HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	慢性非特異的腰痛症例における体幹運動時の体幹筋筋活動に関する研究
Author(s)	中田, 光海
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第16331号
Issue Date	2025-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16331
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94923
Type	doctoral thesis
File Information	Akimi_Nakata.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文

慢性非特異的腰痛症例における体幹運動時の体幹筋筋活動に関する研究

中田　光海

北海道大学大学院保健科学院
保健科学専攻保健科学コース

２０２４年度

目次

要約 - 1 -
1. 緒言 - 3 -
1.1 腰痛症 - 3 -
1.1.1 疫学 - 3 -
1.1.2 経済的影響 - 3 -
1.1.3 発症危険因子 - 4 -
1.2 慢性非特異的腰痛症 - 5 -
1.3 慢性非特異的腰痛症例における体幹筋機能障害 - 6 -
1.4 論文目的 - 7 -
2. 研究課題 1「慢性非特異的腰痛症例における不安定条件下でのブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動の検討」 - 8 -
2.1 緒言 - 8 -
2.2 対象および方法 - 9 -
2.2.1 対象 - 9 -
2.2.2 研究方法 - 9 -
2.2.3 データ解析 - 13 -
2.2.4 統計学的解析 - 14 -
2.3 結果 - 15 -
2.3.1 床条件からの変化率に対する群間比較 - 15 -
2.3.2 不安定条件と床条件間の比較 - 15 -
2.3.3 グローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率に対する群間比較 - 17 -
2.4 考察 - 20 -
2.5 研究限界 - 23 -
2.6 結論 - 24 -
3. 研究課題 2「慢性非特異的腰痛症例における屈曲弛緩現象の消失が腰痛関連の機能障害の推移に与える影響の検討」 - 25 -
3.1 緒言 - 25 -
3.2 対象および方法 - 26 -
3.2.1 対象 - 26 -
3.2.2 研究方法 - 26 -
3.2.3 データ解析 - 27 -
3.2.4 統計解析 - 28 -
3.3 結果 - 29 -
3.4 考察 - 31 -

3.5 研究限界 ..... - 33 -
3.6 結論 ..... - 34 -
4. 統括論議 ..... - 35 -
5. 結論 ..... - 36 -
6. 謝辞 ..... - 37 -
7. 引用文献 ..... - 38 -
8. 業績一覧 ..... - 47 -

要約

1. 緒言

非特異的腰痛症は画像所見がなく原因の特定できない腰痛症と定義され，3 か月以上続くと慢性非特異的腰痛症とされ、種々の身体機能障害や活動制限を生じる．体幹筋の深層に位置するローカル筋の活動性の低下や表層に位置するグローバル筋の活動性の亢進をはじめとする体幹筋の機能障害が生じることが報告されている．しかし，慢性非特異的腰痛症例における運動療法時や評価時などの実際の臨床場面での体幹筋の筋活動動態は十分に明らかとなっていない．本研究では慢性非特異的腰痛症例における体幹運動中の体幹筋活動を検討することで，運動療法や評価法における新たな知見を得ることを目的とする．

2. 研究課題 1「慢性非特異的腰痛症例における不安定条件下でのブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動の検討」

健常者において不安定な支持面でのブリッジエクササイズは体幹筋筋活動を増大させられることが報告されており，体幹筋の筋力トレーニングとして効率的である．したがってローカル筋の活動性低下が認められる慢性非特異的腰痛症例においても有効な運動療法と考えられているが，慢性非特異的腰痛症例における不安定な支持面でのブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動は不明である．慢性非特異的腰痛症例 17 名と健常対照例 18 名を対象とし，床面と 2 種類の不安定な足部支持面（バランスボールあるいは BOSU バランストレーナー®）を用いたブリッジエクササイズ中の体幹筋活動を検討した．その結果，慢性非特異的腰痛症例では健常対照例よりもバランスボール条件において脊柱起立筋筋活動が有意に高値となり（$P = 0.038$），内腹斜筋-腹横筋筋活動は有意に低値となった（$P = 0.048$）．また，グローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率に関しては，すべての条件において腹直筋に対する内腹斜筋-腹横筋筋活動比率（床条件：$P = 0.014$，BOSU 条件：$P = 0.008$，バランスボール条件：$P < 0.001$）が慢性非特異的腰痛症例で有意に低値であった．また，バランスボール条件において，脊柱起立筋に対する多裂筋筋活動比率が慢性非特異的腰痛症例では有意に低値であった（$P < 0.001$）．以上より，慢性非特異的腰痛症例ではブリッジエクササイズにおいてローカル筋の活動性低下とグローバル筋の活動性亢進を有していることが明らかとなった．さらに，バランスボールを用いたブリッジエクササイズによってこの筋活動の不均衡が助長されてしまう可能性がある．したがって，慢性非特異的腰痛症例に対するバランスボール上でのブリッジエクササイズの適用には留意する必要があることが本研究結果より示唆された．

3. 研究課題 2「慢性非特異的腰痛症例における屈曲弛緩現象の消失が腰痛関連の機能障害の推移に与える影響の検討」

健常者において，立位体幹前屈運動を行うと，完全屈曲の約 75–80%で腰背筋の筋活動が低下または消失する屈曲弛緩現象が生じる．一部の慢性非特異的腰痛症例では屈曲弛緩現象が消失することが分かっているが，腰痛関連の機能障害の推移に与える影響は不明である．慢性非特異的腰痛症例 19 名を対象とし，立位体幹前屈運動時の屈曲弛緩現象の有無が 20 週後の腰痛特異的評価指標の推移に与える影響を検討した．20 週後，屈曲弛緩現象の残存例では消失例に比し，腰痛特異的評価指標（Oswestry disability index；ODI）での「痛みの強さ」が有意に改善した($P = 0.025$)．さらに統計学的有意差は検出できなかったものの，ODI「合計点」ならびに「性生活」,「社会生活」に関する下位尺度において，屈曲弛緩現象が残存した例は消失例と比べて，中程度から大の効果量を有する改善を認めた．以上より慢性非特異的腰痛症例において屈曲弛緩現象の消失の有無が腰痛の強さおよび機能障害の推移に影響を与えると考えられた．

4.　考察および結論

本研究結果より，慢性非特異的腰痛症例では健常者に比べて体幹運動時の負荷の増大により，グローバル筋の過活動が生じることが明らかとなった．さらに，立位体幹前屈運動時のグローバル筋の活動性の亢進は 20 週後の腰痛関連の機能障害の推移に影響を与える可能性が示唆された．以上より，慢性非特異的腰痛症例に対する運動療法においてグローバル筋の過度な筋活動に留意して運動療法の介入を行うことが腰痛の慢性化予防にもつながる可能性がある．今後，長期観察期間によるより大規模な前向き研究による非特異的腰痛症例に対する予測因子の同定が期待される．

1. 緒言

1.1 腰痛症

1.1.1 疫学

腰痛症は 10 代から高齢者まで幅広い年代で，世界的に多くの人に生じる症候の 1 つである [1,2]．例えば，日本における身体症状の有訴者率をまとめた 2022 年の厚生労働省の国民生活基礎調査において，腰痛症は男女ともに最も高く，男性では人口 1000 人当たり 91.6 人，女性では人口 1000 人当たり 111.9 人と報告されている [3,4]．世界的にも腰痛症が与える影響は大きく，世界の障害生存年数の原因ランクにおいて腰痛症は 1990 年，2010 年そして 2015 年の調査すべてにおいて 1 位であり，ほとんどすべての国で腰痛症が 1 位と報告されている [2]．活動制限を伴う腰痛は年齢とともに増加し [5]，働き盛りの壮年期・中年期からその頻度が高くなるため，その経済的影響や，個人の心理社会的影響や生活の質の低下を招き，結果として時代を超え世界中で多くの人々が苦しむ症候となっている．

1.1.2 経済的影響

腰痛症が経済的に与える影響は大きく，医療費だけでなく，労働喪失や生産性低下といった間接的なコストを含む経済的影響が非常に大きいとされている．腰痛は労働年齢層で有症率が高く [1,2]，腰痛による労働喪失日数は他の筋骨格系疾患よりも多い [6]．特に医療休暇や早期退職を引き起こすが，高所得国では労働者が腰痛で労働力を失った場合に社会保障システムが補填するため，国全体の経済負担が増加する [6]．高所得国の平均有病率は中・低所得国よりも高いと報告されているが [1]，他の高所得国と比較しても米国における医療コストは高額であると報告されている [7]．日本における職業関連の腰痛の年間医療費を推定した研究では，職業関連の腰痛に関する年間医療費は総額 821 億円に達していると報告している [8]．これらの研究では通院に伴う交通費や代替治療費など医療制度外のコストが含まれていないため，腰痛による経済的負担は過小評価されている可能性も指摘されている．世界的に腰痛による経済的負担は増加しており，低・中所得国でも社会経済的な影響が深刻化している [6]．

1.1.3　発症危険因子

腰痛の発症危険因子として生物物理学的要因，心理学的要因，社会的要因，遺伝的要因，合併症を含む多くの要因が関与し，これらの要因の間に確固とした境界線は存在せず，すべて互いに影響し合うと考えられている．生物物理学的要因については体幹筋の断面積や活動パターンなどに変化が生じると考えられている．心理学的要因として，抑うつ症状，疼痛恐怖感，不安，破局的思考，自己効力感などが重複して腰痛に影響し，痛みの程度や慢性化に関連すると報告されている[9-11]．また，社会的要因として，身体的負荷の高い職業についていることなどがあげられている[6]．このほかにも肥満や喫煙，身体活動などの生活習慣，そして腰痛の重要な発症危険因子として腰痛の既往があげられる[6,11,12]．腰痛症患者は腰痛のない人に比べて，他の部位の痛みやより一般的な身体的・精神的健康問題を併発していることが多いと報告されており[13]，近年では長期的に，より多くのケアが必要である症状であるという認識が広まりつつある．

1.2 慢性非特異的腰痛症

腰痛症は単純 X 線画像や MRI などの画像所見により神経根の障害や脊柱の骨折，がん，炎症性疾患など，痛みの原因を特定できる特異的腰痛症と，痛みの直接的な原因を特定できない非特異的腰痛症に分けられる．非特異的腰痛症は，腰痛症の中で最も有病率の高いタイプであるとされている[14,15]．非特異的腰痛症患者のうち，33%は 12 週間以内に改善するが，65%は 1 年後まで症状が残存していたと報告されている[16]．このように，12 週間以上継続した腰痛症は慢性腰痛症と呼ばれ，激しい痛み，重大な身体機能障害および活動制限を生じるとされている[17]．腰痛に関する診療ガイドラインでは，慢性非特異的腰痛の痛みや機能障害に対して運動療法が有効であると報告されている[18-20]．したがって，慢性非特異的腰痛症は有訴者が多いにも関わらず，原因が分からず治りづらいため，適切な理学療法的評価および治療法の開発が期待されている．

1.3 慢性非特異的腰痛症例における体幹筋機能障害

慢性非特異的腰痛症例では体幹筋機能に多くの障害が認められることが報告されている．体幹筋は筋の走行とそれに伴う機能の違いによりグローバル筋とローカル筋の 2 つに分けられる[21]．グローバル筋には腹直筋や腹斜筋，最長筋や腸肋筋などが含まれ，表層にある大きな体幹筋であることから，トルク産生に対して効率が良いとされる[21]．一方，ローカル筋は腹横筋や多裂筋などの，深層に位置し脊椎に付着する筋群であり，トルク産生への参加よりも椎間の分節安定性に寄与する[21]．グローバル筋では，椎間運動の分節的コントロールは不可能であるため，ローカル筋は脊柱の分節安定性に重要であるが，慢性非特異的腰痛症例ではローカル筋の機能低下が生じることが報告されている[22-24]．Miura らは，超音波画像診断装置を用いて慢性非特異的腰痛症例の腹横筋の活動性を評価し，姿勢変化に伴う活動性の変化が，健常者に比べて有意に小さいことを報告した[25]．また，器質的な変化として，慢性非特異的腰痛症例では多裂筋の断面積が小さくなることや多裂筋の脂肪浸潤による萎縮が報告されている[26,27]．

また，四肢運動時の体幹筋筋活動を検討した先行研究では，健常者ではローカル筋である腹横筋や多裂筋が主動作筋よりも早く活動を開始することが報告されている[22,28]．このローカル筋の活動パターンはフィードフォワード制御と呼ばれ，予測的に脊椎を安定させていると考えられている．健常者においては，腹臥位股関節伸展運動中，多裂筋活動開始が遅いほど骨盤前傾角が大きくなることが報告されている．我々は慢性非特異的腰痛症例において腹臥位股関節伸展運動中，ローカル筋である多裂筋の筋活動開始タイミングが遅延し，このフィードフォワード制御の破綻により骨盤前傾角と多裂筋筋活動開始タイミングの相関が認められないことを明らかにした[29]．このような慢性非特異的腰痛症例におけるローカル筋の筋活動開始タイミングの遅延によるフィードフォワード制御の破綻は多くの先行研究で報告されている[22-24]．ローカル筋の活動性の低下は脊柱の分節安定性を低下させることにつながるため，脊椎の周辺組織への反復的な外傷の一因となり，持続的または反復的な腰痛に繋がる可能性があると考えられる．一方，慢性非特異的腰痛症例のグローバル筋は過剰な筋活動を示し[23,30]，体幹の剛性を増加させることが報告されている[31,32]．このようなグローバル筋の活動パターンはローカル筋の活動性低下による脊柱分節間の不安定性をグローバル筋の活動により代償しようとする反応であると考えられるが，長期的にはこのような不適切な筋活動パターンが慢性化の一因になると考えられている[33]．以上のようなこれまでの研究知見により，慢性非特異的腰痛症例へのリハビリテーションでは，ローカル筋群の活動を高めることが推奨され[34]，慢性非特異的腰痛患者に対するスタビライゼーションエクササイズはローカル筋とグローバル筋を協調的に鍛えるべきであるとされている[35,36]．

1.4 論文目的

本論文では慢性非特異的腰痛症例における体幹筋筋活動をグローバル筋，ローカル筋の機能に着目して以下 2 つの研究課題について検討することで，痛みによる体幹筋機能障害への影響と体幹筋機能障害による痛みへの影響の相互関係を明らかにする．

研究課題 1 では，腰痛症のリハビリテーションで広く用いられる運動療法中の体幹筋筋活動を慢性非特異的腰痛症例と健常例で比較することであり，治療場面において慢性非特異的腰痛症例における体幹筋の筋活動の変化が生じるかを明らかにする．

また，研究課題 2 において慢性非特異的腰痛症例に対し，立位体幹前屈運動時の体幹筋筋活動と，腰痛関連機能障害を評価し，異常筋活動の有無で腰痛による機能障害の 20 週後の推移を比較することで慢性非特異的腰痛症例における体幹筋の異常筋活動が 20 週後の腰痛の機能障害に与える影響を明らかにする．

2. 研究課題 1「慢性非特異的腰痛症例における不安定条件下でのブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動の検討」

2.1 緒言

腰痛に関する診療ガイドラインでは慢性非特異的腰痛の痛みや機能障害に対して運動療法が有効であると報告されている[18-20]．運動療法の 1 つとして，不安定条件下でのエクササイズは体幹筋トレーニングとしてスポーツ現場やリハビリテーションにおいて広く用いられている[37,38]．バランスボールを用いた足部不安定支持面でのブリッジエクササイズが健常者における腰部腸肋筋，腰部多裂筋，腹直筋，外腹斜筋筋活動を増加させることが報告されている[39]．Imai らは健常者において BOSU バランストレーナー（BOSU）を用いて支持面を不安定にすることにより，プランク，サイドブリッジ，ハンドニー，カールアップエクササイズにおける体幹筋の筋活動が高値を示したと報告した[40]．また，Czaprowski ら[41]は健常者においてバランスボールを用いたブリッジエクササイズとプランクでは BOSU を使用したときや床面で行ったときと比べて腹筋の筋活動が有意に大きかったと報告した．したがって，慢性非特異的腰痛症例に対する体幹筋トレーニングとして，不安定条件下でのエクササイズはローカル筋の筋活動を高めるために効果的である可能性がある．しかし，慢性非特異的腰痛症例を対象に不安定条件下でエクササイズを行ったときの体幹筋筋活動を検討した研究はない．慢性非特異的腰痛症例では体幹筋機能障害によりローカル筋の筋活動開始タイミングの遅延や活動性の低下などが生じるため[22-27]，健常者と同様に不安定面によってローカル筋の筋活動を増大させられない可能性がある．本研究の目的は，腰痛に対する運動療法として広く用いられるバランスボールや BOSU を使用したブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動を慢性非特異的腰痛症例と健常対照例で比較することとした．さらに，グローバル筋とローカル筋の協調性を評価するために，慢性非特異的腰痛症例におけるローカル筋に対するグローバル筋の筋活動比率を算出し健常者と比較する．仮説は不安定条件下でのブリッジエクササイズにおいて慢性非特異的腰痛症例では健常者と比べてグローバル筋筋活動は大きくなり，ローカル筋筋活動は小さくなる．また，ローカル筋に対するグローバル筋の筋活動比率は慢性非特異的腰痛症例で健常者に比し，有意に小さくなるとした．

2.2 対象および方法

2.2.1 対象

本研究は 17 名の慢性非特異的腰痛症例と 18 名の健常者を対象とした．慢性非特異的腰痛群の年齢，身長，体重，BMI は 21.8±2.6 歳，166.5±5.5 cm，60.6±7.8 kg，21.8±1.9 kg/m^2 であった（平均±標準偏差）．また，対照群の年齢，身長，体重，BMI は 21.6±1.0 歳，164.8±8.3 cm，56.3±8.2 kg，20.6±1.9 kg/m^2 であった．男女比について慢性非特異的腰痛群では男性は 10 名，女性は 7 名，対照群では男性は 8 名，女性は 10 名であった．サンプルサイズは G*power 3.1 を用いた検定力分析から決定した．先行研究 [42] の脊柱起立筋筋活動の結果から効果量 Cohen's d = 1.01 として，α 値を 0.05，検出力を 0.80 とした場合，対応のない t 検定において必要となるサンプルサイズは 17 名であった．すべての参加者は公募により 2 つの大学から募集した．慢性非特異的腰痛症例は第 12 胸椎と尾骨高位の間に 3 か月以上の痛みを有するものと定義した [27]．健常例は対照群として割り当てられ，腰痛の症状を有さないものとした．慢性非特異的腰痛群と対照群の両方の除外基準は重度の脊椎病変，神経障害，体幹や股関節の骨折または手術の病歴，過去 2 年間の妊娠，および体幹に対する理学療法介入を受けたことのある者とした [27]．本研究はヘルシンキ宣言に従って実施した．また，北海道大学大学院保健科学研究院の倫理審査委員会(承認番号 21-33)で承認され，参加者全員から書面によるインフォームドコンセントを得て実施した．

2.2.2 研究方法

本研究は 3 条件下でのブリッジエクササイズ中の体幹筋の筋活動を測定し，2 群間を比較した．筋活動測定の前に，慢性非特異的腰痛群は腰痛の強さと日常生活活動（Activities of daily living；ADL）への影響を評価するための質問紙票に回答した．腰痛の強さを評価するために numerical rating scale (NRS)，ADL 障害を評価するために Oswestry disability index 2.0 (ODI)を使用した（表 1）．NRS は疼痛の強度を 0（全く痛みがない）から 10（想像できる最大の痛み）の 11 段階で評価を行った．ODI は日常生活動作における慢性腰痛患者の障害の程度を評価するために開発され，広く使用されている患者報告アウトカム指標である [43]．ODI は 0 から 5 の 6 段階で回答する 10 問からなる 50 点満点の質問紙であり，得点が高いほど重症度が高いことを示す. 慢性非特異的腰痛群は測定日の直近 1 週間の腰痛について回答した．

表 1. 日本語版 Oswestry disability index2.0

以下のアンケートに答えてください. これらは，腰の痛み（あるいは足の痛み）が，あなたの日常生活にどのように影響しているかを知るためのものです. それぞれの項目の中で，もっともあなたの状態に近いものを選んで，番号を〇でかこんでください.
1：痛みの強さ 0. 今のところ，痛みはまったくない. 1. 今のところ，痛みはとても軽い. 2. 今のところ，中くらいの痛みがある. 3. 今のところ，痛みは強い. 4. 今のところ，痛みはとても強い. 5. 今のところ，想像を絶するほどの痛みがある.
2：身の回りのこと（洗顔や着替えなど） 0. 痛みなく，普通に身の回りのことができる. 1. 身の回りのことは普通にできるが，痛みがでる. 2. 身の回りのことはひとりでできるが，痛いので時間がかかる. 3. 少し助けが必要だが，身の回りのほとんどのことは，どうにかひとりでできる. 4. 身の回りのほとんどのことを，他のひとに助けてもらっている. 5. 着替えも洗顔もできず，寝たきりである.
3：物を持ち上げること 0. 痛みなく，重いものを持ち上げることができる. 1. 重いものを持ち上げられるが，痛みが出る. 2. 床にある重いものは痛くて持ち上げられないが，（テーブルの上などにあり）持ちやすくなっていれば，重いものでも持ち上げられる. 3. 重いものは痛くて持ち上げられないが，（テーブルの上などにあり）持ちやすくなっていれば，それほど重くないものは持ち上げられる. 4. 軽いものしか持ち上げられない. 5. 何も持ち上げられないか，持ち運びもできない.
4：歩くこと 0. いくら歩いても痛くない. 1. 痛みのため，1km 以上歩けない. 2. 痛みのため，500 m 以上歩けない. 3. 痛みのため，100 m 以上歩けない. 4. つえや松葉づえなしでは歩けない. 5. ほとんどとこの中で過ごし，歩けない.

5：座ること

0. どんないすにでも，好きなだけ座っていられる．
1. 座りごこちの良いいすであれば，いつまでも座っていられる．
2. 痛みのため，１時間以上は座っていられない．
3. 痛みのため，30 分以上は座っていられない．
4. 痛みのため，10 分以上は座っていられない．
5. 痛みのため，座ることができない．

6：立っていること

0. 痛みなく，好きなだけ立っていられる．
1. 痛みはあるが，好きなだけ立っていられる．
2. 痛みのため，１時間以上は立っていられない．
3. 痛みのため，30 分以上は立っていられない．
4. 痛みのため，10 分以上は立っていられない．
5. 痛みのため，立っていられない．

7：睡眠

0. 痛くて目をさますことはない．
1. ときどき，痛くて目をさますことがある．
2. 痛みのため，６時間以上はねむれない．
3. 痛みのため，４時間以上はねむれない．
4. 痛みのため，２時間以上はねむれない．
5. 痛みのため，ねむることができない．

8：性生活（関係あれば）

0. 性生活はいつもどおりで，痛みはない．
1. 性生活はいつもどおりだが，痛みがでる．
2. 性生活はほぼいつもどおりだが，かなり痛む．
3. 性生活は，痛みのためにかなり制限される．
4. 性生活は，痛みのためにほとんどない．
5. 性生活は，痛みのためにまったくない．

9：社会生活（仕事以外での付き合い）

0. 社会生活はふつうで，痛みはない．
1. 社会生活はふつうだが，痛みが増す．
2. スポーツなどのように，体を動かすようなものをのぞけば，
   社会生活に大きな影響はない．
3. 痛みのため社会生活は制限され，あまり外出しない．
4. 痛みのため，社会生活は家の中だけに限られる．
5. 痛みのため社会生活はない．

10：乗り物での移動

0. 痛みなくどこへでも行ける.
1. どこへでも行けるが，痛みが出る.
2. 痛みはあるが，２時間程度なら乗り物に乗っていられる.
3. 痛みのため，１時間以上は乗っていられない.
4. 痛みのため，３０分以上は乗っていられない.
5. 痛みのため，病院へ行くとき以外は乗り物には乗らない.

0 から 5 の 6 段階で回答する 10 問からなる 50 点満点の質問紙．合計点を満点の 50 で割り，得点率（%）で算出する.

背臥位でのブリッジエクササイズにおける体幹の筋活動に対する足部支持面の不安定性による影響を検討した[32,34]．足部支持面は以下の 3 条件で行った：床面，直径 65cm のバランスボール(JOINUS La-VIE，東京)，BOSU (BOSU® Pro Balance Trainer，BOSU，Ohio, USA) (図 1). バランスボールと BOSU は踵の下に敷くようにした. すべての条件において，初期位置は背臥位で膝を 90 度曲げた hook-lying position とし，足部は裸足で軽度背屈位にし，手部は手掌面を上に向け体側で床につけるようにした[41]．次に上肢の支持ができるだけ入らないように股関節の屈曲 0° になるまで骨盤を持ち上げた．ブリッジエクササイズ中の膝関節屈曲角度はゴニオメーターを用いて 90 度に規定した．ブリッジエクササイズを行う間, 股関節の屈曲 0° で安定した姿勢を維持するため, 検者は逐次フィードバックを与えた．各条件につき 3 回ずつ測定を行った．3 条件の順序はランダムに行った.

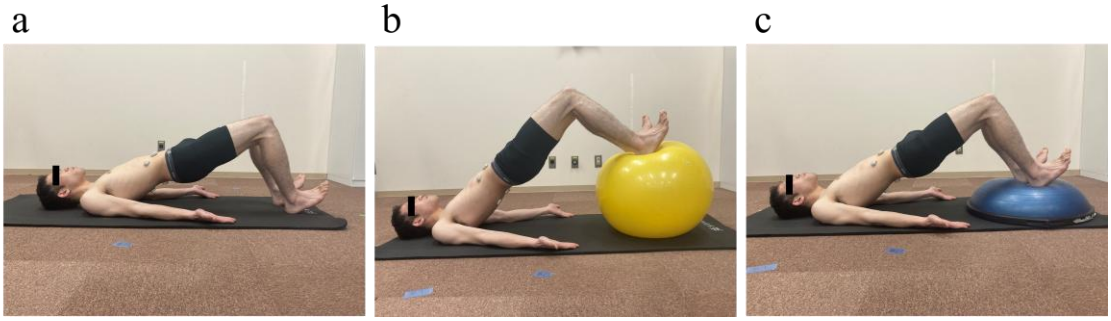


図 1. (a)床面条件，(b)バランスボール条件，(c)BOSU 条件でのブリッジエクササイズ．被験者は裸足で足関節軽度背屈位にし，手部は手掌面を上に向け体側で床につけるようにし，上肢の支持ができるだけ入らないように股関節の屈曲 0° になるまで骨盤を持ち上げた．ブリッジエクササイズ中の膝関節角度はゴニオメーターを用いて 90 度に規定した.

ワイヤレス表面筋電図（WEB-1000，日本光電，東京）を用いて以下の体幹筋の筋活動評価を行った．被験筋は右側の内腹斜筋-腹横筋，外腹斜筋，腹直筋，脊柱起立筋，腰部多裂

筋とした．アルコールと研磨剤を用いて十分に皮膚処理を行った後，先行研究[40,44,45]に従い，以下の位置（内腹斜筋-腹横筋：上前腸骨棘から 2cm 内下方，外腹斜筋：肋骨縁と腸骨稜の中間部，腹直筋：臍から 3cm 外側，脊柱起立筋：第 3 腰椎棘突起から 3cm 外側，腰部多裂筋：第 4 腰椎と第 5 腰椎棘突起間から 2cm 外側）に筋線維と平行になるように電極を貼付した．

ブリッジエクササイズにおける体幹筋活動を計測した後，最大随意等尺性収縮（Maximum Voluntary Isometric Contraction；MVIC）課題を行った．疲労の影響を避けるため MVIC を計測する前に被験者は十分に休憩をとった．MVIC の実施方法は先行研究に従い，以下のように行った．脊柱起立筋および腰部多裂筋：被験者は腹臥位で両手を頭の後ろで組み，最大限体幹を伸展させ，検者は体幹屈曲方向に胸郭の上から徒手抵抗を加えた．内腹斜筋-腹横筋：被験者は仰臥位で股関節と膝関節を 90 度屈曲させ，最大限体幹を屈曲させながら右回旋させた．検者は被験者の足を支えながら体幹伸展方向と左回旋方向に肩から徒手抵抗を加えた．外腹斜筋：被験者は仰臥位で股関節と膝関節を 90 度屈曲させ，最大限体幹を屈曲させながら左回旋させた．検者は被験者の足を支えながら体幹伸展方向と右回旋方向に肩から徒手抵抗を加えた．腹直筋：被験者は仰臥位で股関節と膝関節を 90 度屈曲させ，最大限体幹を屈曲させた．検者は被験者の足を支えながら体幹伸展方向に胸骨から徒手抵抗を加えた．意欲の減退や痛みなど，長時間の最大等尺性収縮による悪影響を軽減するために MVIC の測定は 3 秒間を 2 試行のみ実施した[46]．

2.2.3　データ解析

データ解析には MATLAB 2019a（MathWorks，Massachusetts, USA）が使用された．すべての波形はカットオフ周波数 20–500Hz のバンドパスフィルターを用いてフィルター処理を行った．被験者が正しい姿勢を維持している間の 5 秒間測定したうちの 3 秒間を解析区間として，二乗平均平方根（root mean square；RMS）を算出した．

バランスボール条件と BOSU 条件で得られたデータを床面条件で得られたデータの値で除し，正規化を行うことで不安定条件下の筋活動を床面条件からの変化率として算出した．結果には各条件について 3 試行の平均値を算出し使用した．さらに，体幹の筋活動が不安定な条件によって増加するかどうかを判断するために，床条件，BOSU 条件，バランスボール条件での各筋活動を MVIC で正規化した値を算出した．MVIC は 3 秒測定したうちの 1 秒間を解析区間として RMS を算出し，2 試行の平均値を算出した．また，ローカル筋とグローバル筋の協調性を検討するために， MVIC にて正規化したローカル筋筋活動をグローバル筋筋活動で除し，グローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率を算出した[47]．検討した筋活動比率は腹直筋に対する内腹斜筋-腹横筋筋活動比率，外腹斜筋に対する内腹斜筋-腹横筋筋活動比率，脊柱起立筋に対する多裂筋筋活動比率の 3 項目であった[47]．

2.2.4　統計学的解析

統計学的解析には IBM SPSS Statistics 28（IBM，Illinois，USA）を使用した．Shapiro–Wilk 検定により正規性の検定を行った．統計学的データ，床面条件での筋活動で正規化したバランスボールおよび BOSU 条件下での体幹筋の筋活動，およびグローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率に対して対応のない t 検定または Mann–Whitney U 検定を用い，群間比較を行った．さらに，MVIC で正規化したバランスボールおよび BOSU 条件における各筋活動を対応のある t 検定または Wilcoxon の符号順位検定を用いて床条件と比較した．統計学的データと筋活動の比較の効果量は，データが正規分布に従う場合は Cohen の d，データが正規分布に従わない場合は r として算出した．これは差異の程度を定量化するために行った．効果量は小（$d = 0.2$ または $r = 0.1$），中程度（$d = 0.5$ または $r = 0.3$），大（$d = 0.8$ または $r = 0.5$）に分類した [48]．

2.3 結果

人口統計データに関して，慢性非特異的腰痛群と対照群では，年齢，身長，体重，BMI に有意差はなかった（表 2）．慢性非特異的腰痛群の NRS と ODI の平均点（標準偏差）はそれぞれ 3.1 点±1.7 点と 14.2 点±9.2 点であった（表 2）．

表 2．非特異的慢性腰痛症群と対照群における人口統計データ

	慢性非特異的腰痛群	対照群	P値	効果量
年齢（歳）	21.8±2.6	21.6±1.0	0.245[a]	0.208[a]
身長（cm）	166.5±5.5	164.8±8.3	0.522	0.241
体重（kg）	60.6±7.8	56.3±8.2	0.106	0.537
BMI (kg/m^2)	21.8±1.9	20.6±1.9	0.061	0.632
NRS (/10)	3.1±1.7	-	-	-
ODI (%)	14.2±9.2	-	-	-

[a] 正規性を認めず，ノンパラメトリック検定を用い，効果量は r とした．

BMI：Body mass index，NRS：numerical rating scale，ODI：Oswestry disability index.

2.3.1 床条件からの変化率に対する群間比較

内腹斜筋-腹横筋筋活動におけるバランスボール条件での床条件からの変化率は有意な群間差が認められ，群間の効果量は中程度から大であった（$P = 0.048$, $d = 0.707$）．さらに，脊柱起立筋筋活動におけるバランスボール条件での床条件から変化率は，慢性非特異的腰痛群で対照群よりも有意に大きく，中程度から大の効果量（$P = 0.038$，$r = 0.351$）を示した（図 2）．外腹斜筋，腹直筋，多裂筋筋活動におけるバランスボール条件での床条件からの変化率は慢性非特異的腰痛群と対照群との間に有意な群間差は認められなかった（図 2）．BOSU 条件での床条件からの変化率は，慢性非特異的腰痛群と対照群で有意差はなかった（$P = 0.405$–0.860）（図 3）．

2.3.2 不安定条件と床条件間の比較

対照群ではバランスボール条件における内腹斜筋-腹横筋筋活動は床条件よりも有意に大きく，大きな効果量（$P = 0.020$，$r = 0.549$）を示したが，慢性非特異的腰痛群では床条件とバランスボール条件との間に有意な変化は認められなかった（$P = 0.055$，$r = 0.465$）（図 2）．両群ともバランスボール条件下での脊柱起立筋筋活動は，床条件下よりも有意に大きく，条件間での効果量も大きかった（慢性非特異的腰痛：$P = 0.003$, $r = 0.729$, 対照群：$P = 0.001$，$d = 0.760$）（図 2，表 3）．また，両群とも外腹斜筋，腹直筋，多裂筋の活動において，床条件とバランスボール条件との間で中程度から大きな効果量を伴う有意な増加が認められた（表 3）．BOSU 条件では，両群とも MVIC で正規化した体幹筋活動は床条件と比較して有意な変化は認められず，その効果量はいずれも小さかった（慢性非特異的腰

痛：P=0.270–0.922，r = 0.025–0.275，対照群：P=0.349–0.682，r = 0.120–0.221 または d = 0.101–0.102）（図 3，表 4）.

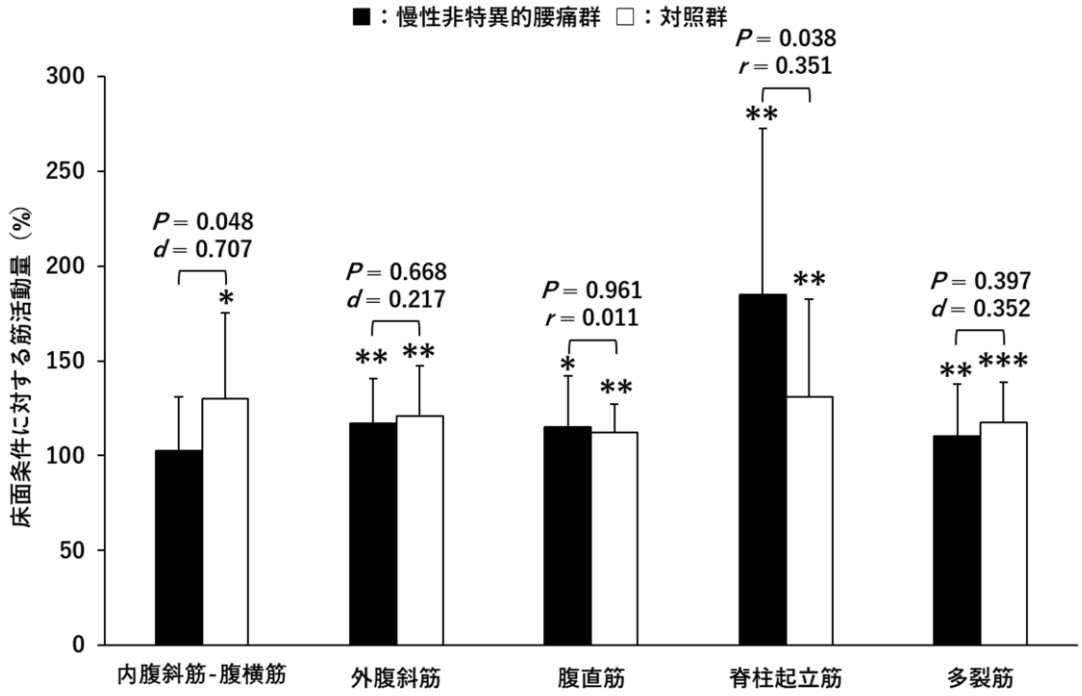


図 2. 床面条件で正規化したバランスボール条件での体幹筋筋活動．対床面条件：*** P <0.001, ** P <0.01, * P <0.05.

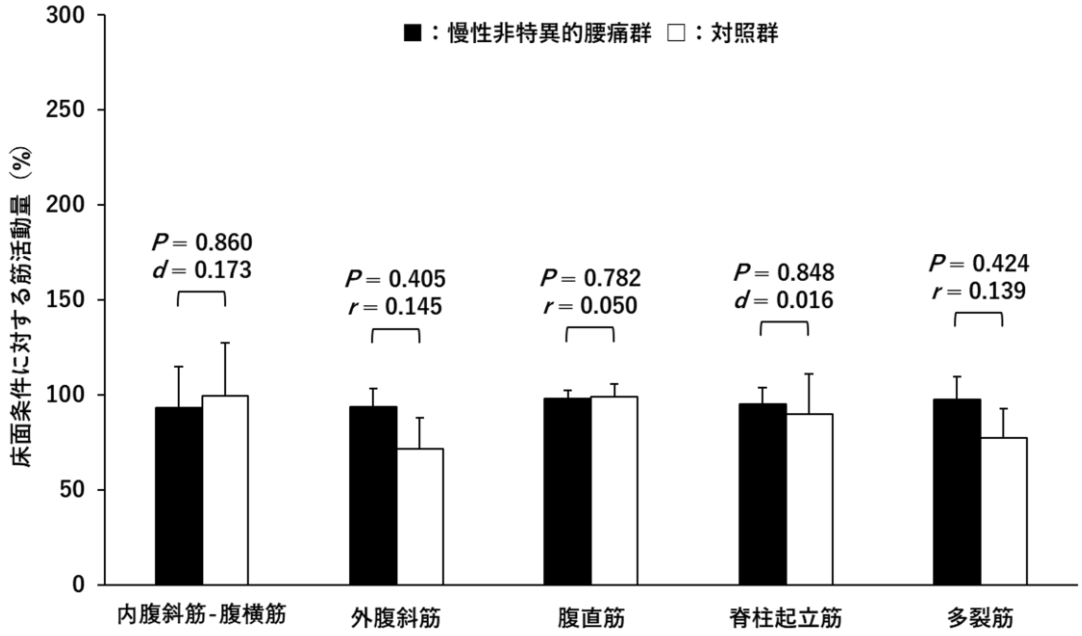


図 3. 床面条件で正規化した BOSU 条件での体幹筋筋活動．%MVIC で算出した体幹筋筋活動量に BOSU 条件と床面条件で有意差は認められなかった.

表 3. MVIC で正規化した体幹筋筋活動量をバランスボール条件と床面条件で比較した際の各群の効果量

	効果量	
	慢性非特異的腰痛群	対照群
内腹斜筋-腹横筋	0.465[a]	0.549[a]
外腹斜筋	0.718[a]	0.652[a]
腹直筋	0.591[a]	0.652[a]
脊柱起立筋	0.729[a]	0.760
多裂筋	0.752[a]	0.739

[a] 非正規分布データであったため，効果量は r を用いた．効果量は小（d = 0.2 または r = 0.1），中程度（d = 0.5 または r = 0.3），大（d = 0.8 または r = 0.5）に分類した．

表 4. MVIC で正規化した体幹筋筋活動量を BOSU 条件と床面条件で比較した際の各群の効果量

	効果量	
	慢性非特異的腰痛群	対照群
内腹斜筋-腹横筋	0.212[a]	0.159[a]
外腹斜筋	0.025	0.221[a]
腹直筋	0.166[a]	0.120[a]
脊柱起立筋	0.109[a]	0.102
多裂筋	0.275	0.101

[a] 非正規分布データであったため，効果量は r を用いた．

2.3.3　グローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率に対する群間比較

グローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率について，すべての条件において，外腹斜筋に対する内腹斜筋-腹横筋の筋活動比率に群間で有意差は認められず（P = 0.173–0.935），効果量はいずれも小さかった（r = 0.167–0.234）（図 4）．一方，腹直筋に対する内腹斜筋-腹横筋の筋活動比率は，すべての条件下で慢性非特異的腰痛群が対照群よりも有意に低く，その効果量は中程度から大であった（床条件：P = 0.014，r = 0.413，BOSU 条件：P = 0.008，r = 0.441，バランスボール条件：P < 0.001，r = 0.586）（図 5）．脊柱起立筋に対する多裂筋の筋活動比率ではバランスボール条件において慢性非特異的腰痛群が対照群より有意に低く，効果量も大きかったが（P < 0.001，r = 0.597），床条件や BOSU 条件では有意差は認められず，効果量も小さかった（P = 0.067–0.118）（図 6）．

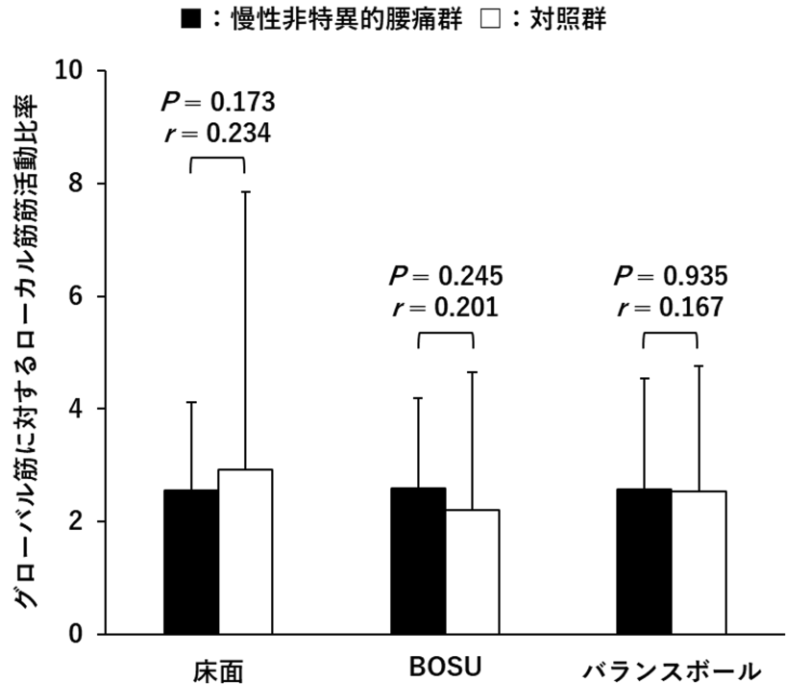


図 4. 外腹斜筋筋活動に対する内腹斜筋-腹横筋筋活動の比率

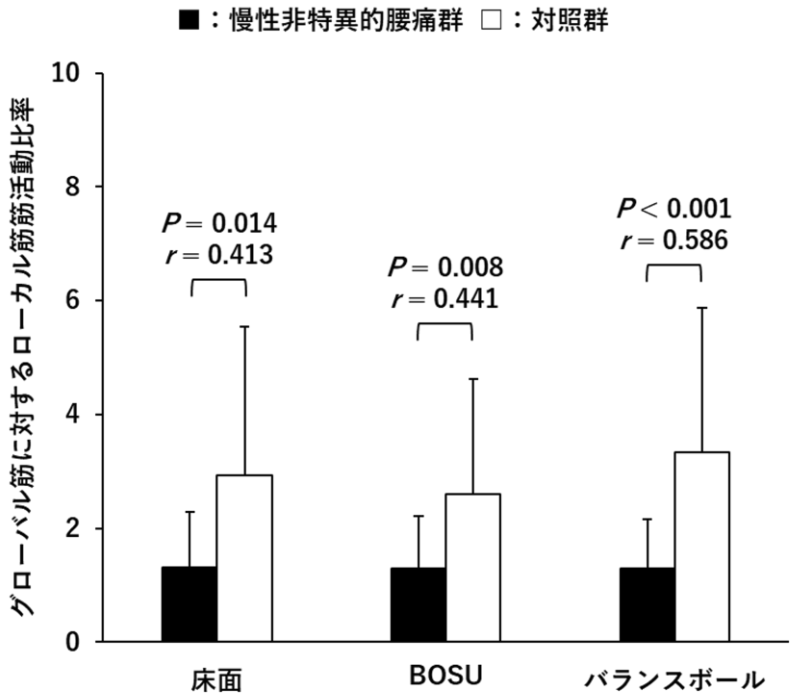


図 5. 腹直筋筋活動に対する内腹斜筋-腹横筋筋活動の比率

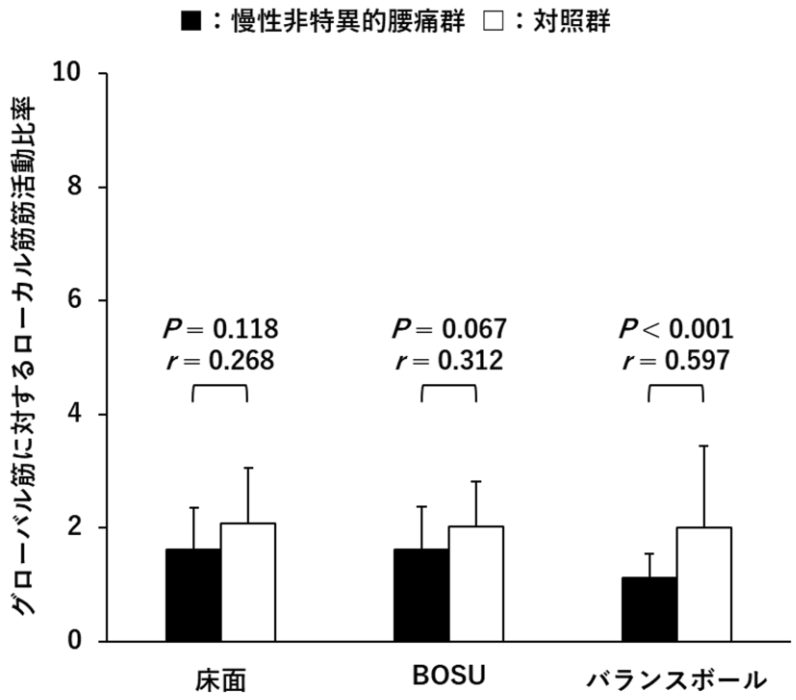


図 6.脊柱起立筋筋活動に対する多裂筋筋活動の比率

2.4 考察

本研究課題では慢性非特異的腰痛群と対照群において不安定条件がブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動に及ぼす影響を検討した．その結果，慢性非特異的腰痛群では対照群に比べ床条件からバランスボール条件への変化率において脊柱起立筋筋活動が有意に高値であり，内腹斜筋-腹横筋筋活動は有意に低値を示した．BOSU 条件では両群とも床条件と比較して体幹筋筋活動に有意な変化は認められなかった．床条件とバランスボール条件間で内腹斜筋-腹横筋筋活動は，慢性非特異的腰痛群では有意差は認められなかったが，対照群ではバランスボール条件で有意に高値であった．本研究はバランスボール条件によって誘発される体幹筋筋活動の変化が，慢性非特異的腰痛と健常者で異なることを示した初めての研究である．本研究結果はバランスボールを用いた運動療法を慢性非特異的腰痛に対して行う際は体幹筋への影響に注意すべきであることを示唆している．

本研究では，バランスボール条件における床条件で正規化した脊柱起立筋の筋活動変化率は慢性非特異的腰痛群で有意に大きく，内腹斜筋-腹横筋の筋活動は対照群より有意に小さくなることを示した．腰痛症例ではローカル筋の活動が低下し [23,25,49,50]，グローバル筋の活動が亢進することが報告されている [51-54]．慢性非特異的腰痛患者では健常者と比較して急激な上肢や下肢運動時に腹横筋筋活動の振幅が有意に減少し腹横筋および内腹斜筋-腹横筋の活動開始タイミングが有意に遅延するとされている [22-24,29,49,50]．腹横筋は胸腰筋膜に付着しており，胸腰筋膜に側方張力を発生させることで，脊椎分節間の安定性に寄与していると考えられている [51]．さらに，腹横筋の活動は腹腔内圧を上昇させることでも脊椎分節間の安定性を高めると考えられている [52-54].したがって，これらのローカル筋の機能不全は脊椎分節間の不安定性につながる可能性がある．さらに，グローバル筋は慢性非特異的腰痛患者では健常対照群に比べ，腰部および胸部の脊柱起立筋が体幹の自動運動時に高い筋活動を示すことが報告されている [55]．グローバル筋筋活動の増加は脊柱の負荷を増加させ [56]，脊柱の可動性を低下させ，衝撃吸収・減衰に寄与する [57]．したがって，本研究の結果はこれらの先行研究 [25,30] の知見を支持するものである．以上のような体幹筋の筋活動におけるリクルートメントパターンは慢性非特異的腰痛の一因となっている可能性がある [33]．このような体幹筋の機能障害や腰痛を改善させるために慢性非特異的腰痛患者に対するリハビリテーションではローカル筋筋活動を賦活させるエクササイズが重要とされている [34]．本研究結果から，バランスボールを用いたエクササイズは慢性非特異的腰痛患者における体幹筋筋活動の異常なリクルートメントパターンを助長してしまうことが示唆された．したがって，慢性非特異的腰痛患者がバランスボールを用いた運動を行う際には，このような体幹筋筋活動の変化に留意する必要がある．

本研究では両群とも MVIC で正規化した体幹筋筋活動量は，多くがバランスボール条件下で床条件下よりも有意に大きかった．このような筋活動の増加はバランスボールの可変性によるものと考えられる．バランスボールは柔らかく，外力によって変形するため反力が

発生しにくいため, バランスボール条件では床条件よりも多くの筋活動が必要となる. Wahl らはバランスボールやバランスディスクなどのバランストレーニングツールの中でも特に支持基底面が小さく可変性の高い器具を使用した立位およびスクワット時の体幹筋筋活動が増加することを報告している [58]. また, BOSU を用いたブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動に関しては, バランスボール条件とは異なり, 両群ともすべての筋活動に床条件との間に有意差は認められなかった. また, BOSU 条件における床条件からの変化量では, すべての体幹筋筋活動に慢性非特異的腰痛群と健常対照群の間で有意な群間差は認められなかった. 先行研究では健常者を対象としたブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動において, 床条件と BOSU 条件との間に有意差はなかったことが報告されている [40]. したがって, BOSU を使用したブリッジエクササイズは体幹筋筋活動に影響を与えるほど不安定な状態を生じない可能性がある.

本研究課題では慢性非特異的腰痛群においてバランスボール条件での脊柱起立筋に対する腰部多裂筋の筋活動比率が対照群よりも有意に低かった. この結果は慢性非特異的腰痛症例では脊柱起立筋のバランスボール条件における床条件からの変化率が対照群よりも大きいという結果を支持する. つまり, 慢性非特異的腰痛患者においてバランスボールを用いた運動は体幹筋の筋活動の不適切なリクルートメントパターンを惹起する可能性があり, 臨床ではこのような体幹筋筋活動の変化に留意すべきである. 本研究において慢性非特異的腰痛群は腹直筋に対する内腹斜筋-腹横筋の筋活動比率が, すべての条件下で対照群よりも有意に低いことが示された. この結果は, 慢性非特異的腰痛症例が不安定条件下であるか否かにかかわらず, 腹筋の筋活動に不均衡が生じていることを示している. 先行研究では腰痛症例は腹直筋よりも腹横筋を優先的に活動させることができないと報告されている [59]. また先行研究では腰痛症例に対してローカル筋を賦活させる運動療法を 10 週間行ったところ, 腹直筋に対する内腹斜筋の筋活動比率が改善したことを報告している [32]. したがって, 本研究におけるローカル筋とグローバル筋の筋活動比率の結果は, ローカル筋筋活動量を増加させるエクササイズを行う必要があることを示唆している. 一方, 外腹斜筋に対する内腹斜筋-腹横筋の筋活動比率はどの条件においても群間で有意差は認められなかった. 先行研究では片脚を上げたシングルブリッジのような脊柱の回転モーメントが生じると考えられる運動では, 外腹斜筋の要求が大きくなることが示されている [33]. したがって, 本研究では左右対称のエクササイズにおける筋活動の検討のため, 慢性非特異的腰痛症例と健常者との間の差が検出可能となるに十分な筋活動を得られなかった可能性がある.

本研究では慢性非特異的腰痛患者はバランスボール使用によるブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動の変化を示した. 慢性非特異的腰痛の保存的治療として運動療法が推奨されており [34-36], バランスボールを用いた運動は健常者においてより高い筋活動を必要とすることが多くの研究で示されている [39-41]. しかし, 慢性非特異的腰痛患者の治療には, モーターコントロールエクササイズのようなローカル筋群に焦点を当てた運動が効果的であると

考えられている[60-62]．Tsao らはモーターコントロールエクササイズによって腹横筋の活動開始タイミングが変化し，介入効果が 6 ヵ月維持したことを報告している[63]．さらに，モーターコントロールエクササイズは体幹運動やリフティング動作，体幹の外的動揺課題におけるグローバル筋群の活動を低下させることも示されている[49,50,64]．近年のランダム化比較試験では，モーターコントロールエクササイズが慢性非特異的腰痛症例の腰痛改善，ローカル筋の機能や筋断面積を増大させることが報告されている[65]．したがって，モーターコントロールエクササイズは慢性非特異的腰痛に対する運動療法として，ローカル筋を賦活しグローバル筋を抑制することができる．本研究の結果，慢性非特異的腰痛群ではバランスボールを用いたブリッジエクササイズにおいて，主に脊柱起立筋の筋活動が増加した．しかしながら，内腹斜筋-腹横筋筋活動は床条件とバランスボールの条件間で有意な変化は認められなかった．Richardson らは介入が進むにつれ，ローカル筋とグローバル筋の両方を活動させるような，より難易度の高いエクササイズへの移行が必要であることを示唆している[31]．慢性非特異的腰痛患者に対しては最初に体幹のローカル筋群に焦点を当てたエクササイズを行い，十分な活動性が確認された後に床上でのエクササイズを行い，最後にバランスボールを使用するような高い筋活動を必要とするエクササイズを行うという段階的訓練が望ましいと考えられ，本研究結果は慢性非特異的腰痛症例に対するバランスボールを用いたエクササイズの実施に際して体幹筋の異常なリクルートメントに対しての留意が必要であることを示唆するものと考えられた．

2.5 研究限界

本研究における限界として，第 1 に被験者が若年者に限定されていたことが挙げられる．慢性非特異的腰痛と運動療法の影響が年齢層によって異なる可能性があるため，高齢者については本研究と同様の結果が得られるかどうかは不明である．第 2 に，本研究では慢性非特異的腰痛群と対照群における運動中の体幹筋筋活動に対する不安定条件の影響を比較検討したが，ブリッジエクササイズの即時的な影響のみの検討であった．本研究ではリハビリテーション現場で頻繁に用いられているブリッジエクササイズを運動課題として用いた [39-41]．しかし，他のエクササイズや長期効果は不明である．第 3 に，筋活動の測定に表面筋電図を使用したことが挙げられる．電極の貼付位置は先行研究 [40,44,45] と同様であったが，表面筋電図を使用することで対象筋以外の筋活動を検出してしまう可能性がある．針筋電図の使用により対象筋のみの筋活動の評価は可能となるかもしれないが，侵襲的な評価方法であり，自発的筋活動に影響を与える可能性がある．第 4 に，MVIC を用いて筋活動を正規化し，各群の床および不安定条件下でのブリッジエクササイズ中の筋活動を比較した．しかし，慢性非特異的腰痛症例では体幹筋の最大随意収縮を生じていない可能性があり，正規化の方法として MVIC を用いることは結果に影響する可能性がある．しかし，慢性非特異的腰痛症例にとって最も適切な正規化方法についてはまだ確立されていない [66]．第 5 に本研究における Oswestry Disability Index は平均 14.2 点であり，数値評価スケールは平均 3.1 点であった．日常生活が困難な腰痛を有する 20 歳代の日本人の ODI スコアは平均 15.9 点であることが報告されている [67]．本研究における ODI の平均値は先行研究よりも低く，本研究の慢性非特異的腰痛群の痛みが軽度であった可能性がある．第 6 に，本研究は症例対照研究デザインであるため交絡因子を厳密に制御することが困難であり，職業やライフスタイルのような潜在的な交絡因子が本研究の結果に影響を与えた可能性がある．

2.6 結論

本研究では慢性非特異的腰痛症例におけるバランスボールを用いたブリッジエクササイズでは，グローバル筋である脊柱起立筋の筋活動が健常者に比べて有意に大きく，ローカル筋である内腹斜筋-腹横筋筋活動は健常者に比べて有意に小さかった．ローカル筋の機能不全が脊椎分節間不安定性を引き起こし，グローバル筋筋活動の亢進が衝撃吸収・減衰への寄与を低下させることから，慢性非特異的腰痛患者のリハビリテーションにおいてバランスボールを用いたエクササイズの実施は慎重に行うべきであると考えられた．

3. 研究課題 2「慢性非特異的腰痛症例における屈曲弛緩現象の消失が腰痛関連の機能障害の推移に与える影響の検討」

3.1 緒言

研究課題 1 より，体幹トレーニング中においても慢性非特異的腰痛症例ではグローバル筋の過活動が認められることが明らかとなった．近年の腰痛研究では腰痛症例には様々なタイプが存在するため，生体力学的データはばらつきが大きく，画一的な特徴を示すわけではないとして，サブグループでの検討が必要であると考えられている[68]．しかし腰椎や骨盤の運動学的評価からサブグループする従来の方法では，腰痛強度や機能障害の程度，体幹筋筋活動パターンに一定の見解は認められていない[69,70,71]．研究課題 1 の結果から，体幹筋機能障害によりサブグループする新たな方法として，屈曲弛緩現象の評価に着目した．

健常者において，立位体幹前屈運動を行うと，完全屈曲の約 75–80%で腰背筋の筋活動が低下または消失することが分かっており，この現象は屈曲弛緩現象と呼ばれている[72-74]．これは，体幹の屈曲最終域にて体幹の屈曲モーメントを脊柱の靭帯によって支えることで，腰背筋が完全に弛緩するために生じると考えられている[75]．一方，慢性非特異的腰痛症例ではこの屈曲弛緩現象が消失してしまうことが報告されている[74-78]．先行研究では静止立位からの体幹前屈運動において完全屈曲期での腰部脊柱起立筋筋活動を屈曲期で除した屈曲弛緩比が慢性非特異的腰痛症例では健常者よりも高値となったと報告している[77,79,80]．しかし，屈曲弛緩現象の消失が認められていない慢性非特異的腰痛症例も存在する．Gouteron ら[78]はメタアナリシスにより慢性非特異的腰痛症例の約 55%は屈曲弛緩現象が残存するが，その頻度には報告間の異質性が高いと報告している．つまり，慢性腰痛症例の中にもグローバル筋を過剰に収縮させる運動パターンを持つ例とそうでない例が存在する．

先行研究において，屈曲弛緩比が Oswestry Disability Index（ODI）評価を用いた腰痛による機能障害に関連することが報告されている[81,82]．また，屈曲弛緩現象の消失は急性腰痛症例には認められず，慢性腰痛症例にのみ認められると報告されている[78]．グローバル筋の過活動は脊柱に対する過剰な軸圧によるストレスによる腰痛や筋性腰痛が引き起こすことで腰痛が慢性化すると考えられている[68]．したがって，屈曲弛緩現象の消失はグローバル筋の過活動を反映して，腰痛の慢性化に関連がある可能性がある．しかし，実際に屈曲弛緩現象消失の有無が慢性非特異的腰痛症例における腰痛関連の機能指標の推移に与える影響を検討した研究はない．本研究の目的は慢性非特異的腰痛症例に対し，立位体幹前屈運動時の屈曲弛緩現象の有無が 20 週後の腰痛関連指標の推移に与える影響を検討することとした．仮説は初回調査時に屈曲弛緩現象が消失している慢性非特異的腰痛症例は 20 週後，残存している症例よりも腰痛による機能障害が大きくなるとした．

3.2 対象および方法

3.2.1　対象

本研究には 19 名の慢性非特異的腰痛症例を対象とした．すべての参加者は森ノ宮医療大学に所属する学生であり，公募により募集された．慢性非特異的腰痛症例は第 12 胸椎と尾骨高位の間に 3 か月以上続く，numerical rating scale(NRS)が 3.0 点以上の痛みを有するものと定義した [27]．除外基準は重度の脊椎病変，神経障害，体幹または股関節の骨折または手術の病歴，過去 2 年間の妊娠，および体幹の理学療法の病歴とした [27]．本研究はヘルシンキ宣言に従って実施された．また森ノ宮医療大学の倫理審査委員会(承認番号 2024-013)で承認され，参加者全員から書面によるインフォームドコンセントを得て行われた．

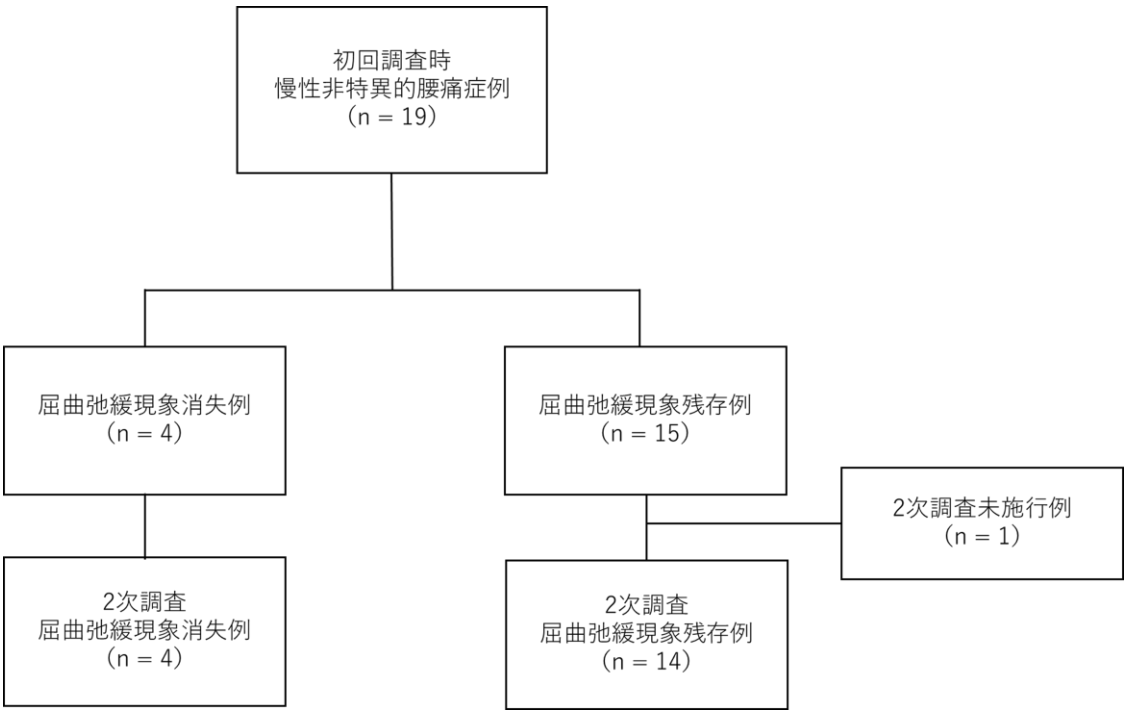


図 7. 研究デザイン

3.2.2　研究方法

本研究は初回調査と初回調査の 20 週間後の 2 次調査を行い，初回調査を行った中で 1 名が 2 次調査から脱落した（図 7）．初回調査時には体幹前屈運動時の背筋筋活動の評価と腰痛関連機能指標である ODI を調査した．初回調査の 20 週後に同質問紙票の回答を得た．対象は 20cm 台の上でつま先が台の端にくるように立ち，両肘関節伸展位で台の前を指先が超えるように前屈を行い，その後また最初の立位姿勢に戻るようにした．安静立位，屈曲，完全屈曲位，伸展，安静立位はそれぞれメトロノームに合わせて 4 秒かけて行った．測定は

3 回行った．加速度計付きワイヤレス表面筋電図（Mini Wave Infinity, Cometa Systems, Milan, Italy）を用いて，体幹筋の筋活動量を測定した．被験筋は疼痛側の腰部最長筋とし，貼付位置は SENIAM の基準[83]に従い，第 1 腰椎棘突起から 3cm 外側とした．アルコールと研磨剤を用いて十分に皮膚処理を行った後，筋線維と平行になるように電極を貼付した．また，柔軟性の影響を考慮するため，最大前屈位にて指床間距離を測定した．指床間距離は台から中指先端までの距離を計測した．指が台を超えて前屈した場合，正の値とした．

3.2.3　データ解析

データ解析には MATLAB 2019a（MathWorks，Massachusetts, USA）が使用された．すべての生波形は 30 Hz のハイパスフィルターと 2.5 Hz のローパスフィルターを用いてフィルター処理を行った．完全屈曲期 4 秒間のうち中央 2 秒間の二乗平均平方根（root mean square；RMS）を屈曲期 4 秒間のうち 2 秒間の RMS で除した値を屈曲弛緩比とした（図 8）．屈曲弛緩現象の有無は屈曲弛緩比が 0.6 以上の例を屈曲弛緩現象の消失例と定義した[84]．

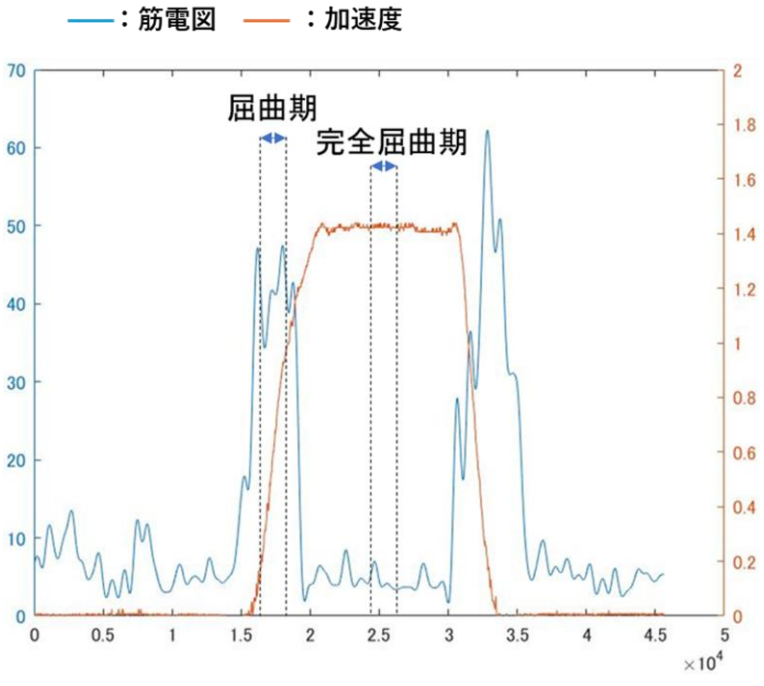


図 8. 屈曲弛緩現象の残存している症例における筋電波形．屈曲弛緩比は完全屈曲期 4 秒間のうち中央 2 秒間の二乗平均平方根（RMS）を算出し，屈曲期 4 秒間のうち中央 2 秒間の RMS で除すことで算出した．

3.2.4　統計解析

統計学的解析には IBM SPSS Statistics 28（IBM，Illinois，USA）を使用した．Shapiro–Wilk 検定により正規性の検定を行った．正規性の有無に従って，対応のない t 検定または Mann–Whitney U 検定を用いて人口統計学的データ，指床間距離，屈曲弛緩比，初回調査時の NRS と ODI，20 週間後の ODI の変化量を屈曲弛緩現象の消失した群と残存した群の間で比較した．また，正規分布に従う場合は Cohen の d としてデータが正規分布に従わない場合は r として効果量を算出した．効果量は小（$d = 0.2$ または $r = 0.1$），中程度（$d = 0.5$ または $r = 0.3$），大（$d = 0.8$ または $r = 0.5$）に分類した [41]．

3.3 結果

慢性非特異的腰痛症例 18 名のうち，屈曲弛緩現象が消失していた例は 4 名，残存していた例は 14 名であった．屈曲弛緩現象の消失群と残存群の間で年齢，身長，体重，BMI，初回調査時の NRS と ODI に有意差は認められなかった．指床間距離と屈曲弛緩比には有意差が認められた（指床間距離：$P = 0.006$, $d = 1.87$，屈曲弛緩比：$P < 0.001$, $d = 2.93$）（表 5）．

表 5. 屈曲弛緩現象の消失群と残存群それぞれの人口統計データ

	消失群（n=4）	残存群（n=14）	P値	効果量
年齢（歳）	20.0±0	19.9±0.6	0.878	0.06[a]
身長（cm）	164.0±7.8	163.9±9.2	0.985	0.02
体重（kg）	55.5±6.7	56.2±5.5	0.859	0.10
BMI（kg/m^2）	20.5±0.7	20.9±1.5	0.650	0.26
指床間距離（cm）	19.2±5.5	2.4±12.5	0.006	1.87
屈曲弛緩比	0.9±0.26	0.3±0.17	<0.001	2.93
初回調査時 NRS（/10）	5.3±1.5	4.5±1.4	0.405	0.49
初回調査時 ODI（%）	16.9±7.4	14.2±0.7	0.489	0.40

[a] 非正規分布データであったため，ノンパラメトリック検定を用い，効果量は r を用いた．

20 週後の ODI 合計点の変化量に群間で有意な差は認められなかったものの, 効果量は中程度から大であった（ODI：$P = 0.372$, $d = 0.60$）（図 9）．ODI の項目別では 20 週後の変化量 ODI-1（痛みの強さ）で有意な群間差が認められ，大きな効果量を示した（$P = 0.025$, $r = 0.55$）（図 9，表 6）．その他に関して，20 週間後の変化量では有意差は認められないものの，両群間で ODI-8（性生活），社会生活を表す ODI-9（社会生活）は中程度から大の効果量を示し，ODI-4（歩くこと），ODI-6（立っていること），ODI-10（乗り物での移動）は小から中程度の効果量を, ODI-2（身の回りのこと), ODI-3（物を持ち上げること), ODI-5（座ること），ODI-7（睡眠）は小以下の効果量であった（図 9，表 6）．なお，ODI-7（睡眠）はすべての被験者で初回調査時および 2 次調査ともに 0 であった.

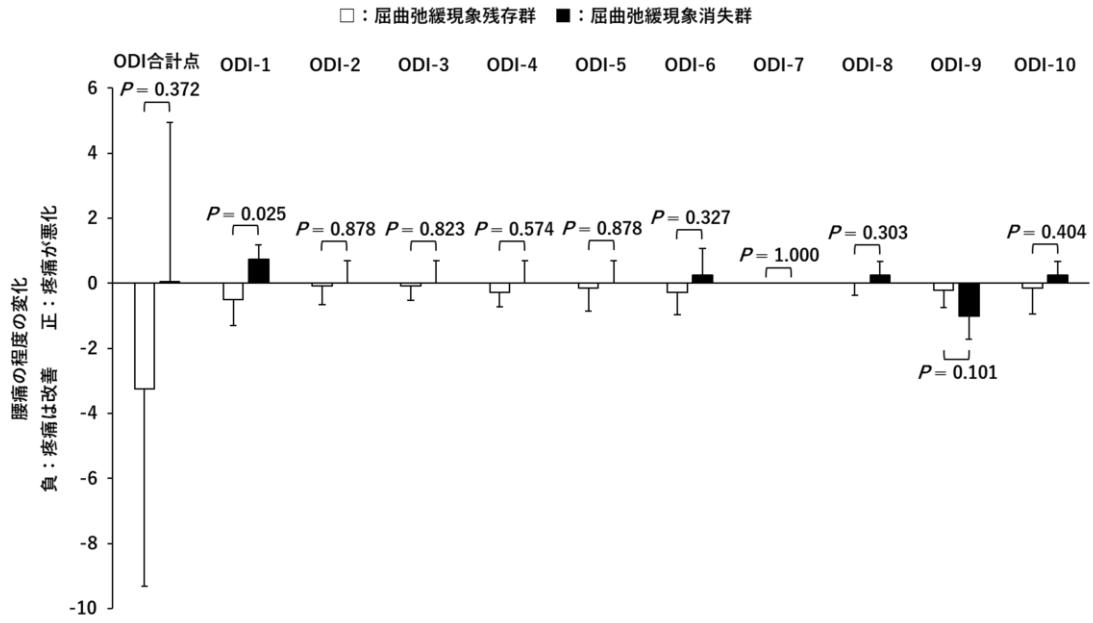


図 9. 初回調査から 2 次調査までの ODI 各項目の変化量
各項目の内容は ODI-1：痛みの強さ，ODI-2：身の回りのこと（洗濯や着替え），ODI-3 :物を持ちあげること，ODI-4：歩くこと，ODI-5：座ること，ODI-6：立っていること，ODI-7：睡眠，ODI-8：性生活，ODI-9：社会生活，ODI-10：乗り物での移動
正の値は悪化，負の値は改善していることを示す.

表 6．初回調査から 2 次調査までの ODI の変化量における群間差の効果量

ODI 項目	効果量
ODI（合計点）	$d = 0.60$
ODI-1（痛みの強さ）	$r = 0.55$
ODI-2（身の回りのこと）	$r = 0.04$
ODI-3（物を持ち上げること）	$d = 0.13$
ODI-4（歩くこと）	$r = 0.18$
ODI-5（座ること）	$r = 0.06$
ODI-6（立っていること）	$r = 0.27$
ODI-7（睡眠）	$r = 0$
ODI-8（性生活）	$d = 0.60$
ODI-9（社会生活）	$r = 0.44$
ODI-10（乗り物での移動）	$d = 0.48$

効果量は小（$d = 0.2$ または $r = 0.1$），中程度（$d = 0.5$ または $r = 0.3$），大（$d = 0.8$ または $r = 0.5$）に分類した．

3.4 考察

本研究は慢性非特異的腰痛症例に対し，体幹屈曲運動時の屈曲弛緩現象の有無が 20 週後の腰痛特異的評価指標である ODI の推移に影響を及ぼすかを検討した．その結果，20 週後，体幹前屈時の屈曲弛緩現象が残存した例では消失した例に比し，「痛み強さ」は有意に改善した．また，有意差を検出できなかったものの，ODI の「合計点」および「性生活」，「社会生活」の改善に関して，屈曲弛緩現象が残存例は，消失例に比べて中程度から大の効果量の改善を認めた．

体幹前屈運動時の屈曲弛緩現象は高い再現性があり，健常例と慢性非特異的腰痛症例を判別できる十分な妥当性があるとされているが [85]，慢性腰痛症例において屈曲弛緩現象が消失する機序に関しては明らかでない．幾つかの先行研究は屈曲弛緩現象の消失は体幹の前屈角度と関連して生じる可能性があると報告されている [86-88]．本研究においても，屈曲弛緩現象の消失群は残存群よりも指床間距離が有意に短く，消失群では骨盤や股関節の可動域も含めた体幹前屈角度が大きいことを示唆する結果であった．一方，屈曲弛緩現象の消失が反復的な前屈動作による脊柱への力学的負荷や大きな腰椎伸展モーメント，また，強い運動恐怖感によって生じることが報告されている [81,89-91]．したがって、屈曲弛緩現象の消失は体幹前屈角度の増加が直接の原因として生じるのではなく，慢性非特異的腰痛症例における疼痛に対する防御反応の 1 つとして生じる可能性がある．今後，慢性腰痛症例における屈曲弛緩現象の消失の発生機序に関してはさらなる研究が必要と考えられた．

本研究において屈曲弛緩現象の消失例は 19 名中 4 名であり，20%程度であった．メタアナリシスでは屈曲弛緩現象は慢性非特異的腰痛症例において 55%で残存するが報告間に異質性は高いと報告されている [78]．本研究と同様に第 1 腰椎高位で屈曲弛緩現象を測定した先行研究 [92] では屈曲弛緩現象の有無の判断を視覚的に行うという違いはあるものの，消失例は全体の 23.5%であり，本研究における屈曲弛緩現象の消失例の割合と近似していた．下位腰椎で最長筋での筋活動を検討し，屈曲弛緩現象の有無を本研究同様に閾値法で行った先行研究では屈曲弛緩現象の消失例は全体の 43%であり [93]，本研究よりも割合は大きくなっていた．一方，下位腰椎で最長筋を測定し，屈曲弛緩現象の有無の判断を視覚的に行った研究ではすべての被験者で屈曲弛緩現象が消失していたという報告もある [94]．以上より屈曲弛緩現象の評価法は先行研究によって異なり，評価する筋の高位および評価方法の違いが消失例の比率に大きく影響を及ぼしている可能性がある [92-96]．

本研究では 20 週後，屈曲弛緩現象の有無は ODI の合計点の改善に有意差は認められなかった．先行研究では屈曲弛緩現象の消失に関して，痛みの強さとの関連が示唆されている．Alschuler らは屈曲弛緩比が疼痛の強さを示す McGill Pain Questionnaire や疼痛が日常生活に及ぼす影響を表す Quebec Back Pain Disability Scale および Multidimensional Pain Inventory と有意に相関していたと報告している [81]．また，先行研究では屈曲弛緩現象が本研究にて使用した ODI と相関することを報告している [97]．Marshall らは 12 週間の運動療法介入を行ったところ，完全屈曲期に亢進していた脊柱起立筋の筋活動が有意に減少し，障害スコアと疼痛スコアともに有意に改善し，この屈曲弛緩比の変化が介入後の ODI の改善の約 40%を説明できると報告している [98]．本研究において屈曲弛緩現象の残存している例は 20 週後，多くの ODI 下位尺度において改善傾向にあるのに対し，屈曲弛緩現象の消失している例は 20 週後，ほとんどの ODI 下位尺度にて初回調査時からほとんど変化がない傾向にあった．したがって，本研究結果から慢性非特異的腰痛症例において屈曲弛緩現象の残存例は 20 週後の腰痛に起因する機能障害が改善しやすい可能性がある．

3.5 研究限界

本研究における限界として，第 1 にサンプルサイズが十分でないことがあげられる．本研究では ODI の「合計点」,「性生活」,「社会生活」の改善に関して，2 群の群間差に中程度から大の効果量が認められたものの，統計学的有意差を検出することができなかった．したがって，今後，より大きなサンプルサイズでの検討が望まれる．第 2 に，対象者が若年者に限られていたことがあげられる．屈曲弛緩現象は年齢による影響を受けるという報告もあることから [99,100]，今後，成長期，壮年期，中年期，高齢期の対象者での検討も必要と考えられる．

3.6 結論

本研究は慢性非特異的腰痛症例に対し，立位体幹前屈時の屈曲弛緩現象の有無が 20 週後の腰痛特異的評価指標の推移に与える影響を検討した．屈曲弛緩現象の残存していた例では消失していた例に比し，20 週後の腰痛特異的評価指標 ODI での「痛みの強さ」が有意に改善した．さらに統計学的有意差は検出できなかったものの，ODI 合計点ならびに「性生活」,「社会生活」に関する下位尺度において, 屈曲弛緩現象が残存した例は消失例と比べて, 中程度から大の効果量を有する改善を認めた．以上より慢性非特異的腰痛症例において屈曲弛緩現象の消失の有無が腰痛による機能障害の推移に影響を与えると考えられた．

4. 統括論議

慢性非特異的腰痛症例における体幹筋の筋活動動態をグローバル筋およびローカル筋という機能に着目して検討することで，腰痛患者に対する理学療法における治療方法や評価方法への新たな知見を得ることを目的として 2 つの研究課題を実施した．

研究課題 1 では慢性非特異的腰痛群と健常対照群において不安定条件下での運動中の体幹筋筋活動に及ぼす影響の違いを検討し，慢性非特異的腰痛群では対照群に比べて負荷の増大に伴ってグローバル筋が過度に働くことが明らかとなった．研究課題 2 では慢性非特異的腰痛症例に対し，立位体幹前屈時の屈曲弛緩現象の有無が 20 週後の腰痛特異的評価指標の推移に影響を及ぼすかを検討した．屈曲弛緩現象の残存例では消失例に対し腰痛特異的評価指標である ODI の下位尺度「痛みの強さ」が有意に改善した．以上より慢性非特異的腰痛症例では運動療法中にもグローバル筋の過活動が認められることが明らかとなり，さらにこのような活動パターンの変化が将来の腰痛にも影響を与える可能性がある．したがって、臨床では痛みの程度のみならず，体幹筋の機能にも着目して治療介入を行うことが本症の慢性化の予防につながることが示唆された．

5. 結論

本研究論文では第 1 に慢性非特異的腰痛症例における足部支持面を不安定にしたブリッジエクササイズ中の体幹筋筋活動を検討した．第 2 に，慢性非特異的腰痛症例に対し，立位体幹前屈時の体幹筋筋活動と腰痛特異的評価指標を評価し，異常筋活動の有無が 20 週後の腰痛特異的評価指標の推移に影響を与えるかを検討した．これらの検討結果より以下の結論を得た．

1. バランスボールを用いたブリッジエクササイズにおいて，慢性非特異的腰痛症例では健常対照例と比較してグローバル筋である脊柱起立筋の筋活動は高値を示し，内腹斜筋-腹横筋筋の活動は低値を示した．グローバル筋に対するローカル筋の筋活動比率についても，慢性非特異的腰痛症例では腹部，背部ともに不均衡を示した．したがって，バランスボールを用いたブリッジエクササイズでは慢性非特異的腰痛症例における体幹筋筋活動パターンの異常を助長してしまう可能性があるため，段階的な運動療法介入が必要である．

2. 慢性非特異的腰痛症例の 20%で屈曲弛緩現象が消失していた．屈曲弛緩現象の消失例は 20 週後の腰痛特異的評価指標 ODI の下位尺度「痛みの強さ」の改善が残存例と比較して有意に不良であった．したがって，屈曲弛緩現象が消失していた慢性非特異的腰痛症例では 20 週後，腰痛関連症状が持続する可能性がある．

6. 謝辞

本研究は，私が北海道大学大学院保健科学院博士後期課程在学中に，同大学院保健科学研究院リハビリテーション科学分野，遠山晴一教授にご指導いただき行われたものです．本研究を進めるにあたり，遠山晴一教授には研究計画の立案から，学会発表，論文作成に至るまで，あらゆる局面で多大なるご指導やご支援を賜りました．不出来な私に対し，長らくも辛抱強く御指導くださいました遠山晴一教授に，心からの敬意と感謝の意を表します．

北海道大学大学院保健科学研究院リハビリテーション科学分野，寒川美奈教授には，研究内容に関していつも親身なご指導を賜り，また論文投稿の際にも多くのご助言をいただきました．深く感謝申し上げます．また，ご多忙の中，本論文の主査をお引き受けいただきましたこと，重ねて深謝申し上げます．

北海道大学大学院保健科学研究院リハビリテーション科学分野，石田知也講師，越野裕太助教，笠原敏史助教には，研究の構想段階から研究内容に関していつも親身なご指導，ご指摘を賜り，また論文投稿に当たっても細やかなご指導いただきました．深く感謝申し上げます．

北海道大学大学院保健科学研究院リハビリテーション科学分野，長谷川直哉准教授にはご多忙の中，本論文の副査をお引き受けいただきましたこと心より感謝申し上げます．

札幌スパインクリニック，渡邊吾一院長，渡邊エリカ理事，リハビリテーション科，大場崇弘氏，鳴海果奈実氏をはじめとするクリニックの皆様には多大なるご協力，ご支援を賜り，公私に渡り支えていただきました．深く感謝申し上げます．

森ノ宮医療大学リハビリテーション学部，工藤慎太郎教授，河西謙吾准教授，堤真大講師をはじめとした同部の皆様には，社会人学生としてご理解，ご協力いただきましたことを深謝申し上げます．

北海道大学病院リハビリテーション科，大須賀聡氏には研究の構想段階から学会発表，論文投稿に至るまで，あらゆる局面で多大なるご指導を賜りましたこと深く感謝申し上げます．

北海道大学大学院保健科学研究院運動器障害学研究室の皆様には，本研究を進めるにあたり，多大なるご協力やご支援を賜り，公私に渡って支えていただきましたことを深く感謝いたします．

7. 引用文献

1. Hoy D, Bain C, Williams G, et al. A systematic review of the global prevalence of low back pain. Arthritis Rheum. 2012;64: 2028–2037
2. Global Burden of Disease 2015 DALYs and HALE Collaborators. Global, regional, and national disability-adjusted life-years (DALYs) for 315 diseases and injuries and healthy life expectancy (HALE),1990–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. Lancet. 2016; 388: 1603–1658.
3. 厚生労働省. 2022（令和４）年　国民生活基礎調査の概況| III　世帯員の健康状況 https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/dl/04.pdf （2024/10/27 閲覧）.
4. Vos T, Flaxman AD, Naghavi M, Lozano R, Michaud C, Ezzati M, Shibuya K, Salomon JA, Abdalla S, Aboyans V, et al. Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet. 2012;380(9859):2163-2196.
5. Hoy D, March L, Brooks P, Blyth F, Woolf A, Bain C, Williams G, Smith E, Vos T, Barendregt J, Murray C, Burstein R, Buchbinder R. The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. Ann Rheum Dis. 2014; 73(6): 968–974.
6. Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, Hoy D, Karppinen J, Pransky G, Sieper J, Smeets RJ, Underwood M. What low back pain is and why we need to pay attention. Lancet. 2019;391(10137):2356-2367.
7. Deyo RA, Mirza SK, Turner JA, Martin BI. Overtreating chronic back pain: time to back off? J Am Board Fam Med 2009; 22(1): 62–68.
8. Itoh H, Kitamura F, Yokohama K. Estimates of Annual Medical Costs of Work-related Low Back Pain in Japan. Ind Health. 2013 ;51(5):524-529
9. Pinheiro MB, Ferreira ML, Refshauge K, Maher CG, Ordoñana JR, Andrade TB, Tsathas A, Ferreira PH. Symptoms of depression as a prognostic factor for low back pain: a systematic review. Spine J. 2016; 16(1): 105–116.
10. Lee H, Hubscher M, Moseley GL, Kamper SJ, Traeger AC, Mansell G, McAuley JH. How does pain lead to disability? A systematic review and meta-analysis of mediation studies in people with back and neck pain. Pain 2015; 156(6): 988–997.
11. Parreira P, Maher CG, Steffens D, Hancock MJ, Ferreira ML.Risk factors for low back pain and sciatica: an umbrella review. Spine J. 2018;18(9):1715-1721.
12. Chou R, Shekelle P. Will this patient develop persistent disabling low back pain? JAMA 2010; 303(13): 1295–1302.
13. Hartvigsen J, Natvig B, Ferreira M. Is it all about a pain in the back? Best Pract Res Clin

Rheum. 2013; 27(5): 613–623.
14. Airaksinen, O.; Brox, J.I.; Cedraschi, C.; Hildebrandt, J.; Klaber-Moffett, J.; Kovacs, F.; Mannion, A. F.; Reis, S.; Staal, J. B.; Ursin, H.; Zanoli, G.; COST B13 Working Group on Guidelines for Chronic Low Back Pain. Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. Eur Spine J. 2006;15(2):S192–300.
15. van Tulder, M.; Becker, A.; Bekkering, T.; Breen, A.; del Real, M. T.; Hutchinson, A.; Koes, B.; Laerum, E.; Malmivaara, A.; COST B13 Working Group on Guidelines for the Management of Acute Low Back Pain in Primary Care. Chapter 3. Europe-an guidelines for the management of acute nonspecific low back pain in primary care. Eur Spine J. 2006;15(2):S169–191.
16. Itz CJ, Geurts J W, van Kleef M, Nelemans P. Clinical course of non-specific low back pain: a systematic review of prospective cohort studies set in primary care. Eur J Pain. 2013;17(1):5-15.
17. Gore M, Sadosky A, Stacey BR, Tai K, Leslie D. The burden of chronic low back pain: clinical comorbidities, treatment patterns, and health care costs in usual care settings. Spine (Phila Pa 1976). 2012;37(11):E668-677.
18. Hayden JA, Ellis J, Ogilvie R, Malmivaara A, van Tulder MW. Exercise therapy for chronic low back pain. Cochrane Database Syst Rev. 2021;9: CD009790.
19. Oliveira CB, Maher CG, Pinto RZ, Traeger AC, Lin CC, Chenot JF, van Tulder M, Koes BW. Clinical practice guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care: an updated overview. Eur Spine J. 2018;27(11):2791–803.
20. Qaseem A, Wilt TJ, McLean RM, Forciea MA. Noninvasive treatments for acute, subacute, and chronic low back pain: a clinical practice guideline from the American College of Physicians. Ann Intern Med. 2017;166(7): 514–530.
21. Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. Acta Orthop Scand Suppl. 1989;230:1-54.
22. Hodges P W, Moseley G L, Gabrielsson A, Gandevia S C. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. Exp Brain Res. 2003;151(2):262-271.
23. Hodges P W, Richardson C A. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. Spine (Phila Pa 1976). 1996;21(22):2640-2650.
24. MacDonald D, Moseley G L, Hodges P W. Why do some patients keep hurting their back? Evidence of ongoing back muscle dysfunction during remission from recurrent back pain. Pain. 2009;142(3):183-188.
25. Miura T, Yamanaka M, Ukishiro K, Tohyama H, Saito H, Samukawa M, Kobayashi T, Ino

T, Takeda N. Individuals with chronic low back pain do not modulate the level of transversus abdominis muscle contraction across different postures. Man Ther. 2014;19(6): 534-540.

26. Goubert D, Oosterwijck JV, Meeus M, DanneelsL. Structural Changes of Lumbar Muscles in Non-specific Low Back Pain: A Systematic Review. Pain Physician. 2016;19(7):E985-E1000.
27. Goubert D, Meeus M, Willems T, De Pauw R, Coppieters I, Crombez G, Danneels L. The association between back muscle characteristics and pressure pain sensitivity in low back pain patients. Scand J Pain. 2018;18(2):281-293.
28. Hodges P W, Richardson C A. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. Phys Ther. 1997;77(2):132-142.
29. Nakata A, Osuka S, Ishida T, Saito Y, Koshino Y, Samukawa M, Kasahara S, Tohyama H. Relationship between onset of trunk muscle activities and pelvic kinematics in individuals with and without chronic low back pain. J Back Musculoskelet Rehabil. 2024;37(5):1391-1400.
30. Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, Patel TC. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. Spine (Phila Pa 1976). 2000;25(8): 947-954.
31. Hodges P, van den Hoorn W, Dawson A, Cholewicki, J. Changes in the mechanical properties of the trunk in low back pain may be associated with recurrence. J Biomech. 2009;42(1): 61-66.
32. Gildea JE, van den Hoorn W, Hides JA, Hodges PW. Trunk dynamics are impaired in ballet dancers with back pain but improve with imagery. Med Sci Sports Exerc. 2015;47(8): 1665-1671.
33. Hodges PW, Coppieters MW, MacDonald D, Cholewicki, J. New insight into motor adaptation to pain revealed by a combination of modelling and empirical approaches. Eur J Pain. 2013;17(8): 1138–1146.
34. Richardson CA, Jull G, Hodges PW, Hides JA. Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach. Churchill Livingstone: London, England, 1999.
35. O'Sullivan PB, Twomey L, Allison TG. Altered abdominal muscle recruitment in patients with chronic back pain following a specific exercise intervention. J Orthop Sports Phys Ther. 1998;27(2): 114-124.
36. Stevens VK, Bouche KG, Mahieu NN, Coorevits PL, Vanderstraeten GG, Danneels LA. Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. BMC Musculoskelet Disord. 2006; 7: 1-8.

37. Marshall P, Murphy B. Changes in muscle activity and perceived exertion during exercises performed on a swiss ball. Appl Physiol Nutr Metab. 2006;31(4):376-383.
38. Cho S, Park S. Immediate effects of isometric trunk stabilization exercises with suspension device on flexion extension ratio and strength in chronic low back pain patients. J Back Musculoskelet Rehabil. 2019;32(3):431-436.
39. Feldwieser FM, Sheeran L, Meana-Esteban A, Sparkes V. Electromyographic analysis of trunk-muscle activity during stable, unstable and unilateral bridging exercises in healthy individuals. Eur Spine J. 2012;21(2):S171–186.
40. Imai, A, Kaneoka K, Okubo Y, Shiina I, Tatsumura M, Izumi S, Shiraki H. Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. J Orthop Sports Phys Ther. 2010; 40(6): 369-375.
41. Czaprowski D, Afeltowicz A, Gębicka A, Pawłowska P, Kędra A, Barrios C, Hadała M. Abdominal muscle EMG-activity during bridge exercises on stable and unstable surfaces. Phys Ther Sport. 2014; 15(3): 162–168.
42. Arab, AM, Ghamkhar L, Emami M, Nourbakhsh M.R. Altered muscular activation during prone hip extension in wom-en with and without low back pain. Chiropr Man Therap. 2011;19:18.
43. Garg A, Pathak H, Churyukanov MV, Uppin RB, Slobodin TM. Low back pain: critical assessment of various scales. Eur Spine J. 2020;29(3): 503-518.
44. Cholewicki J, Panjabi MM, Khachatryan A. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. Spine (Phila Pa 1976). 1997;22(19): 2207–2212.
45. Marshall PW, Murphy B. The validity and reliability of surface EMG to assess the neuromuscular response of the abdominal muscles to rapid limb movement. J Electromyogr Kinesiol. 2003;13(5): 477–489.
46. Koumantakis GA, Oldham JA. Paraspinal strength and electromyographic fatigue in patients with sub-acute back pain and controls: Reliability, clinical applicability and between-group differences. World J Orthop. 2021;12(11): 816-832.
47. Stevens VK, Bouche KG, Mahieu NN, Coorevits PL, Vanderstraeten GG, Danneels LA. Trunk muscle activity in healthy subjects during bridging stabilization exercises. BMC Musculoskelet Disord. 2006;7: 1-8.
48. Cohen, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences, 2nd ed.; Routledge: London, England, 1988
49. Osuka S, Koshino Y, Yamanaka M, Miura T, Saito Y, Ueno R, Ishida T, Samukawa M, Tohyama H. The onset of deep abdominal muscles activity during tasks with different trunk rotational torques in subjects with non-specific chronic low back pain. J Orthop Sci. 2019;24(5):770-775.

50. Suehiro T, Ishida H, Kobara K, Osaka H, Kurozumi C. Trunk muscle activation patterns during active hip abduction test during remission from recurrent low back pain: an observational study. BMC Musculoskelet Disord. 2021;22(1):671.
51. Barker PJ, Briggs CA, Bogeski G. Tensile transmission across the lumbar fasciae in unembalmed cadavers: effects of tension to various muscular attachments. Spine (Phila Pa 1976). 2004;29(2):129–138.
52. Cresswell AG, Grundström H, Thorstensson A. Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. Acta Physiol Scand. 1992;144(4): 409-418.
53. Bartelink DL. The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs. J Bone Joint Surg Br. 1957;39-B(4):718-725.
54. Ainscough-Potts AM, Morrissey MC, Critchley D. The response of the transverse abdominis and internal oblique muscles to different postures. Man Ther. 2006;11(1):54-60.
55. van Dieën JH, Cholewicki J, Radebold A. Trunk muscle recruitment patterns in patients with low back pain enhance the stability of the lumbar spine. Spine (Phila Pa 1976). 2003;28(8):834–841.
56. Marras WS, Ferguson SA, Burr D, Davis KG, Gupta P. Spine loading in patients with low back pain during asymmetric lifting exertions. Spine J. 2004;4(1):64–75.
57. Mok NW, Brauer SG, Hodges PW. Failure to use movement in postural strategies leads to increased spinal displacement in low back pain. Spine (Phila Pa 1976). 2007;32(19): E537–543.
58. Wahl MJ, Behm DG. Not all instability training devices enhance muscle activation in highly resistance-trained individuals. J Strength Cond Res. 2008;22(4):1360c70.
59. O'Sullivan P, Twomey L, Allison G, Sinclair J, Miller K. Altered patterns of abdominal muscle activation in patients with chronic low back pain. Aust J Physiother. 1997; 43(4):91-98
60. Saragiotto BT, Maher CG, Yamato TP, Costa LOP, Costa LCM, Ostelo RWJG, Macedo LG. Motor Control Exercise for Nonspecific Low Back Pain: A Cochrane Review. Spine (Phila Pa 1976). 2016;41(16):1284-1295.
61. Xu HR, Zhang YH, Zheng YL. The effect and mechanism of motor control exercise on low back pain: a narrative review. EFORT Open Rev. 2023;8(7):581-591.
62. Owen PJ, Miller CT, Mundell NL, Verswijveren SJJM, Tagliaferri SD, Brisby H, Bowe SJ, Belavy DL. Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network meta-analysis. British journal of sports medicine. 2020;54(21):1279–1287.

63. Tsao H, Hodges PW. Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain. J Electromyogr Kinesiol. 2008;18(4):559-567.
64. Lee NG, Jung JH, You JS, Kang SK, Lee DR, Kwon OY, Jeon HS. Novel augmented ADIM training using ultra-sound imaging and electromyography in adults with core instability. J Back Musculoskelet Rehabil. 2011;24(4):233-240.
65. Fortin M, Rye M, Roussac A, Montpetit C, Burdick J, Naghdi N, Rosenstein B, Bertrand C, Macedo LG, Elliott JM, Dover G, DeMont G, Weber MH, Pepin V. The Effects of Combined Motor Control and Isolated Extensor Strengthening versus General Exercise on Paraspinal Muscle Morphology, Composition, and Function in Patients with Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. J Clin Med. 2023;12(18):5920.
66. Besomi M, Hodges PW, Clancy EA, Van Dieën J, Hug F, Lowery M, Merletti R, Søgaard K, Wrigley T, Besier T, Carson RG, Disselhorst-Klug C, Enoka RM, Falla D, Farina D, Gandevia S, Holobar A, Kiernan MC, McGill K, Perreault E, Rothwell JC, Tucker K. Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Amplitude normalization matrix. Journal of electromyography and kinesiology. 2020;53:102438.
67. Tonosu J, Takeshita K, Hara N, Matsudaira K, Kato S, Masuda K, Chikuda H. The normative score and the cut-off value of the Oswestry Disability Index (ODI). Eur Spine J. 2012;21(8):1596-602.
68. van Dieën JH, Reeves NP, Kawchuk G, van Dillen LR, Hodges PW. Motor Control Changes in Low Back Pain: Divergence in Presentations and Mechanisms. J Orthop Sports Phys Ther. 2019; 49(6):370-379.
69. Hemming R, Sheeran L, van Deursen R, Sparkes V. Investigating differences in trunk muscle activity in non-specific chronic low back pain subgroups and no-low back pain controls during functional tasks: a case-control study. BMC Musculoskelet Disord. 2019;20(1):459.
70. Orakifar N, Shaterzadeh-Yazdi MJ, Salehi R, Mehravar M, Namnik N. Muscle Activity Pattern Dysfunction During Sit to Stand and Stand to Sit in the Movement System Impairment Subgroups of Low Back Pain. Arch Phys Med Rehabil. 2019;100(5):851-858.
71. Kim M, Yi C, Kwon O, Cho S, Cynn H, Kim Y, Hwang S, Choi B, Hong J, Jung D. Comparison of lumbopelvic rhythm and flexion-relaxation response between 2 different low back pain subtypes. Spine (Phila Pa 1976). 2013 Jul 1;38(15):1260-1267.
72. Floyd WF, Silver PHS. Function of the erector spinae muscles in flexion of the trunk. Lancet 1951;1(6647):133–134.
73. Mathieu PA, Forin M. EMG kinematics of normal subjects performing trunk flexion–extension freely in space. J Electromyogr Kinesiol 2000;10(3):197–209.

74. Neblett R, Mayer TG, Gatchel RJ, Keeley J, Proctor T, Anagnostis C. Quantifying the lumbar flexion-relaxation phenomenon: theory, normative data, and clinical applications. Spine (Phila Pa 1976). 2003;28(13):1435-1446.
75. Gupta A. Analyses of myo-electrical silence of erectors spinae. J Biomech. 2001; 34(4):491–496.
76. Dankaerts W, O'Sullivan P, Burnett A, Straker L, Davey P, Gupta R. Discriminating healthy controls and two clinical subgroups of nonspecific chronic low back pain patients using trunk muscle activation and lumbosacral kinematics of postures and movements: a statistical classification model. Spine (Phila Pa 1976). 2009;34(15):1610-1618.
77. Ahern D, Follick M, Council J, et al. Comparison of lumbar paravertebral EMG patterns in chronic low back pain patients and nonpatient controls. Pain 1988;34(2):153–160.
78. Gouteron A, Tabard-Fougère A, Bourredjem A, Casillas J, Armand S, Genevay S. The flexion relaxation phenomenon in nonspecific chronic low back pain: prevalence, reproducibility and flexion-extension ratios. A systematic review and meta-analysis. Eur Spine J. 2022;31(1):136-151.
79. Kim M, Yi C, Kwon O, Cho S, Cynn H, Kim Y, Hwang S, Choi B, Hong J, Jung D. Comparison of lumbopelvic rhythm and flexion-relaxation response between 2 different low back pain subtypes. Spine (Phila Pa 1976). 2013;38(15):1260-1267.
80. Laird R, Keating JL, Kent P. Subgroups of lumbo-pelvic flexion kinematics are present in people with and without persistent low back pain. BMC Musculoskelet Disord. 2018;19(1):309.
81. Alschuler KN, Neblett R, Wiggert E, Haig AJ, Geisser ME. Flexion-relaxation and clinical features associated with chronic low back pain: A comparison of different methods of quantifying flexion-relaxation. Clin J Pain. 2009;25(9):760-766.
82. Marshall PWM, Murphy BA. Evaluation of functional and neuromuscular changes after exercise rehabilitation for low back pain using a Swiss ball: a pilot study. J Manipulative Physiol Ther. 2006;29(7):550-560.
83. SENIAM http://www.seniam.org/ （2024 年 11 月 8 日閲覧）
84. Schinkel-Ivy A, Nairn BC, Drake JDM. Evaluation of methods for the quantification of the flexion-relaxation phenomenon in the lumbar erector spinae muscles. J Manipulative Physiol Ther.2013;36(6):349-358.
85. De Carvalho D, Mackey S, To D, Summers A, Frey M, Romme K, Hogg-Johnson S, Howarth SJ. A systematic review and meta analysis of measurement properties for the flexion relaxation ratio in people with and without non specific spine pain. Sci Rep. 2024;14(1):3260.
86. Neblett R, Mayer TG, Brede E, Gatchel RJ. The effect of prior lumbar surgeries on the

flexion relaxation phenomenon and its responsiveness to rehabilitative treatment. Spine J. 2014;14(6):892-902.
87. Rose-Dulcina K, Dubessy M, Armand S, Genevay S. Understanding the flexion-relaxation phenomenon in non-specific chronic low back pain patients throught immersive virtual reality feedback approach. Sci Rep. 2024;14(1):15936.
88. Rose-Dulcina K, Genevay S, Dominguez D, Armand S, Vuillerme N. Flexion-Relaxation Ratio Asymmetry and Its Relation With Trunk Lateral ROM in Individuals With and Without Chronic Nonspecific Low Back Pain. Spine (Phila Pa 1976). 2020;45(1):E1-E9.
89. Hendershot B, Bazrgari B, Muslim K, Toosizadeh N, Nussbaum MA, Madigan ML. Disturbance and recovery of trunk stiffness and reflexive muscle responses following prolonged trunk flexion: influences of flexion angle and duration. Clin Biomech (Bristol). 2011;26(3):250-256.
90. Dickey JP, McNorton S, Potvin JR. Repeated spinal flexion modulates the flexion-relaxation phenomenon. Clin Biomech (Bristol). 2003;18(9):783-789.
91. Zwambag DP, De Carvalho DE, Brown SHM. Decreasing the required lumbar extensor moment induces earlier onset of flexion relaxation. J Electromyogr Kinesiol. 2016;30:38-45.
92. Mannion AF, Taimela S, Muntener M, Dvorak J. Active therapy for chronic low back pain part 1. Effects on back muscle activation, fatigability, and strength. Spine. 2001; 26(8):897–908.
93. Dubois JD, Piche M, Cantin V, Descarreaux M. Effect of experimental low back pain on neuromuscular control of the trunk in healthy volunteers and patients with chronic low back pain. J Electromyogr Kinesiol. 2011;21:774–781.
94. Shirado O, Ito T, Kaneda K, Strax TE. Flexion-relaxation phenomenon in the back muscles. a comparative study between healthy subjects and patients with chronic low back pain. Am J Phys Med Rehabil.1995;74:139–144.
95. Murillo C, Martinez-Valdes E, Heneghan NR, Liew B, Rushton A, Sanderson A, Fallah D. High-density electromyography provides new insights into the flexion relaxation phenomenon in individuals with low back pain. Sci Rep.2019;9(1):15938.
96. Arguisuelas MD, Lisón JF, Doménech-Fernández J, Martínez-Hurtado I, Salvador Coloma P, Sánchez-Zuriaga D. Effects of myofascial release in erector spinae myoelectric activity and lumbar spine kinematics in non-specific chronic low back pain: randomized controlled trial. Clin Biomech (Bristol, Avon) .2019;63:27–33.
97. Triano JJ, Schultz AB. Correlation of objective measure of trunk motion and muscle function with low-back disability ratings. Spine (Phila Pa 1976). 1987;12(6):561-565.
98. Marshall PWM, Murphy BA. Muscle activation changes after exercise rehabilitation for

chronic low back pain. Arch Phys Med Rehabil. 2008;89(7):1305-1313.
99. Tabard-Fougère A, Dayer R, Armand S, Vuillerme N. Flexion-Relaxation Phenomenon in Children and Adolescents With and Without Nonspecific Chronic Low Back Pain: An Electromyographic and Kinematic Cross-Sectional Comparative Study. Spine (Phila Pa 1976). 2018;43(19):1322-1330.
100. Zhang T, Firouzabadi A, Yang D, Liu S, Schmidt H. Age-dependent flexion relaxation phenomenon in chronic low back pain patients. Front Bioeng Biotechnol. 2024;12:1388229.

8. 業績一覧

本論文の一部は以下の論文にて発表した．

1. **Nakata A**, Osuka S, Ishida T, Saito Y, Samukawa M, Kasahara S, Koshino Y, Oikawa N, Tohyama H. Trunk Muscle Activity and Ratio of Local Muscle to Global Muscle Activity during Supine Bridge Exercises under Unstable Conditions in Young Participants with and without Chronic Low Back Pain. Healthcare (Basel). 2024.21;12(5):514.

本論文の一部は以下の学会にて発表した．

1. **中田光海**，大須賀聡，石田知也，齋藤優輝，寒川美奈，笠原敏史，越野裕太，及川直樹，遠山晴一．慢性腰痛症例における不安定面上でのブリッジエクササイズ中の体幹筋活動比率の検討．第 11 回日本運動器理学療法学術大会．2023.10．福岡.

2. **中田光海**，石田知也，大須賀聡，齋藤優輝，遠山晴一．バランスボールあるいは BOSU バランストレーナーを用いたブリッジエクササイズ中の腰背部筋における筋活動の検討．第 32 回運動器科学会，2021.5．福岡.

その他業績一覧

学術論文一覧

1. **Nakata A**, Osuka S, Ishida T, Saito Y, Samukawa M, Kasahara S, Koshino Y, Tohyama H. Relationship between onset of trunk muscle activities and pelvic kinematics in individuals with and without chronic low back pain. Journal of Back Musculoskeletal and Rehabilitation. 2024;37(5):1391-1400.

2. Osuka S, Ishida T, Yamanaka M, Chiba T, Miura T, Koshino Y, Saito Y, **Nakata A**, Samukawa M, Kasahara S, Tohyama H. Abdominal draw-in maneuver changes neuromuscular responses to sudden release from trunk loading in patients with non-specific chronic low back pain. J Orthop Sci. 2020;25(5):781-786.

3. Saito Y, Ishida T, Kataoka Y, Takeda R, Tadano S, Suzuki T, Nakamura K, **Nakata A**, Osuka S, Yamada S, Samukawa M, Tohyama H. Evaluation of gait characteristics in subjects with locomotive syndrome using wearable gait sensors. BMC Musculoskelet Disord. 2022;23(1):457.

4. Kataoka Y, Saito Y, Takeda R, Ishida T, Tadano S, Suzuki T, Nakamura K, **Nakata A**, Osuka S, Yamada S, Samukawa M, Tohyama H. Evaluation of Lower-Limb Kinematics during Timed Up and Go (TUG) Test in Subjects with Locomotive Syndrome (LS) Using Wearable Gait Sensors (H-Gait System). Sensors (Basel). 2023;23(2):687.

5. 大須賀聡，高畑雅彦，武田量，石田知也，**中田光海**，舘ケ澤翔，三好航平，遠山晴一．ウェアラブルセンサを用いた頭頚部運動評価システムの妥当性の検討．運動器リハビリテーション．2023;34(1).

6. 三好航平，大須賀聡，石田知也，**中田光海**，遠山晴一．膝関節屈曲角度の違いがバランスボールに両足を乗せて行う背臥位ブリッジエクササイズにおける下肢体幹筋活動に与える影響．運動器リハビリテーション．2023;34(3).

学会発表一覧

1. **中田光海**，石田知也，大須賀聡，遠山晴一．非特異的腰痛症例に対する腹部引き込み運動介入が外乱に対する体幹安定性に与える効果．第 12 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会．2020.12.神戸

2. **中田光海**，大須賀聡，石田知也，齋藤優輝，遠山晴一．慢性非特異的腰痛症例における腹臥位股関節伸展運動中の骨盤前傾と多裂筋活動開始時間との相関性の検討．第 33 回運動器科学会．2022.7.札幌

3. 大須賀聡，高畑雅彦，武田量，石田知也，**中田光海**，舘ヶ澤翔，三好航平，遠山晴一．wearable sensor を用いた頭頚部運動評価システムの妥当性の検討．第 33 回運動器科学会．2022.7.札幌

4. 片岡義明，齋藤優輝，武田量，石田知也，但野茂，山田悟史，大須賀聡，**中田光海**，遠山晴一．Timed up and go test における下肢キネマティクスのロコモ重症度に関連する因子．第 33 回運動器科学会．2022.7.札幌

5. 齋藤優輝，片岡義明，武田量，石田知也，但野茂，山田悟史，大須賀聡，**中田光海**，遠山晴一．10m 歩行試験における歩行時下肢キネマティクスがロコモ 25 に関連する要因の検討．第 33 回運動器科学会．2022.7.札幌

6. 舘ヶ澤翔，大須賀聡，高畑雅彦，武田量，石田知也，**中田光海**，三好航平，遠山晴一．wearable sensor を用いた頭頚部運動評価システムの検者内・検者間信頼性の検討．第 33 回運動器科学会．2022.7.札幌

7. 三好航平，大須賀聡，石田知也，**中田光海**，遠山晴一．膝関節角度の違いがバランスボール上でのブリッジエクササイズにおける下肢体幹筋活動に与える影響．第 33 回運動器科学会．2022.7.札幌

8. 大須賀聡，石田知也，山中正紀，**中田光海**，不動桃子，遠山晴一．非特異的腰痛症例に対する腹部引き込み運動訓練が外乱に対する体幹筋共同活動時間に与える影響．第 14 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会．2022.6.札幌