら背部の軟部組織が LSSR の持続的な伸張により、腰椎屈曲の拡大が得られたと考えられる。

直接体重が椎間板を圧迫し椎間板内圧を高める立位体前屈と比較して、長座位体前屈は線維輪の損傷を引き起こす危険性が低いと考えられる。ただ長座位体前屈には両肩屈曲、胸椎屈曲、股関節屈曲、ハムストリングスの緊張などが含まれるので、腰椎屈曲のみを測定しているとはいえない。しかし、LSSR で操作するのは L5/S1 の椎間関節の回旋のみで、股関節やハムストリングスのストレッチは含まれない。したがって、LSSR 後の長座位体前屈の拡大は、L5/S1 の持続的回旋により腰背部軟部組織が伸張された要素が含まれていたと考えられる。ただし、前屈の改善は著明ではなく、また SLR (すなわち股関節屈曲) も改善していることから、今後他の要素を除いてどれだけ腰椎屈曲に効果があるのか、その解明が求められる。さらに、本研究の対象者は健常成人であった。今後の研究としては、腰痛を有する対象者に対して、その効果について臨床研究が必要である。

3. 5. 4 LSSR の臨床応用

本研究の対象者は健常成人であった。従ってほとんどの対象者の SLR は介入前から 70°以上であった。それでも LSSR 後に同側・対側の SLR が有意に拡大した(図 3-5)。実際の臨床では、特に椎間板ヘルニアによる神経系(神経根・後神経節・脊髄神経)の圧迫に対して、LSSR をその除圧目的で用いることが多い。椎間板ヘルニアは椎間板の外側 60%を構成する線維輪が損傷し、椎間板内圧の上昇に伴い内側の髄核が後外側に突出し、神経系を圧迫する障害である³⁸⁾。ヘルニアにより神経

系が圧迫されると、神経系の緊張が増し、根性疼痛が増悪して SLR が低下する。LSSR により、ヘルニアの生じている分節で神経系への圧迫を除去できれば、SLR が改善し根性疼痛が軽減する。圧迫されていた神経根が支配する筋の筋力と皮膚節の感覚が回復する。しかも障害のある分節を、持続的に回旋することにより、神経系を含めた靭帯・筋・筋膜などがより効果的に伸張される³⁹⁾。さらにヘルニアによる圧迫や閉鎖空間での腫脹により、動静脈圧迫により生じていた血流障害も改善されると予想する。

腰痛患者のほとんどに腰椎部の屈曲制限が生じる。しかし、腰椎の屈曲可動域を改善するのは容易ではない^{3, 40-41)}。特に椎間板の線維輪の損傷による屈曲制限とそれに伴う腰痛に対しては、腰椎屈曲の自動・他動運動の手技を用いると、線維輪に対して伸張が加えられるので症状を悪化させる可能性がある。一方、LSSR では片側 2°の回旋でしかも 10N 程度の低強度の回旋を加えるだけなので、屈曲方向の動きに比べて線維輪に対する機械的ストレスは少ない。したがって、神経学的徴候や症状を注意深くモニターしながら施行するならば、LSSR は腰痛患者、特に椎間板ヘルニアによる神経系の圧迫に対して有効な治療手技になると考える。

LSSR によって組織に加えられる mechanical なストレスは力×時間の総和となる。至適強度の 10N が他の治療手技で加えられる力と比較して小さいとしても、10N の力を長い時間加え続ければ、症状を悪化させる可能性がある。したがって、実際の臨床では、患者の症状と徴候の変化を評価しながら治療手技の時間と強さを微調整する必要がある。

3. 6 結 論

LSSR は両側 SLR の拡大に効果のあることが確認された。また SLR の拡大を目的とした LSSR の至適強度は約 10N であることが示唆された。これは、従来腰痛治療や腰椎可動域改善目的に、mobilization や manipulation で腰椎棘突起に加えられる 220N～550N、400～600N に比較すると非常に弱い回旋力といえる²³⁻²⁴⁾ (図 3-9)。したがって、LSSR は適切な評価に基づき治療手技を選択するならば、急性腰痛や神経根圧迫症状に対してのみならず、他の治療目的にも適応範囲を広げられる可能

性がある。

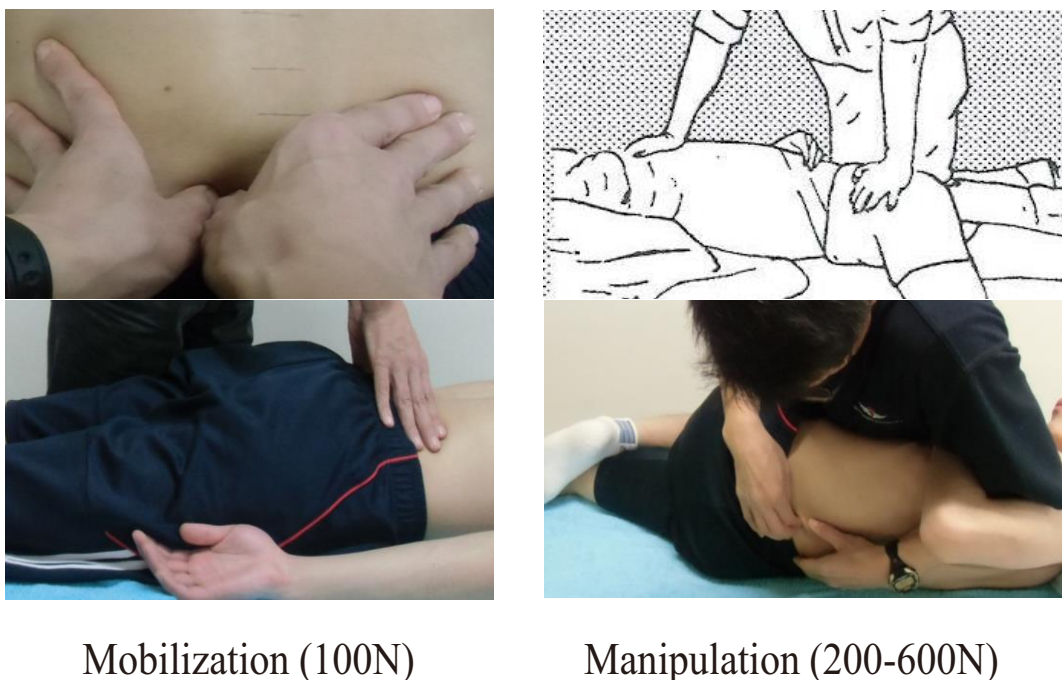


図 3-9 Mobilization と Manipulation で棘突起に加えられる力の強さ

LSSR の長座位体前屈に対する効果について，二元配置分散分析の結果，介入が sham，対照と比較して変化のパターンに違いを認めた（図 3-7）．しかし，多重比較の結果では，有意差は認められなかった．これは，介入後の長座位体前屈の拡大量と比較して，対象者間内のばらつきが大きかったことが原因と考えられる．

本研究の対象者は健常成人であり，介入前の SLR はほとんどの対象者で 70° 以上であった．それにもかかわらず LSSR 介入後には同側・対側共に SLR が有意に拡大した．腰痛患者，特に神経系の圧迫を伴う場合，著明に SLR が低下する．神経系の圧迫を軽減するのに有効とされる LSSR の効果と適応を明らかにするために，今後は腰痛患者を対象とした臨床研究への移行が必要である．

文 献

- 1) Jull GA. The management of acute low back pain. In GP Grieve, (Ed.), *Modern Manual Therapy of the Vertebral Column*. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1986: p. 744.
- 2) McFadden K, Taylor J. Axial rotation in the lumbar spine and gapping of the zygapophyseal joints. *Spine* 1990; 15, 295-299.
- 3) Crawford CM, Hannan RF. Management of acute lumbar disk herniation initially presenting as mechanical low back pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 1999; 22, 4, 235-244.
- 4) Mansour M, Spiering S, Lee C, Dathe H, Kalscheuer AK, Kubein-Meesenburg D, Nägerl H. Evidence for IHA migration during axial rotation of a lumbar spine segment by using a novel high-resolution 6D kinematic tracking system. *Journal of Biomechanics* 2004; 37, 583-592.
- 5) Stude DE. A functional pre-manipulative spinal orthopedic assessment maneuver. *Journal of Chiropractic Medicine* 2005; 4, 2, 61-69.
- 6) Van Hoesen LB. Mobilization and manipulation techniques for the lumbar spine. In GP Grieve, (Ed.), *Modern Manual Therapy of the Vertebral Column*. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1986: p. 736.
- 7) Maitland, GD. *Maitland's Vertebral Manipulation*. (7th ed.) . Edinburgh: Elsevier; 2005: p. 186.
- 8) Pearcy MJ and White MW. Movements of the lumbar spine measured by three-dimensional x-ray analysis. *Journal of Biomedical Engineering* 1982; 4, 107-112.
- 9) Bisschop A, Kingma I, Bley RLAW, Paul CPL, van der Veen AJ, van Royen BJ, van Dieën JH. Effects of repetitive movement on range of motion and stiffness around the neutral orientation of the human lumbar spine. *Journal of Biomechanics* 2013; 46, 187-191.
- 10) Stankovic R, Johnell O, Maly P, Willner S. Use of lumbar extension, slump test, physical and neurological examination in the evaluation of patients with suspected

- herniated nucleus pulposus. A prospective clinical study. *Manual Therapy* 1999; 4, 1, 25-32.
- 11) Breig A, Troup JDG. Biomechanical considerations in the straight-leg-raising test: cadaveric and clinical studies of the effects on medial hip rotation. *Spine* 1979; 4, 242-250.
 - 12) Troup JDG. Biomechanics of the lumbar spinal canal. *Clinical Biomechanics* 1986; 1, 31-43.
 - 13) Urban LM. The straight-leg-raising test: a review. In GP Grieve, (Ed.), *Modern Manual Therapy of the Vertebral Column*. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1986: p. 569.
 - 14) Lurie JD. What diagnostic tests are useful for low back pain? *Best Practice and Research Clinical Rheumatology* 2005; 19, 4, 557-575.
 - 15) Willet E, Hebron C, Krovvel O. The initial effects of different rates of lumbar mobilizations on pressure pain thresholds in asymptomatic subjects. *Manual Therapy* 2010; 15, 173-178.
 - 16) Bonnie YST, Evans J, Tong P, Lee RYW. Measurement of lumbar spine loads and motions during rotational mobilization. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2005; 28, 4, 238-244.
 - 17) Gregersen GG and Lucus DB. An *in vivo* study of the axial rotation of the human thoracolumbar spine. *The Journal of Bone and Joint Surgery* 1967; 49-A, 2, 247-262.
 - 18) Gunzburg R, Hutton W, Fraser R. Axial rotation of the lumbar spine and the effect of flexion: an *in vitro* and *in vivo* biomechanical study. *Spine* 1991; 16,1, 22-28.
 - 19) Shirazi-Adl A. Analysis of large compression loads on lumbar spine in flexion and in torsion using a novel wrapping element. *Journal of Biomechanics* 2006; 39, 267-275.
 - 20) Gercek E, Hartmann F, Kuhn S, Degreif J, Rommens PM, Rudig L. Dynamic angular three-dimensional measurement of multisegmental thoracolumbar motion *in vivo*. *Spine* 2008; 33, 21, 2326-2333.
 - 21) Pearcy MJ, Portek I, Shepherd J. Three-dimensional x-ray analysis of normal

- movement in the lumbar spine. *Spine* 1984; 9, 3, 294-297.
- 22) Drake JDM and Callaghan JP. Do flexion/extension postures affect the *in vivo* passive lumbar spine response to applied axial twist moments? *Clinical Biomechanics* 2008; 23, 510-519.
 - 23) Hessel BW, Herzog W, Conway PJW, McEwen MC. Experimental measurement of the force exerted during spinal manipulation using the Thompson technique. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 1990; 13, 448-453.
 - 24) Burns SH, Mierau DR. Chiropractic management of low back pain of mechanical origin. In LGF Giles and KP Singer, (Eds.), *Clinical Anatomy and Management of Low Back Pain*. Oxford: Butterworth Heinemann; 1997; p. 352.
 - 25) Pearcy MJ and Tibrewal SB. Axial rotation and lateral bending in the normal lumbar spine measured by three-dimensional radiography. *Spine* 1984; 9, 6, 582-587.
 - 26) Yamamoto I, Panjabi MM, Crisco T, Oxland T. Three-dimensional movements of the whole lumbar spine and lumbosacral joint. *Spine* 1989; 14, 11, 1256-1260.
 - 27) Adams MA, Hutton WC. The mechanical function of lumbar apophyseal joints. *Spine* 1983; 8, 3, 327-330.
 - 28) Cassidy JD, Thiel HW, Kirkaldy-Willis WH. Reviews of the literature: Side posture manipulation for lumbar intervertebral disk herniation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 1993; 16, 2, 96-103.
 - 29) Matyas T and Bach T. The reliability of selected techniques in clinical arthrometrics. *Australian Journal of Physiotherapy* 1985; 31, 175-199.
 - 30) Boland RA and Adams RD. Effects of ankle dorsiflexion on range and reliability of straight leg raising. *Australian Journal of Physiotherapy* 2000; 46, 191-200.
 - 31) Magee DJ. *Orthopedic Physical Assessment* (3rd ed.). Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1997: p. 515.
 - 32) Farfan HF. *Mechanical disorders of the low back* 1975. Lea & Febiger: Philadelphia.
 - 33) Breig A. *Adverse mechanical tension in the central nervous system* 1978. Stockholm: Almqvist & Aiksell.

- 34) Elvey RL. Abnormal brachial plexus tension signs. In: Proceedings, Second biennial conference, Manipulative Therapists Association of Australia 1980; Adelaide.
- 35) Rubenach H. The upper limb tension test. In: Proceeding World Congress of Physiotherapy 1987; Sydney
- 36) Bell A. The upper limb tension test – bilateral straight raising – a validating manoeuvre for the upper limb tension test. In: Dalziel BA, Snowsill JC (eds) Fifth biennial conference, Manipulative Therapists Association of Australia 1987; Melbourne.
- 37) Pearcy MJ, Bogduk N. Instantaneous axes of rotation of the lumbar intervertebral joints. *Spine* 1988; 13, 1033-1041.
- 38) Bogduk N, Twomey LT. *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine* (2nd ed.). Melbourne: Churchill Livingstone; 1991.
- 39) Herbert R. The passive mechanical properties of muscle and their adaptations to altered patterns of use. *Australian Journal of Physiotherapy* 1988; 34, 141-149.
- 40) Goodsell MG, Lee M, Latimer J. Short-term effects of lumbar posteroanterior mobilization in individuals with low-back pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2000; 23 (5): 332-342.
- 41) Stamos-Papastamos N, Petty N, Williams, JM. Changes in bending stiffness and lumbar spine range of movement following lumbar mobilization and manipulation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2011; 34 (1): 46-53.

第 4 章

椅子座位前屈位腹筋群収縮の腰椎屈曲可動域改善効果と超音波画像による効果検証

4. 1 研究の背景

本研究の第2章、第3章の研究で、腰椎の持続的分節的回旋 (lumbar segmental sustained rotation: LSSR) は腰椎の屈曲方向に力が加わっていることが明らかとなった。と同時に、LSSR は両側の下肢伸展挙上に効果が認められた。しかし、立位体前屈、長坐位体前屈に対する効果は十分とはいえなかった。そこで第4章では、腰痛予防を目的とした、腰椎屈曲の改善に効果的な手技 (方法) について考案し、その定量的評価を行った。

腰痛を伴う腰背部は、軟部組織の柔軟性が低下し、腰椎可動域が制限される¹⁻³⁾。Shirley と Lee¹⁾ は、腰痛が腰椎伸展可動域制限を招くことを明らかにした。しかし、可動域制限は屈曲でも起こり得る^{2,4)}。腰背部に疼痛が生じれば疼痛防御性筋収縮が起こり、腰背部筋の伸張性が低下する。それが腰椎の屈曲制限の原因となる。腰背部筋の持続的収縮は腹筋群の収縮を抑制し、腹筋群の筋力低下を招く。また、腰椎屈曲可動域が制限されると、腹筋群が収縮しにくくなり、さらに腹筋群の筋力は低下する。すなわち、腰痛⇒腰背部の筋スパズム⇒腰椎屈曲制限⇒腹筋群筋力低下⇒腰痛という悪循環が形成される。

腰椎屈曲可動域を改善するためにはいくつかの方法がある。屈曲自動および屈曲他動の生理学的運動 (passive physiological intervertebral movements)、腰椎棘突起後前方への mobilization、椎間関節の mobilization (passive accessory intervertebral movements)、manipulation などである⁵⁻⁹⁾。しかし、これらの治療法のほとんどで、時間を要する割には明らかな腰椎屈曲可動域の拡大は得られていない⁹⁻¹²⁾。

そこで本研究では、椅子座位前屈位で腹筋群を収縮させ (bracing)^{13,14)}、腹部を凹ませ、腹圧を介して腰背部の軟部組織を伸張させ、腰椎部の屈曲可動域を拡大する手法を考案し、基礎データを収集した。

生体 (*in vivo*) での腰椎可動域測定は現在、体表面からの測定が主流である¹⁵⁻²⁰⁾。しかし、体表面から脊椎の動きを測定する場合、皮膚の変位 (skin displacement) が避けられないため、その測定機器の精度が高くても、骨の動きをそのまま反映しているとはいえない^{15,21)}。本研究では、skin displacement の影響を除くため、超音波画像から腰椎棘突起間距離を測定した。そして、椅子座位前屈位での腹筋群収

縮が腰椎屈曲可動域改善に有効であることを確認した。

4. 2 研究の目的

本研究の目的は、椅子座位前屈位 10 秒間 5 回の腹筋群収縮 (bracing) が、腰椎屈曲可動域の改善に効果があるか否かを明らかにすることである。

4. 3 研究の方法

4. 3. 1 研究デザイン

被験者 18 名を無作為順序で介入 (腹筋群収縮) と対照 (腹筋群非収縮) に分け、立位体前屈を測定した。両試行の実施に 1 週間の間隔を開けた。立位体前屈距離 (cm) 測定には 30 cm の台を使用し、台にメジャーを固定した。対象者は台の上に両足を揃えて立ち最大前屈し、台の上端から中指先端までの距離を測定した。台の上端からは (-)、下は (+) と表記した。対照では立位体前屈を 2 回測定した。

さらに L5/S1~L1/2 の棘突起間距離 (mm) を超音波画像で 2 回測定した。腰椎の棘突起間距離測定には超音波測定装置 (デジタル超音波診断装置 MyLab25, Q2J-EA1104-2, 日立メディコ製, 日本) を用いた。B モード (brightness mode), 12,0 MHz, 深達度 50mm, リニア型プローブを使用して測定した。

4. 3. 2 対象

本研究では、まず超音波画像による計測の検者内信頼性を確認した。そして次に、立位体前屈距離および棘突起間距離を測定した。本研究は、こおりやま東都学園研究倫理委員会から研究実施の承認を得た (承認番号 R1007)。全員に研究の目的と内容、利益とリスク、個人情報保護、参加の拒否と撤回について説明し、参加同意書は本人が署名した。

4. 3. 2. 1 立位体前屈位での超音波画像による腰椎棘突起間距離測定の検者内信頼性確認の対象と方法

1) 対象

対象者は健常成人男性 6 名で、年齢は 27～46 歳であった。対象の属性（身長・体重・BMI）は平均値±標準偏差で示す。身長 170.5±5.0cm，体重 61.0±8.6kg，BMI 20.9±1.8kg/m²であった。全員に全身性疾患，重篤な神経筋骨格系症状はなく，本研究開始から 12 カ月以内に腰痛および下肢痛の既往もなかった。また全員が薬物治療を受けていなかった。

2) 方法

検者 1 名が，超音波画像から，6 名の立位体前屈位での腰椎棘突起間距離（L5/S1～L1/2）を繰り返し 4 回測定し（図 4-1），その再現性を評価した。最初にプローブで仙骨（S1）の棘突起を見つけ，そこから L5，L4，そして L1 まで順次棘突起を辿り，それぞれの棘突起間距離を測定した（図 4-1）。

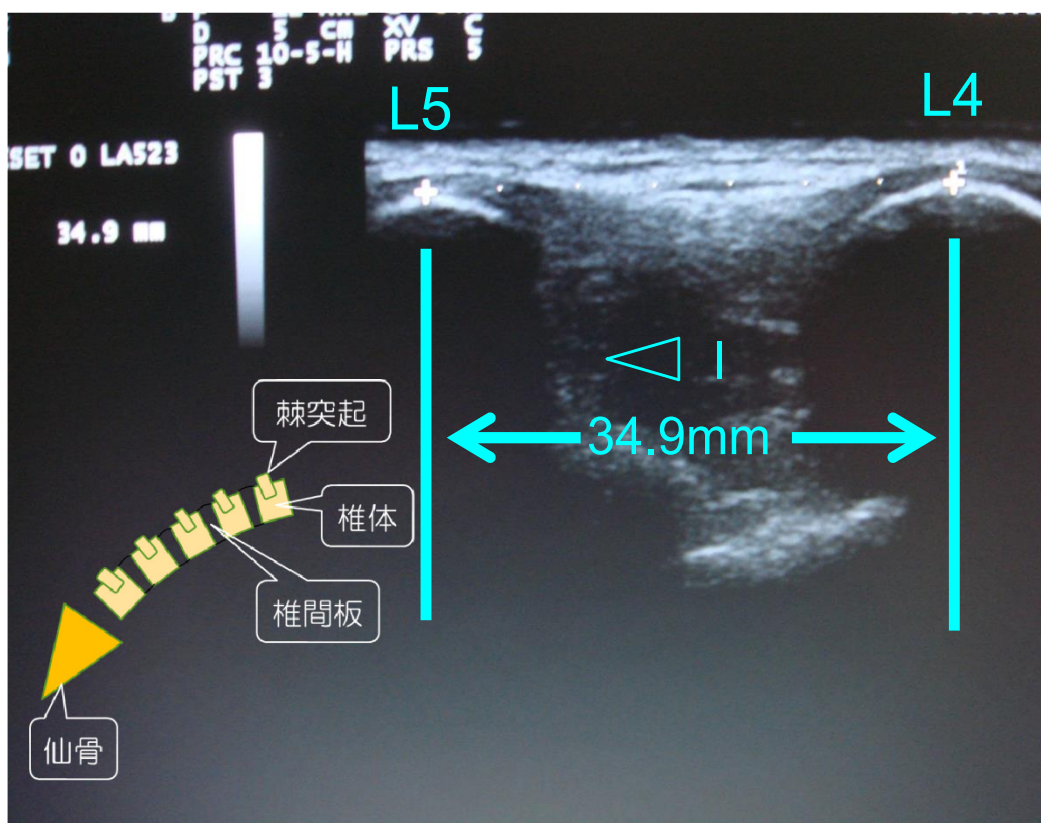


図 4-1 超音波測定装置のモニター上の上下 2 椎体の棘突起最上端を結ぶ距離を測定。

4. 3. 2. 2 立位体前屈距離および棘突起間距離の測定

1) 対 象

対象者は健常成人 18 名（男性 9 名，女性 9 名），年齢 20～29 歳であった．対象の属性（身長・体重・BMI）は平均値±標準偏差で示す．身長 163.1±10.1cm，体重 62.4±15.1kg，BMI 23.2±3.8kg/m² であった．全員に全身性疾患，重篤な神経筋骨格系の症状はなく，本研究開始から 12 カ月以内に腰痛および下肢痛の既往もなかった．また全員が薬物治療を受けていなかった．

4. 3. 3 使用機器

腰椎の棘突起間距離測定には超音波測定装置（デジタル超音波診断装置 MyLab25, Q2J-EA1104-2, 日立メディコ製，日本）を用いた．B モード（brightness mode），12.0 MHz，深達度 50mm，リニア型プローブを使用して測定した（図 4-2）．

本機器の性能項目は以下の通りである．ペネトレーション深度は，中心周波数 12.0MHz で 47mm 以上である．距離分解能は，中心周波数 12.0MHz で 0.6mm 以下である．方位分解能は，リニア形プローブで 3.0mm 以下である．音響作動周波数は，中心周波数 12.0MHz で 12.0MHz±30% である．最大超音波出力は，減衰空間ピーク時間平均強度：1zpta=720mW/cm² で，メカニカルインデックス：MI=1.9 以下である．



図 4-2 デジタル超音波診断装置 (MyLab25: 日立メディコ社製)

4. 3. 4 研究手順

4. 3. 4. 1 対照の測定手順

腰椎棘突起間距離の測定に先立ち、L5 棘突起の位置を特定するため、腹臥位で腰椎棘突起下端を触診しペンで印を付けた。対照の立位体前屈距離と腰椎棘突起間距離の測定は 2 回とした。2 回の測定間隔は約 30 分であった。

4. 3. 4. 2 介入方法と測定手順

介入はまず立位体前屈距離をメジャーで測定した。次に立位最大屈曲位で L5/S1～L1/2 の棘突起間距離を超音波測定装置で測定した。超音波画像による棘突起間距離の測定に要した時間は 10～30 秒間であった。棘突起間距離は超音波画像上の上下 2 椎体の棘突起最上端を結ぶ距離とした。そして、椅子座位前屈位で息を大きく吸って吐き、そのあと腹筋群を収縮させた。腹筋群の収縮は、吸息に伴って腹部を凹ませ腹圧を高めることで腹部から腰背部方向に押す力を発生させ、腰背部の軟部組織を伸張した (図 4-3)。

対象者は、腰背部が伸張されることを感じながら腹筋群の収縮を保持した。「収縮 10 秒間保持，5 秒間休止」を 5 回繰り返した。直後に立位最大前屈位とし，超音波測定装置で腰椎棘突起間距離を測定し，次に立位体前屈距離を測定した。この測定を介入前に 1 回，介入後に 1 回行った。介入前後の測定間隔は約 30 分であった。



図 4-3 椅子座位前屈位での腹筋群収縮（左：開始肢位 中：腹筋群収縮 右：腰椎の解剖）

4. 3. 5 統計解析

データ解析には SPSS for Windows ver. 21 を使用した。超音波測定の信頼性分析には級内相関係数（ICC）を用いた。立位体前屈距離と棘突起間距離の比較は，介入/対照と pre/post を 2 要因とする反復測定による二元配置分散分析を用いた。また，腹筋群収縮前後の各椎体間距離の比較には t 検定を用いた。

4. 4 結果

4. 4. 1 超音波測定の信頼性分析

超音波画像による腰椎棘突起間距離測定の検者内信頼性は有意に高い値を示した。ICC_{1,1} は 0.98 ($p < .01$)，ICC_{1,4} は 0.99 ($p < .01$) という結果が得られた。

4. 4. 2 立位体前屈の変化

介入は対照と比較して、立位体前屈時の中指到達距離に有意 ($p < .01$) な増加を認めた (表 4-1).

	pre	post	post - pre	ANOVA
介入	49.6 ± 94.2	108.9 ± 87.3	59.4 ± 26.1	F = 26.98 **
対照	50.7 ± 84.9	65.4 ± 85.6	16.8 ± 17.8	$p < .01$

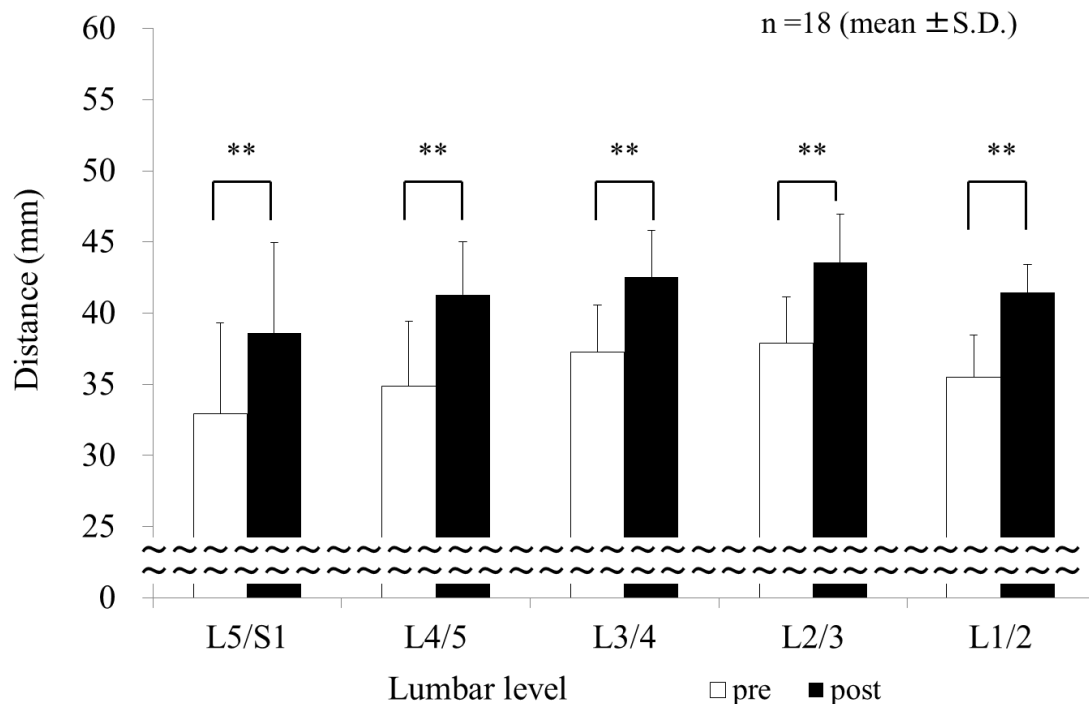
** : $p < .01$, n=18 (mean ± S.D.)

ANOVA の値は介入/対照と pre/post との交互作用の F 値とその確率を表す.

4. 4. 3 腰椎棘突起間距離の変化

腹筋群収縮前後の L5/S1~L1/2 の各椎体間の棘突起間距離の比較では、すべての椎体間において腹筋群収縮前後で有意 ($p < .01$) な拡大が認められた (図 4-4).

表 4-2 に示したように腹筋群収縮前後の棘突起間距離の比較では、収縮後に有意な棘突起間距離の増加が認められた ($p < .01$). また、対照と比較して介入で有意な棘突起間距離の増加が認められた ($p < .01$). 図 4-4 に示したように腰椎の L5/S1~L1/2 の各棘突起間距離についても、すべての分節で、収縮後に有意な増加が認められた ($p < .01$).



** : $p < .01$ (介入前後の比較)

図 4-4 腹筋群収縮前後の L5/S1~L1/2 の各椎体間の棘突起間距離の比較

4. 5 考 察

4. 5. 1 超音波測定装置による腰椎棘突起間距離の測定

超音波画像による腰椎棘突起間距離の測定は、検者内信頼性が高いことが分かり、本研究での効果確認に貢献した。超音波測定装置は小型・軽量で、解像度が高く、かつ高機能である。X線などと異なり非侵襲的で、さらに skin displacement の影響を受けず、研究や臨床評価で使用しやすいという利点がある。

ただし高額過ぎるのが欠点である。また、たとえ 1 回の測定に要する時間が 10~30 秒程度であっても、対象者が立位最大前屈位を保持し、超音波画像から腰椎全体の棘突起間距離を測定するのは、特に腰痛を有する対象者の場合、かなりの負担となる。しかし、1 つの分節間の棘突起間距離の測定ならば、数秒で終了するため対象者の負担は少なく、測定の精度を考えると有用である。

超音波画像では、各腰椎棘突起間距離の測定により、各分節の屈曲可動域の傾向が確認できる (図 4-3)。本研究の結果は、Percy ら¹⁵⁾が行った X 線での各分節の

屈曲角度の測定結果と類似している。超音波画像は、腰椎の各分節可動域の測定に役立ち、推奨できる。

一方で上記のような制約があり、特に腰痛を有する対象者には負担が大きく、腰痛を悪化させる可能性がある。この測定装置に代わり得る、対象者の負担が軽く簡便かつ安価な測定法の開発が求められる。例えばテープメジャー法との相関分析を行い、超音波測定装置の代用としての有効性を検討することなどである。

4. 5. 2 腹筋群収縮による腰椎屈曲可動域の拡大

椅子座位前屈位 10 秒間 5 回の腹筋群収縮により腰椎棘突起間距離は、介入前よりも介入後で、対照よりも介入で、それぞれ有意な増加が認められた。立位体前屈距離も対照よりも介入で有意に改善した。介入の L5/S1～L1/2 の合計棘突起間距離の増加は平均 28.9 mm であり、対照では平均 6.7 mm であった (表 4-2)。

表 4-2. 腰椎棘突起間距離の変化 (mm)

	pre	post	post - pre	ANOVA
介入	178.4 ± 14.4	207.4 ± 10.7	28.9 ± 6.7	F = 136.02**
対照	189.9 ± 17.4	190.8 ± 18.4	6.7 ± 3.3	p < .01

** : p < .01, n=18 (mean ± S.D.)

ANOVA の値は介入/対照と pre/post との交互作用の F 値とその確率を表す。

介入の立位体前屈距離の増加は平均 59.4 mm であり、対照では平均 16.8 mm であった (表 4-1)。その差は約 42.6 mm (71%) である。この 42.6 mm のうち 28.9 mm (68%) は腰椎棘突起間距離の増加によるものであった (図 4-5)。

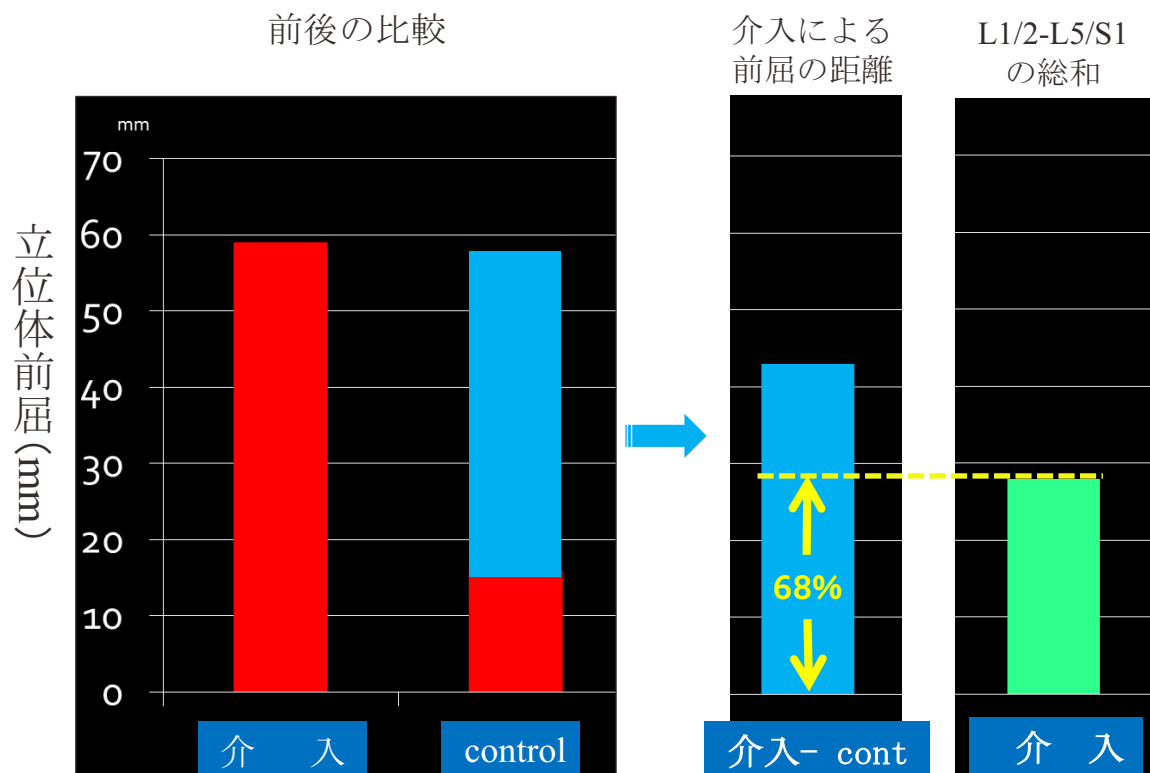


図 4-5 棘突起間距離の伸張（前屈の 68%）

立位 体前屈を 2 回繰り返した対照の前屈距離増加は試行による影響と考えられる。椅子座位で腹筋群の収縮と同時に腹部を凹ますことにより、増加した腹圧を介して腰背部の軟部組織（皮膚、靭帯、筋、関節包、椎間板）が伸張され、腰椎棘突起間距離が増加し、腰椎屈曲可動域が改善したと推察される。

椅子座位前屈位で 10 秒間 5 回の腹筋群収縮は容易でかつ短時間に行えるため、ほとんどの対象者に処方できる。腰椎屈曲可動域改善を目的にホームエクササイズとして処方可能である。ただし、この方法が効果的に正しく実施可能となるためには手技の内容を理解した理学療法士の指導を受けることが望ましい。その意味で、自主的訓練というよりは治療手技の範疇に含まれる。

今後、腰椎屈曲可動域改善を目的とした他の治療手技との効果の比較が必要である。また、本研究は若年健常成人が対象であったが、腰痛患者や著しい可動域制限を有する対象者にも実施し、健常成人との効果の比較検討が必要である。

4. 5. 3 椅子座位前屈位での腹筋群収縮の臨床応用

腰椎屈曲可動域を改善するのは容易ではない^{9-12,18)}。本研究では、椅子座位前屈位で腹筋群を収縮することにより腰椎屈曲可動域の有意な改善が得られた。そこで、この方法の腰痛治療に対する臨床応用について考えてみる。腰痛の治療と予防のためには、まず腰痛の評価が必要である²³⁾。そして、その評価結果から、腰痛の原因を推論し、仮説を立て、治療によってその仮説を証明する必要がある²⁴⁾。また、治療によって腰痛が改善しても、再発しないという保証はない。

腰痛再発予防には、腰椎可動域の維持・改善と、腰部を支える腹筋群および背筋群の筋力強化トレーニングが必要である。椅子座位前屈位で腹筋群を収縮することにより、腰背部の軟部組織が伸張される。この運動を定期的に継続することで、椎間板線維輪の線維化予防、脱水分化予防が図られる可能性がある²⁵⁻²⁹⁾。腰椎屈曲可動域が改善したならば、椅子座位で腹筋群の筋収縮を行う。可動域が改善した状態で行うと腹筋群の収縮は容易になる。本研究の方法は、可動域改善、筋力および筋持久力の改善、そして腰痛再発予防に役立つと考えられる(図4-6)。

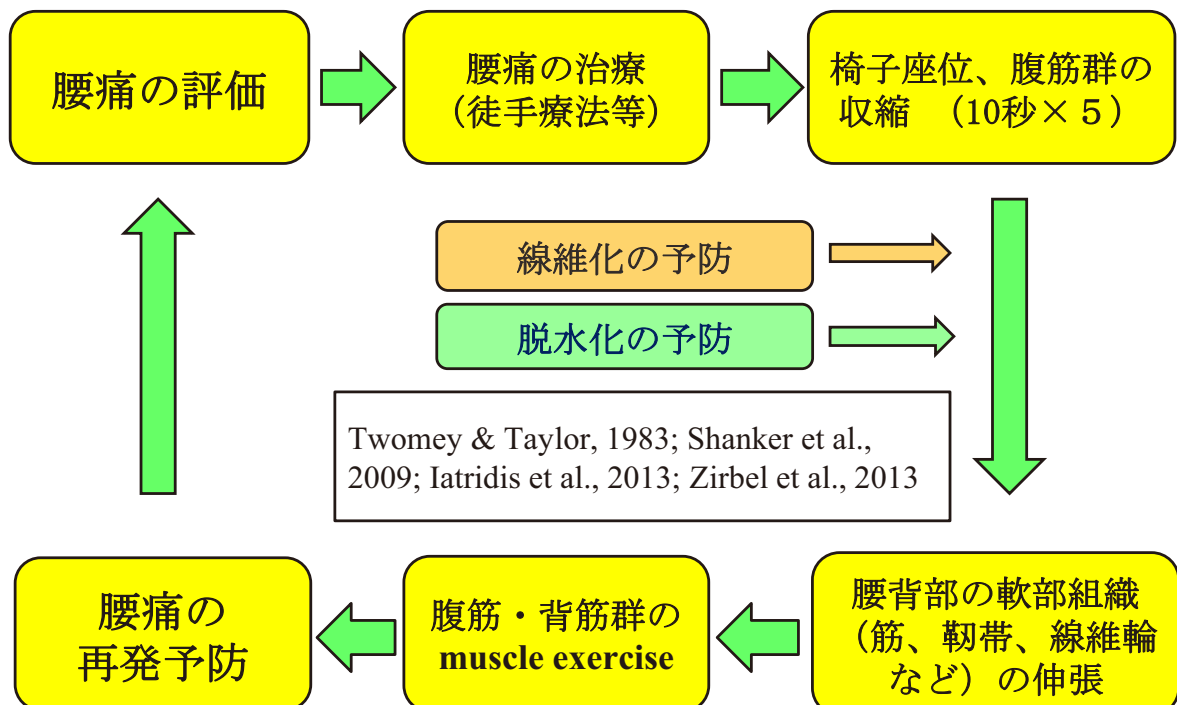


図 4-6 腰痛治療と腰痛再発予防

4. 6 結 論

椅子座位前屈位で腹筋群を 10 秒間 5 回収縮させることで、腰椎屈曲可動域が有意に改善し、立位体前屈距離が有意に増加することを超音波画像により確認した。この方法は容易で、かつ短時間（10 秒間×5 回）で行える。また治療者や機器を必要としないため、自主的訓練手技として処方しやすい。さらに、短時間で可動域改善効果が得られるならば、対象者は継続的にこの方法を実施し、腰椎屈曲可動域の維持・改善効果が得られると期待される。

超音波画像による腰椎棘突起間距離の測定は、腰椎屈曲可動域の改善を客観的に検証するのに役立つ。また検者内信頼性が高いことが明らかとなった。しかし、腰痛患者の腰椎全体の測定では対象者の腰椎への負担が大きく、妥当性に欠けるなどの課題がある。ただし、短時間、腰椎の各分節の測定ならば、負担は少なく、臨床でも応用可能と考える。本研究は若年健常成人を対象としたが、今後は、腰痛を伴う腰椎可動域制限のある対象者で同様の効果が得られるか確認する必要がある。

本研究の第 2 章、第 3 章では、腰椎屈曲可動域改善については十分な効果が得られなかった。しかし、第 4 章の椅子座位前屈位、10 秒間×5 回の腹筋群収縮では十分な腰椎屈曲可動域の改善が認められた。腰椎の持続的分節的回旋と椅子座位前屈位、腹筋群収縮訓練手技を効果的に組み合わせて継続的に実施するならば、腰痛の治療と再発予防に貢献できる可能性が示唆された。

筋・腱・椎間板を含む軟部組織のストレッチ効果は 1 日程度しか持続しない³⁰⁾。筋・腱の緊張程度、長さを感じ取る筋紡錘・腱紡錘の働きにより、元の長さに戻そうとするサーボメカニズム (servo-controlled mechanism) が働くからである³¹⁾。効果が 1 日しか持続しないのであれば自動運動手技を行おうとする意欲が低下する。しかし、実際の臨床では、毎日継続的に実施することで可動域の改善が得られている。これは、継続的に軟部組織を伸張することが、筋紡錘・腱紡錘の自然長を感じ取り維持しようとするサーボメカニズムに作用し、変化させている可能性を示唆する。

文 献

- 1) Shirley D, Lee M. A preliminary investigation of the relationship between lumbar postero-anterior mobility and low back pain. *The Journal of Manual and Manipulative Therapy* 1993; 1 (1): 22-25.
- 2) Wong TKT and Lee RYW. Effects of low back pain on the relationship between the movements of the lumbar spine and hip. *Human Movement Science* 2004; 23: 21-34.
- 3) Miller EM, Bazrgari B, Nussbaum MA, Madigan ML. Effects of exercise-induced low back pain on intrinsic trunk stiffness and paraspinal muscle reflexes. *Journal of Biomechanics* 2013; 46: 801-805.
- 4) Hoffman SL, Johnson MB, Zou D, Van Dillen LR. Difference in end-range lumbar flexion during slumped sitting and forward bending between low back pain subgroups and genders. *Manual Therapy* 2012; 17: 157-163.
- 5) Maitland GD. *Vertebral Manipulation*. 5th ed. London: Butterworths; 1986. P. 117, 280.
- 6) Fritz JM, Whitman JM, Childs JD. Lumbar spine segmental mobility assessment: An examination of validity for determining intervention strategies in patients with low back pain. *Arch Phys med Rehabil* 2005; 86: 1745-1752.
- 7) Abbott JH, Flynn TW, Fritz JM, Hing WA, Reid D, Whitman JM. Manual physical assessment of spinal segmental motion: Intent and validity. *Manual Therapy* 2009; 14, 36-44.
- 8) Moutzouri M, Perry J, Billis E. Investigation of the effects of a centrally applied lumbar sustained natural apophyseal glide mobilization on lower limb sympathetic nervous system activity in asymptomatic subjects. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2012; 35 (4): 286-293.
- 9) Shum GL, Tsung BY, Lee RY. The immediate effect of posteroanterior mobilization on reducing back pain and stiffness of the lumbar spine. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2013; 94: 673-679.
- 10) Goodsell MG, Lee M, Latimer J. Short-term effects of lumbar posteroanterior

- mobilization in individuals with low-back pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2000; 23 (5): 332-342.
- 11) Konstantinou K, Foster N, Rushton A, Baxter D, Wright C, Breen A. Flexion mobilization with movement techniques: The immediate effects on range of movement and pain in subjects with low back pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2007; 30 (3): 178-185.
 - 12) Stamos-Papastamos N, Petty N, Williams, JM. Changes in bending stiffness and lumbar spine range of movement following lumbar mobilization and manipulation. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2011; 34 (1): 46-53.
 - 13) Grenier SG, McGill SM. Quantification of lumbar stability by using 2 different abdominal activation strategies. *Arch Phys Med Rehabil* 2007; 88: 54-62.
 - 14) Allison GT, Godfrey P, Robinson G. EMG signal amplitude assessment during abdominal bracing and hollowing. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 1998; 8: 51-57.
 - 15) Percy MJ. Twisting mobility of the human back in flexed postures. *Spine* 1993; 18 (1): 114-119.
 - 16) Mulvein K, Jull G. Kinematic analysis of the lumbar lateral flexion and lumbar lateral shift movement techniques. *Journal of Manual and Manipulative Therapy* 1995; 3 (3): 104-109.
 - 17) Beach TAC, Parkinson RJ, Stothart JP, Callaghan JP. Effects of prolonged sitting on the passive flexion stiffness of the in vivo lumbar spine. *The Spine Journal* 2005; 5: 145-154.
 - 18) Owens Jr EF, DeVocht JW, Gudavalli MR, Wilder DG, Meeker WC. Comparison of posteranterior spinal stiffness measures to clinical and demographic findings at baseline in patients enrolled in a clinical study of spinal manipulation for low back pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2007; 30 (7): 493-500.
 - 19) Williams JM, Haq I, Lee RY. A novel approach to the clinical evaluation of differential kinematics of the lumbar spine. *Manual Therapy* 2013; 18: 130-135.

- 20) Kim MH, Yoo WG, Choi BR. Differences between two subgroups of low back pain patients in lumbopelvic rotation and symmetry in the erector spinae and hamstring muscles during trunk flexion when standing. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2013; 23: 387-393.
- 21) Heneghan NR, Balanos GM. Soft tissue artifact in the thoracic spine during axial rotation and arm elevation using ultrasound imaging: A descriptive study. *Manual Therapy* 2010; 1 : 1-4.
- 22) Pearcy M, Portek I, Shepherd J. Three-dimensional x-ray analysis of normal movement in the lumbar spine. *Spine* 1984; 9: 294-297.
- 23) Ferreira ML, Ferreira PH, Latimer J, Herbert RD, Marher C, Refshauge K. Relationship between spine stiffness and outcome in patients with chronic low back pain. *Manual Therapy* 2009; 14: 61-67.
- 24) Higgs J. Fostering the acquisition of clinical reasoning skills. *New Zealand Journal of Physiotherapy* 1990; 18: 13-17.
- 25) Twomey LT, Taylor JR. Sagittal movements of the human lumbar vertebral column: a quantitative study of the role of the posterior vertebral elements. *Arch Phys Med Rehab* 1983; 64: 322-325.
- 26) Thompson RE, Pearcy MJ, Barker TM. The mechanical effects of intervertebral disc lesions. *Clinical Biomechanics* 2004; 19: 448-455.
- 27) Shankar H, Scarlett JA, Abram SE. Anatomy and pathophysiology of intervertebral disc disease. *Techniques in regional Anesthesia and Pain Management* 2009; 13: 67-75.
- 28) Iatridis JC, Nicoll SB, Michalek AJ, Walter BA, Gupta MS. Role of biomechanics in intervertebral disc degeneration and regenerative therapies: what needs repairing in the disc and what are promising biomaterials for its repair? *The Spine Journal* 2013; 13: 243-262.
- 29) Zirbel SA, Stolworthy DK, Howell LL, Bowden AE. Intervertebral disc degeneration alters lumbar spine segmental stiffness in all modes of loading under a compressive follower load. *The Spine Journal* 2013; 13: 1134-1147.

- 30) Adams M, Bogduk N, Burton K, Dolan P: *The Biomechanics of Back Pain*. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2002, pp 159-176.
- 31) Nougrou F, Dugas C, Lorauger M, Pagé I, Descarreaux M. The role of preload forces in spinal manipulation: experimental investigation of kinematic and electromyographic responses in healthy adults. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 2014; 37 (5): 287-293.

第 5 章

研究の結論

研究のまとめ，臨床応用と今後の展望

5. 1 研究のまとめ、臨床応用と今後の展望

本研究は、腰痛予防・改善を目的とした治療手技と自動運動手技の定量的な解析を目的に行われた。第2章では、腰痛治療で最も効果的で、最初に使うべき手技といわれている腰椎の回旋手技について定量的な測定を行った。特に腰椎の分節的持続的回旋手技（LSSR）で、S1棘突起に加えられる力と相対的方向を、3軸力覚センサーを用いて測定した。その結果、回旋方向にはほとんど力は加えられておらず、むしろ腰椎の屈曲方向に力が加えられていることが判明した。また、LSSRがS1棘突起に与える合成ベクトルの強さは8.19Nであった。他の治療手技と比較すると明らかに弱い力であることが確認され、腰仙椎の構造に対して安全な治療手技であることがわかった。

また第2章の研究では、一般的に行われている体幹と骨盤を逆方向に回旋する全体的回旋（general rotation）と分節的回旋（segmental rotation）の効果を、下肢伸展挙上（SLR）と立位体前屈を指標にして比較検討した。その結果、全体的回旋より分節的回旋の方が、下肢伸展挙上と立位体前屈に効果があることが明らかとなった。しかし、LSSRによる立位体前屈の改善は、全体的回旋と比較して、統計的に有意ではあったが、十分な改善とはいえなかった。第2章の実験では被験者数が18名とサンプルサイズが小さかったため、被験者数を増して研究の妥当性を向上させる必要があると考えた。

第2章でLSSRのSLRと立位体前屈に対する効果が明らかになったところで、第3章では、LSSRの至適強度について回旋力を3段階に分けて比較検討した。被験者数を30人に増やした。その結果、10Nが至適強度であることが明らかとなった。この回旋強度は第2章で確認されたLSSRの合成ベクトルの大きさ8.91Nに近い値であった。さらに10NのLSSR手技で両側SLRと長坐位体前屈の改善が認められた。10N程度のLSSRの力でSLRと長坐位体前屈が改善することを客観的に証明したのは初めてである。しかし、LSSRで得られた長坐位体前屈の改善はSLRの改善と比較して十分とはいえなかった。

そこで、第4章では、自分で簡単に行える腰椎屈曲可動域改善の自動運動手技を考案し、超音波画像にて、その効果を定量的に測定した。長坐位前屈位で腹筋群を

収縮し、10 秒間保持する。それを 5 回繰り返す。その前後で、立位体前屈をテープメジャーで、腰椎棘突起間距離を超音波測定装置で測定した。その結果、腰椎すべての棘突起間距離で有意な拡大が認められた。また立位体前屈でも施行前後で有意な改善が得られた。超音波測定装置の測定結果より、立位体前屈改善の約 70% が、L5/S1～1/2 腰椎棘突起間距離拡大の合計と一致した。すなわち、立位体前屈の改善は腰椎屈曲の改善といえる。椅子座位前屈位で腹筋群収縮の自動運動手技を行った後、腹筋群・背筋群の筋力維持・改善訓練を実施するならば、腰椎の屈曲可動域維持・改善と、腰痛治療後の再発予防に有効と考える。

本研究の臨床応用の見通しとしては、まず初めに腰痛の評価を実施して、原因となる構造を特定する。神経根の圧迫等 LSSR が有効と考えられる場合には、その回旋手技を試みる。症状が改善したならば、次に防御性筋スパズム等で緊張が増し、循環障害を起こして硬くなっている腰背部の軟部組織を伸張し、腰椎屈曲可動域改善目的で、腹筋群収縮を行う。腰椎の屈曲可動域が改善したならば、その後に腹筋群、背筋群の筋力維持・改善訓練を行い、腰痛の再発予防を図る。

今回の研究は健常成人を対象にして実施したものである。健常成人では安全に実施できる実験であることが確認できた。今後は、実際の腰痛患者を対象として、LSSR や椅子座位前屈位での腹筋群収縮による腰椎屈曲可動域改善の効果について、臨床試験を行う必要がある。また、今回の実験の検者数は 1 名であった。今後は検者数を 5 名程度に増やし、検者内の効果についても比較検討が必要である。

発表論文

1. Yoetsu Ogata, Masayoshi Kamijo, Masaaki Hanaoka: A quantitative assessment of the mechanical effects on the lumbar spine and effects on straight leg raising and lumbar flexion of segmental sustained rotation. *The Journal of Physical Therapy Science*, Vol. 28, No. 4, 2016. (accepted on the 12th of January, 2016). (2016年4月発行に掲載予定)
2. 小形 洋悦, 上條 正義, 阿部 康次, 森下 勝行, 藤原 孝之, 柳澤 健, 花岡 正明: 腰椎の分節的持続的回旋が下肢伸展拳上と腰椎屈曲に及ぼす効果. 理学療法, 第31巻, 12号, 1247-1255, 2014.
3. 小形 洋悦, 上條 正義, 阿部 康次, 森下 勝行, 藤原 孝之, 柳澤 健, 花岡 正明: 椅子座位前屈位腹筋群収縮の腰椎屈曲可動域改善効果と超音波画像による効果検証. 理学療法, 第31巻, 5号, 545-551, 2014.

学会発表

1. Yoetsu Ogata, Masayoshi Kamijo, Takayuki Fujiwara, Akihisa Yoshikawa: Effects for straight leg raising and forward flexion with lumbar segmental sustained rotation: The 16th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy, on the 20-23, June, 2011, Amsterdam (Holland).
2. Yoetsu Ogata, Masayoshi Kamijo, Takayuki Fujiwara: The new concept for quantitative analysis of mechanical effects of the lumbar spine with segmental rotation: The 16th International Congress of the World Confederation for Physical Therapy, on the 20-23, June, 2011, Amsterdam (Holland).

謝 辞

大学院博士課程の研究および投稿論文，本論文作成にあたり，懇切丁寧なご指導と温かい励ましをいただいた信州大学大学院総合工学系研究科の上條正義教授に心より感謝申し上げます。

最も苦手とする，統計解析や計算式の作成において，的確で専門的なご指導をいただいた郡山健康科学専門学校教員 花岡正明先生に心より感謝申し上げます。

英語論文の投稿について適切な助言と援助をいただいた郡山健康科学専門学校学校長 柳澤健先生に心より感謝申し上げます。

英語論文の執筆に当たり，忙しい時間を割いて，的確な助言・ご指導をいただいた郡山健康科学専門学校英語担当教員 Robert Holt 先生に心から感謝申し上げます。

最後に，大学報告会・学会等で，適切にご指導と励ましをいただいた郡山健康科学専門学校名誉学校長 藤原孝之先生はじめ，諸先生方，並びに信州大学大学院総合工学系研究科の諸先生方に心から感謝申し上げます。