

2021 年度 修士学位論文

題目：

慢性腰痛者における異なる姿勢での
横隔膜機能と呼吸パターンの特徴

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程

スポーツ健康科学専攻 2 回生

学生証番号：6232200002-8

氏 名：岩倉 広和

2021 年度修士学位論文

慢性腰痛者における異なる姿勢での
横隔膜機能と呼吸パターンの特徴

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程 2 回生

6232200002-8

岩倉 広和

慢性腰痛者における異なる姿勢での 横隔膜機能と呼吸パターンの特徴

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生

岩倉 広和

要旨

キーワード：腰痛症，横隔膜，呼吸パターン，姿勢変化

【背景と目的】

慢性腰痛症は，世界的に多くの方が経験する筋骨格障害である．横隔膜機能の低下に伴う呼吸運動の変化は，慢性腰痛症に関連している．横隔膜が正常に活動した際，胸郭と腹部の前後および側方へ運動が観察される横隔膜呼吸が生じる．さらに，横隔膜は，腹腔内圧を調整することにより，脊椎や体幹部の安定性に貢献する．先行研究では，腰痛者は健常者と比較して，背臥位での横隔膜機能の低下と呼吸パターンの変化が生じていることが報告されている．しかし，横隔膜機能と呼吸パターンが異なる姿勢や慢性腰痛症の存在によってどのような影響を受けるかは明らかではない．本研究の目的は，慢性腰痛者と健常者に対して，複数の姿勢での横隔膜機能と呼吸パターンを調査し，その特徴を明らかにすることである．

【方法】

慢性的な腰痛症状のある男性 9 名（慢性腰痛群）と健常男性 17 名（健常群）を対象とした．背臥位，座位，立位での 3 つの姿勢で，安静呼吸中の横隔膜筋厚（吸気と呼気）および筋厚変化率，可動性，吸気時間，呼気時間，呼吸時間，呼吸パターン評価の Hi-Lo テストと Lateral Rib Excursion (LRE) を評価した．統計処理は，反復二元配置分散分析と一般化推定方程式，事後検定はともにボンフェローニの多重比較検定を用いてグループとテスト姿勢を比較した．

【結果と考察】

慢性腰痛群では、健常群と比較して有意に左右側の横隔膜筋厚変化率が低下していた ($p < 0.05$)。姿勢の影響では、背臥位と座位、背臥位と立位で横隔膜の吸気および呼気での筋厚、筋厚変化率、可動性、吸気時間、Hi-Lo テストで有意な変化を認めた ($p < 0.05$)。また、群×姿勢交互作用では左側の横隔膜筋厚変化率に有意差を認めた ($p = 0.021$)。

慢性腰痛者では、呼吸状態の変化や姿勢制御能力の低下による横隔膜の筋疲労が影響し、横隔膜機能の低下を生じさせる可能性がある。さらに、腰痛者では健常者と比較して左側の横隔膜機能の低下が顕著であった。左側の横隔膜は、心臓によりドーム型の形状が平坦化することで筋線維が短くなり、力発揮に不利な形状をしている。左側のみに群×姿勢交互作用を認めた要因には、横隔膜の左右側での筋形状が異なることが影響している可能性がある。

【結論】

本研究の結果、慢性腰痛者は健常者と比較して左右側の横隔膜筋厚変化率が低下していた。特に、慢性腰痛者の左側の横隔膜筋厚変化率は、健常者と比較して背臥位から座位もしくは立位への姿勢変化に伴う横隔膜筋厚変化率の増加が小さいことが明らかとなった。

An examination of diaphragm function and breathing mechanics in multiple position in individuals with chronic low back pain

Graduate School of Sport and Health Science Ritsumeikan University

Hirokazu Iwakura

Abstract

Keywords: Low back pain, diaphragm, breathing pattern, posture change

【Introduction and Purpose】

Chronic low back pain (LBP) is one of the most prevalence musculoskeletal disorders in a general population. Altered breathing mechanics with poor diaphragm function has been linked to chronic LBP. When the diaphragm is functionally normal, it produces diaphragmatic breathing that is an observable breathing pattern of anterior chest and abdominal expansion as well as lateral rib expansion (LRE). In addition, the diaphragm muscle significantly contributes to spinal and trunk stability by modulating intra-abdominal pressure. Previous research has demonstrated that patients with LBP exhibit deficits in diaphragm function and altered breathing mechanics in a supine position compared with healthy control. It is currently unknown how diaphragm function and breathing mechanics are affected by different positions and the presence of chronic LBP. The purpose of this study was to examine the diaphragm function and breathing mechanics in multiple position in individuals with chronic LBP and healthy control.

【Methods】

Nine participants with chronic LBP and seventeen healthy control participants volunteered. The following variables were assessed: diaphragm thickness, diaphragm

contractility, diaphragm excursion, inspiratory time, expiratory time, breathing time, breathing with Hi-lo and LRE in supine, sitting, standing position while resting breathing. Repeated two-way ANOVA and generalized estimated equations approach with a post hoc pairwise comparison with Bonferroni correction were used to compare the diaphragm variables and breathing pattern between groups and test positioning.

【Result and Discussion】

The chronic LBP group had less diaphragm contractility of right and left hemidiaphragm compared with the control groups ($p < 0.05$). There was significant difference in diaphragm thickness (inspiratory and expiratory) and diaphragm contractility, diaphragm excursion, inspiratory time, and breathing pattern classification from the Hi-lo test between supine and sitting positions and between supine and standing positions ($p < 0.05$). A significant Group \times Posture interaction was observed for left hemidiaphragm contractility ($p = 0.021$).

An increase in demand of the diaphragm due to altered respiratory status and diminished postural control associated with chronic LBP could lead to diaphragm fatigue that may contribute to decreased diaphragmatic function in individuals with chronic LBP. Because the heart is located in the upper part of the left hemidiaphragm, the muscle fibers are short, which is disadvantageous for exerting force. Group \times Posture interaction may have been observed due to the difference in diaphragm muscle shape on the right and left sides.

【Conclusion】

Individuals with LBP had decrease contractility of right and left hemidiaphragm compared with healthy subjects. In particular, left hemidiaphragm contractility in individuals with chronic LBP is less than that in healthy controls when the posture changes from the supine position to sitting position or standing position.

目次

第1章 緒言.....	1
1-1 腰痛症の社会的影響.....	1
1-1-1 腰痛者の現状	1
1-1-2 腰痛症が健康や社会生活に及ぼす影響	1
1-2 腰痛症と呼吸機能障害.....	2
1-3 腰痛者の横隔膜と呼吸パターン.....	2
1-3-1 腰痛者の横隔膜	2
1-3-2 腰痛者の呼吸パターン	3
1-3-3 姿勢が横隔膜機能と呼吸パターンに及ぼす影響	4
1-4 本研究の目的と仮説.....	6
第2章 方法.....	7
2-1 研究デザイン	7
2-2 実験対象者	7
2-3 測定項目	8
2-3-1 身体的特性・心理的特性	8
2-3-2 横隔膜の筋厚・筋厚変化率・可動性・呼吸時間	9
2-2-3 呼吸パターン	12
2-4 統計処理	14
第3章 結果.....	15
3-1 身体的特性・心理的特性.....	15
3-2 横隔膜の筋厚・筋厚変化率・可動性・呼吸時間.....	16

3-3 呼吸パターン	20
第4章 考察	22
4-1 慢性腰痛者の横隔膜機能と呼吸パターンの特徴.....	22
4-2 姿勢による横隔膜機能および呼吸パターン, 呼吸時間の変化.....	26
4-3 左側の横隔膜筋厚変化率に交互作用を認めた要因.....	27
4-4 本研究の臨床的意義.....	29
4-5 限界点	30
第5章 結論	31
参考文献	32
謝辞	42

第1章 緒言

1-1 腰痛症の社会的影響

1-1-1 腰痛者の現状

慢性腰痛症は、世界的に多くの方が経験する筋骨格障害である (GBD 2015 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators, 2016; Balague et al., 2012). 2015年に報告された195の国と地域で行われた大規模疫学調査では、腰痛症の有病者数は約5億4000万人と報告されている (GBD 2015 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators, 2016). 加えて、腰痛症の生涯有病率は約84%であると推定されている (Balague et al., 2012). 本邦においても多くの方が経験する症状であり、厚生労働省が報告をした令和元年の国民生活基礎調査によると、約30万世帯、約72万人を対象とした自覚症状の状況の調査結果では、腰痛症の有訴者率が男性で1位、女性では2位であった (厚生労働省, 2019). さらに、腰痛症は若年者から高齢者まで幅広い年代の人々が経験することも報告されている (Hoy et al., 2012; Kamper et al., 2016; Hartvigsen et al., 2003). 腰痛症は世界的に様々な年代で発症する症状だが、長期的に症状が残存することが多く慢性化しやすいことも問題として挙げられる (Itz et al., 2013). 腰痛症は発症してから1年の継続率は約65%であると報告されている (Itz et al., 2013). このように腰痛症は、長期間症状が残存することから人々の健康や社会生活に悪影響を与えることが考えられる.

1-1-2 腰痛症が健康や社会生活に及ぼす影響

腰痛症は、人々の健康や社会生活に悪影響を与えることが報告されている (Cedraschi et al., 2016; Bento et al., 2020). 腰痛者は非腰痛者と比較して、健康関連の生活の質やメンタルヘルスが悪化していること、社会生活に制限が生じていることが報告されている (Cedraschi et al., 2016; Bento et al., 2020). 腰痛症によるメンタルヘルスの悪化には、痛みが媒介となり、活動への恐怖感や不安感など否定的な心理状態を生じさせ、日常生活の活動に制限を生じさせることも明らかになっている (Marshall et al., 2017). さらに、腰痛症は不快感や損失感、自己の抑制、家族への負担、将来への不安、睡眠不足、運動能力の低下など多岐にわたり人々の健康や精神状態に悪影響を与えている (MacNeela et al., 2015). また社会経済的な視点では、慢性腰痛者は非腰痛者と比較して、入院のリスクが

約 3 倍高いことや休職や退職の要因になることが報告されている (Mapel et al., 2004; Bevan, 2015). そのため, 腰痛症は医療サービスなどを利用するために生じる費用が増加し, 休職や退職による収入源の減少や生産性の低下が生じるため, 個人および社会経済の負担を増加させる (Dagenais et al., 2008). これらのことから, 腰痛症は健康や社会生活に悪影響を与えるため, 予防法や治療法の確立が重要であると考えられる. しかしながら, 腰痛症の多くは原因が明らかではない非特異的腰痛症が多く, 約 85%が非特異的腰痛症であると報告されているため, 効果的な治療法が確立されていないと指摘されている (Balague et al., 2012; Maher et al., 2017). そこで, まずは腰痛者の身体的特徴を調査し, 腰痛症の関連要因を明らかにすることが予防法や治療法につながるため重要となる.

1-2 腰痛症と呼吸機能障害

近年の縦断研究やシステマティックレビューにより, 呼吸機能障害の存在が腰痛症の関連要因であることが報告されている (Smith et al., 2009; Beeckmans et al., 2016). 先行研究では, アンケートを用いて日常的に呼吸困難感を多く経験する中年および高齢女性は, 経験していない者と比較して腰痛症の発症率が約 1.6 倍から 2 倍高いことが報告されている (Smith et al., 2009). 加えて, 呼吸困難感を日常的に経験することは, 身体活動量や肥満といった腰痛症の発症要因として報告されてきたものよりも, 高いオッズ比であったことが報告されている (Smith et al., 2006). また, 喘息や呼吸器感染症などの呼吸器疾患は腰痛症の関連要因であることがシステマティックレビューにより報告されている (Beeckmans et al., 2016).

呼吸機能障害が腰痛症の関連要因である理由について先行研究では, 呼吸筋機能の低下が腰痛症の発症に影響していると示唆されている (Smith et al., 2006; Beeckmans et al., 2016). 実際に, 呼吸の主働筋である横隔膜機能の低下は腰痛症の発症および悪化要因であると示唆されている (Kolar et al., 2012).

1-3 腰痛者の横隔膜と呼吸パターン

1-3-1 腰痛者の横隔膜

腰痛者の横隔膜は, 健常者の横隔膜と比較して形態および機能が異なることが明らかとなっている. MRI を用いた研究では, 健常者の横隔膜と比較して, 腰痛者の横隔膜は薄くなっており呼吸中の横隔膜の位置が高いことや呼吸のリズムが早いことが報告されてい

る (Vostatek et al., 2013). 加えて, 上肢や下肢に抵抗を与えた姿勢制御状態においても, 呼吸中の横隔膜の可動性が健常者と比較して低下していることが明らかになっている (Vostatek et al., 2013; Kolar et al., 2012). 超音波診断装置を用いた研究では, 腰痛者の横隔膜は健常者と比較して, 背臥位での安静吸気時の両側の横隔膜筋厚が小さいことや, 安静呼気時の右側の筋厚が大きいこと, 呼吸中の右側の筋厚変化率が小さいことが報告されている (Calvo-Lobo et al., 2019; Ziaiefar et al., 2021). さらに, 腰痛者は健常者と比較して横隔膜が疲労しやすいことも明らかとなっている (Janssens et al., 2013a).

横隔膜は, 呼吸機能を維持しながら腹腔内圧を高めることによって脊椎や体幹部の安定化, 姿勢制御にも関与している (Hodges et al., 1997; Hodges et al., 2001; Hodges et al., 2002; Kolar et al., 2010). さらに, 腹腔内圧は上昇することにより腰椎の剛性が高まることや脊椎の圧迫力を減少することが報告されている (Hodges et al., 2005; Stokes et al., 2010). そのため, 腹腔内圧生成に関与する多裂筋を含む体幹筋後面の発揮筋力の減少によって, 腰椎の圧縮力や前方せん断力が増加すると報告されており (Raabe et al., 2018), 体幹筋機能の低下は腰痛症のリスクを増加させる可能性が考えられる. 加えて, 腰痛者において, 体幹部の姿勢制御能力が低下していることが明らかになっている (Wang et al., 2021; Willigenburg et al., 2013). 体幹部の姿勢制御能力の低下は, 直接的な腰椎へのメカニカルストレスの増加に寄与することが考えられ, 損傷や痛みにつながることを示唆されている (Cholewicki et al., 2005). したがって, 横隔膜機能の低下は腰痛症の発症や悪化の要因として示唆されている (Kolar et al., 2012).

1-3-2 腰痛者の呼吸パターン

横隔膜は呼吸の主働筋であることから, 呼吸パターンにも影響を及ぼすと考えられている. 横隔膜は, 胸腔と腹腔を隔てるドーム型の筋肉であり, 剣状突起, 第7肋骨から第12肋骨の内側, 第1腰椎から第2腰椎もしくは第3腰椎に付着し, 腱中心と呼ばれる横隔膜の中央部に停止する (De Troyer et al., 1988). 横隔膜の収縮によって, 筋線維が短くなり筋厚を増加させながら, 下降するため起始部である下部胸部は前後, 左右に広がる (De Troyer et al., 1988). 加えて, 横隔膜が尾側へ下降し腹腔内圧を上昇させ, 腹部内臓物や腹部の筋肉を内側から外側に押し付けるため, 腹部の前後, 側方運動を生じさせる (De Troyer et al., 1988; Kirilova et al., 2008). 横隔膜の適切な収縮は, 正常呼吸パターンである胸部および腹部の前後と側方運動が同程度生じる横隔膜呼吸を行うことが出来る

(Courtney, 2009; Horris et al., 2019). また、斜角筋や胸鎖乳突筋、傍胸骨肋間筋などの頸部や胸部の筋肉も呼吸に関与する (De Troyer et al., 1988; De Troyer et al., 1984). これらの筋肉は上部胸郭に停止するため、収縮することにより上部胸郭の前後運動を生じさせる (De Troyer et al., 1988; De Troyer et al., 1984; Courtney, 2009). 安静時における非効率的呼吸パターンである、胸式呼吸では、吸気時の下部胸郭や腹部よりも上部胸郭の前方運動が占める割合が大きくなる (Hagman et al., 2016). 横隔膜機能の低下は、呼吸中の上部胸郭に対する腹部の運動を低下させると考えられており、先行研究により呼吸中における腹部運動と横隔膜可動性との間に高い相関関係が確認されている (Aliverti et al., 2003). また、横隔膜機能の低下の代償として吸気時に脊柱起立筋の活動が増加した場合、腰椎の前弯を増加させてしまう可能性も考えられている (Kolar et al., 2012). 腰椎の前弯運動は、脊椎負荷を増加させることが考えられるため、腰痛症の悪化を招く可能性がある。Roussel らは、腰痛者は健常者と比較して、背臥位や立位での安静呼吸中の呼吸パターンに有意差はないものの、背臥位での運動制御テストである下肢伸展挙上テストでは非効率的呼吸パターンを示す者が多いと報告している (Roussel et al., 2009). そのため、横隔膜機能の低下によって、非効率的呼吸パターンが生じる場合、呼吸のたびに腰椎負荷が増加する可能性が考えられるため、腰痛者の呼吸パターンを評価することは重要と考えられる。しかしながら、腰痛者における呼吸パターンの評価を検討した研究は極めて少ない。腰痛者の呼吸パターンを明らかにすることにより、腰痛症と呼吸機能障害との関連性をより明確にすることに繋がる。そのため、原因が多岐にわたる腰痛症に対する治療法や予防法を提案するにあたり、呼吸パターンに着目する必要性を示唆することが可能となる。

1-3-3 姿勢が横隔膜機能と呼吸パターンに及ぼす影響

腰痛者における横隔膜機能評価の多くは背臥位で実施されているが、横隔膜機能や呼吸パターンは姿勢の影響を受けることが報告されている (Hellyer et al., 2017; Takazakura et al., 2004). 健常者を対象に実施した先行研究では、背臥位と比較して座位や立位において吸気および呼気での横隔膜の筋厚が大きく、かつ筋厚変化率も増加することが報告されている (Hellyer et al., 2017). 加えて、MRI を用いて背臥位と座位で横隔膜の可動性を比較した研究では、背臥位の方が大きな可動性を示したことが報告されている (Takazakura et al., 2004). 呼吸パターンでは、評価法の一つである Hi-Lo テストにおいて背臥位よりも座位や立位で非効率的呼吸パターンに変化する者が増加する一方で、別の

評価法である Lateral Rib Excursion テスト (以下, LRE) では, 姿勢による影響はないと報告されている (Horris et al., 2019). 姿勢に伴う呼吸パラメーターの変化では, 分時換気量や一回換気量において背臥位よりも座位や立位にて増加することが報告されている (Katz et al., 2018; Chang et al., 2005). 抗重力位での横隔膜は, 呼吸機能を維持しながら姿勢制御をしなければならないため, 横隔膜機能がより求められることが考えられる. Hodges らは, 腹腔周囲に存在する筋肉は呼吸, 脊椎の安定化に寄与するが, いずれか一方の要求が高まった場合, もう一方にも影響を与えると述べている (Hodges et al., 2007). 実際に, 姿勢制御能力の低下が報告されている仙腸関節痛を有する者は, 背臥位での姿勢制御状態における呼吸中の横隔膜の可動性が健常者と比較して低下している (O'Sullivan et al., 2002; O'Sullivan et al., 2007). 加えて, 腰痛者では腹横筋や内腹斜筋などの側腹筋群の機能が低下している (Hodges et al., 1999; Teyhen et al., 2009). 腹部筋群は, 姿勢制御に加え呼気の役割を有することから呼吸機能にも関与する (De Troyer et al., 1988). 腹横筋の呼気時の収縮によって, 吸気を行う為に下降した横隔膜を元のドーム形状に戻す役割があり, これらによって横隔膜の筋線維が伸ばされ, 次の吸気での横隔膜の効果的な収縮を行うことが可能となる (De Troyer et al., 1988; Hruska, 1997). 姿勢による腹横筋の筋活動を評価した研究では, 背臥位よりも 80° ヘッドアップ位や立位での姿勢制御状態のほうが腹横筋の筋活動が増加し, さらに呼気時により筋活動が増加していることが明らかとなった (Gilmartin et al., 1987; Montes et al., 2017). これらのことから, 腹横筋を始めとする側腹筋群の活動は背臥位よりも抗重力位で活動を高めることによって, 効果的に横隔膜の筋線維長を戻すことが出来ると考えられる. 横隔膜は, 重力によって腹部内臓物の位置が下がり, ドーム形状が低下することで筋線維長が短くなると考えられている (Takazakura et al., 2004). 横隔膜のドームの平坦化による筋線維長の減少は, 筋収縮に悪影響を与えるため, 腹横筋の呼吸機能も重要となる (Hruska, 1997; Lando et al., 1999). しかしながら, 腰痛者では健常者と比較して姿勢制御時の腹横筋および内腹斜筋の筋活動や筋厚変化率が減少しており, 座位での安静呼吸中の筋厚変化率も健常者と比較して低下している (Hodges et al., 1999; Teyhen et al., 2009; Rasouli et al., 2020). そのため, 腰痛者では横隔膜の平坦化した位置からドーム形状に戻す機能が低下しており, 抗重力位といった呼吸と姿勢制御の 2 つの機能が求められる姿勢では, 背臥位よりも横隔膜機能の低下が生じ, 非効率的呼吸パターンが生じる可能性がある. また, 腰痛者に多い職業では, 長時間の座位や立位での作業姿勢が多いこと (Coenen et al., 2018; Celik et al., 2018), 腰痛

者では健常者と比較して立位での脊椎負荷が大きいことが報告されている (Hasegawa et al., 2018). これらのことから, 腰痛者では姿勢変化による横隔膜機能や呼吸パターンの変化が健常者とは異なる可能性が考えられる. しかしながら, 横隔膜機能や呼吸パターンが腰痛症および異なる姿勢から受ける影響は明らかではない. 横隔膜機能が腰痛症の存在および姿勢によって受ける影響を明らかにすることは, 腰痛症の治療法や予防法において横隔膜機能や呼吸パターンに着目することの重要性を示す研究となり, 治療法や予防法提案の一助となる.

1-4 本研究の目的と仮説

本研究では, 慢性腰痛者と健常者における異なる姿勢での横隔膜機能と呼吸パターンの特徴を明らかにすることを目的に, 慢性腰痛者と健常者の横隔膜機能と呼吸パターンを背臥位, 座位, 立位の3つの姿勢で評価し, 複数の姿勢での横隔膜機能および呼吸パターンの変化を比較することとした. 仮説としては, ①慢性腰痛群では健常群と比較して全ての姿勢, とりわけ座位や立位での抗重力位の横隔膜の筋厚変化率および可動性が低下している, ②慢性腰痛群では健常群と比較して, 抗重力位で非効率的呼吸パターンを示す者が多いとした.

第2章 方法

2-1 研究デザイン

研究デザインは、健常者と慢性腰痛者の横隔膜機能および呼吸パターンを比較する症例対象研究である。一人の実験測定者が腰痛症の採用基準によるスクリーニングを行い、横隔膜機能および呼吸パターンの測定を行う実験測定者には実験対象者の属性グループを伝えずに測定および解析を実施した。

本研究では、事前に承認を得た立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおける人を対象とする医学系研究倫理審査委員会が制定した「人を対象とする医学系研究倫理」の規定に基づき、各実験対象者には測定を行う前に、口頭および書面にて説明を行い、十分な理解を得られたうえで、全ての実験対象者から書面による研究参加の同意を得た（承認番号：BKC-人医-2021-030）。

2-2 実験対象者

実験対象者は、18歳から40歳までの自立した生活を送っており、脳疾患、循環器疾患、血管系疾患の既往歴および現病歴のない男性を対象とした。さらに、腰痛症状を有さない者（以下、健常群）と慢性的な腰痛症状を有する者（以下、慢性腰痛群）の2群に分けた。本研究では47名の男性が実験に参加し、アンケートおよびスクリーニングを行い、現時点で腰痛症を有していないが過去に腰痛症を1度でも経験のある21名（以下、腰痛既往群）を除外し、健常群17名、慢性腰痛群9名を分析対象とした（図2-1）。腰痛症の定義は、「体幹後面に存在し、第12肋骨と臀溝下端の間にある痛み。片側、または両側の下肢に放散する痛みを伴う場合も、伴わない場合もある。また、痛みやしびれが1日に一度でもある場合を腰痛症状あり」とした（日本整形外科学会, 2019）。

慢性腰痛群の採用基準は、①腰痛症による日常生活への影響を評価する Oswestry Disability Index（以下、ODI）で10%以上の点数を有する慢性腰痛者（3か月以上続く腰痛症を有する者）、②外傷によるものではない慢性腰痛者、③腰痛症の慢性的特徴の形態学的変化を観察できる疾患を診断されている慢性腰痛者（例：脊柱管狭窄症、椎間板ヘルニア、脊椎すべり症など）のうち、一つでも該当する項目があれば慢性腰痛群とした（Janssens et al., 2013a; Kolar et al., 2012; 日本整形外科学会, 2019）。健常群は、腰痛症

状の経験がない者とした。除外基準は、本研究への参加時点において心身に重篤な障害と思われる症状を呈している者、肝・腎・心疾患、呼吸障害、内分泌疾患、代謝障害、神経障害、意識障害、前庭系の機能障害歴、糖尿病、その他の疾患（末梢血管の反射障害、急性の炎症、皮膚疾患、感染巣を有する悪性腫瘍）により実験参加が困難な者、医師によるスクリーニングの結果により参加を認められなかった者とした。

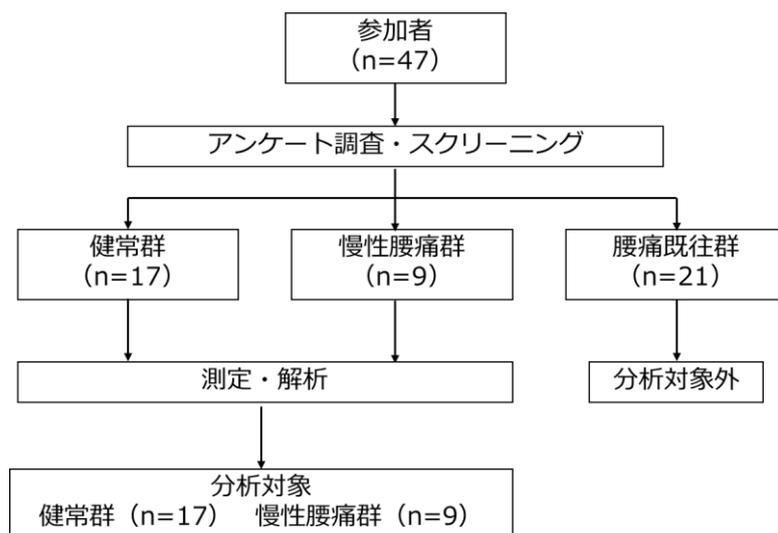


図 2-1 実験対象者のフローチャート

2-3 測定項目

本研究では、全ての実験対象者に背臥位、座位、立位における横隔膜の筋厚・筋厚変化率・可動性・吸気時間・呼気時間・呼吸時間・呼吸パターンの測定を行った。詳細は以下の通りである。

2-3-1 身体的特性・心理的特性

身体的特性では、年齢、身長、体重、Body Mass Index（以下、BMI）、身体活動量、腰痛症の痛みの程度を評価した。身体活動量では、国際標準化身体活動質問票（long version, usual week）にて評価を行った（Craig et al., 2003）。腰痛症の痛みの程度は Visual Analog Scale（以下、VAS）で評価した。VASでは、「痛みが全くない状態」を0、「想像できる最も激しい痛み」を10と考え、直近1週間で最も症状のひどい時の痛みの程度を0から10の直線上で該当する箇所に印を記載させた。0から印までの距離を計測

し、10に近いほど痛みが強いとした。加えて、心理的特性では不安および抑うつ状態を Hospital Anxiety and Depression (以下, HAD)、身体活動および仕事に対する恐怖回避思考を Fear-Avoidance Beliefs Questionnaire (以下, FABQ) を用いて評価を実施した (Igwesi-Chidobe et al., 2021; Marshall et al., 2017)。HAD では、点数が高いほど不安および抑うつ状態が大きいことを示す。FABQ も同様に点数が高いほど、身体活動および仕事に対する恐怖感が大きいことを示す。

2-3-2 横隔膜の筋厚・筋厚変化率・可動性・呼吸時間

安静呼吸中の横隔膜の吸気と呼気における筋厚および筋厚変化率、可動性、呼吸時間を超音波診断装置 (LOGIQ S7 Expert, GE Healthcare) にて測定を行った。筋厚の測定では、左右の第9肋間と前腋窩線と中腋窩線の間で交わる点で胸郭に対して垂直にプローブを当て測定を実施した (図 2-2)。横隔膜の筋厚は、胸膜と腹膜 (高輝度)、横隔膜の筋繊維 (低輝度) の3層構造で構成されている。可動性は右側の肋骨下縁と右側の鎖骨中央線が交わる地点で計測した (図 2-3)。超音波診断装置の設定では筋厚の測定は B モード (10Mhz)、可動性の測定は M モード (3.5Mhz) で実施した。また、M モードで取得した超音波画像より、吸気時間と呼気時間、1呼吸周期に要した時間 (以下、呼吸時間) を算出した。超音波診断装置を使用した横隔膜の計測は妥当性や再現性が高いことが確認されている (Cohn et al., 1997; Harper et al., 2013; Boussuges et al., 2009)。実験測定者の横隔膜機能評価での再現性を算出するために、5名の男性を対象に同様の測定を3回実施した。測定間隔は、最低1週間以上の間隔を空け測定を実施した。本研究での実験測定者の級内相関係数 (ICC 1,3) を表 2-1 に示した。

測定時の姿勢は、背臥位 (膝関節 90° 屈曲位)、座位 (背もたれがない椅子に股関節、膝関節 90° 屈曲位、足関節底背屈中間位で両上肢は大腿の上に置く)、立位 (足幅は肩幅に広げ、両上肢は後ろで組む) の3条件で測定を実施した。

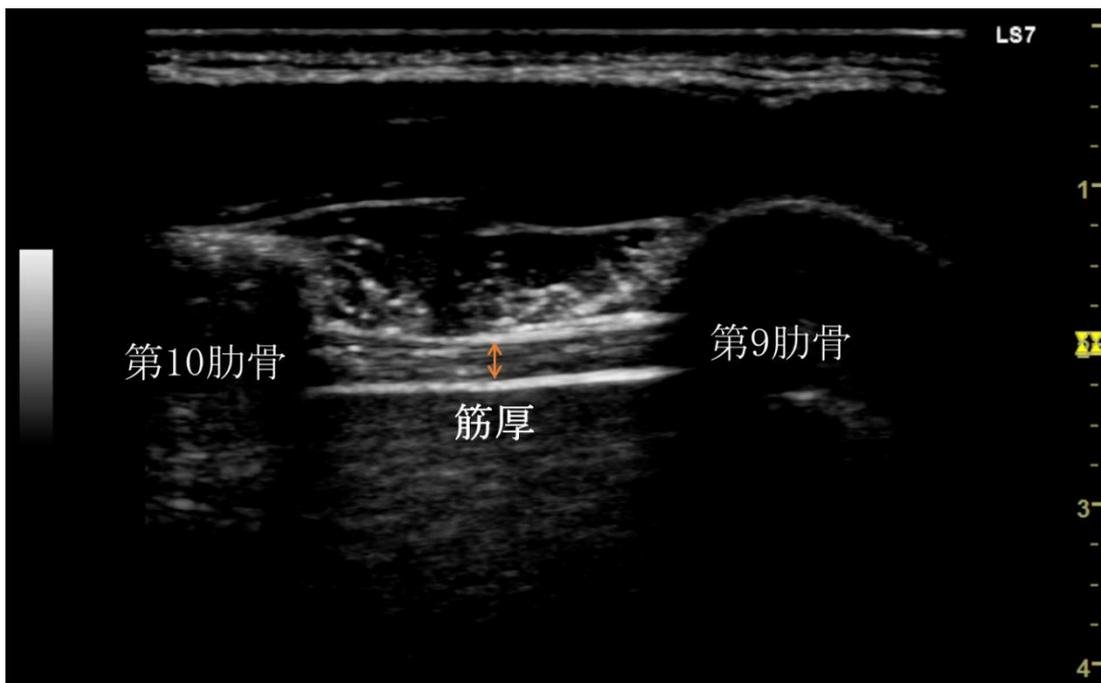


図 2-2 安静吸気時の横隔膜筋厚

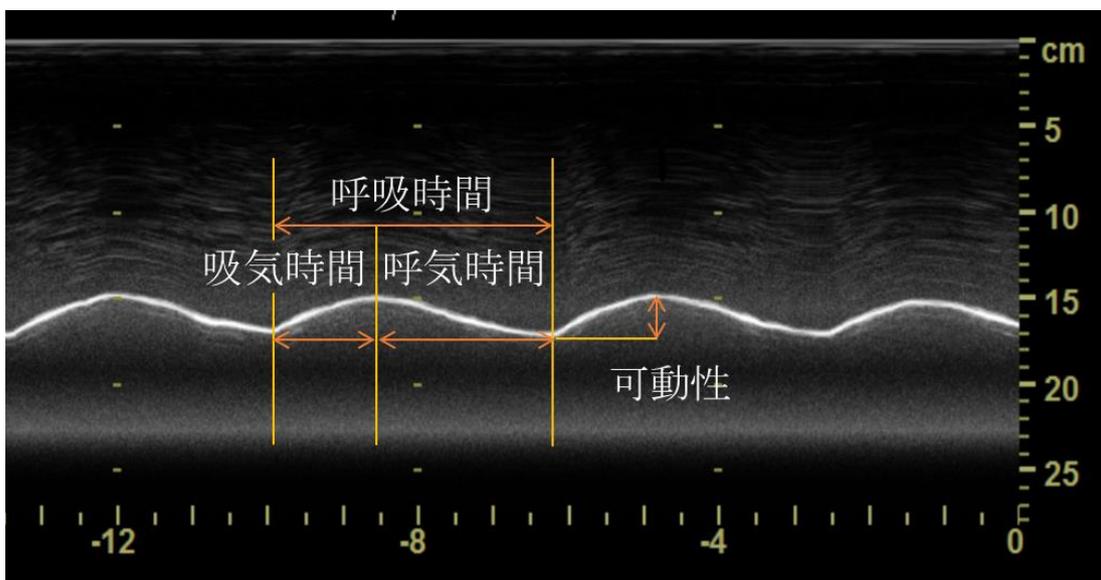


図 2-3 安静呼吸中の横隔膜可動性と吸気時間，呼気時間，呼吸時間

表 2-1 級内相関係数 (ICC 1, 3)

姿勢	変数	ICC (95%信頼区間)
背臥位	右吸気筋厚	0.992 (0.963 - 0.999)
	右呼気筋厚	0.969 (0.863 - 0.997)
	右筋厚変化率	0.994 (0.973 - 0.999)
	左吸気筋厚	0.984 (0.929 - 0.998)
	左呼気筋厚	0.977 (0.897 - 0.997)
	左筋厚変化率	0.965 (0.842 - 0.996)
	可動性	0.992 (0.966 - 0.999)
座位	右吸気筋厚	0.987 (0.942 - 0.999)
	右呼気筋厚	0.992 (0.964 - 0.999)
	右筋厚変化率	0.993 (0.970 - 0.999)
	左吸気筋厚	0.993 (0.969 - 0.999)
	左呼気筋厚	0.921 (0.647 - 0.991)
	左筋厚変化率	0.988 (0.945 - 0.999)
	可動性	0.990 (0.957 - 0.999)
立位	右吸気筋厚	0.971 (0.869 - 0.997)
	右呼気筋厚	0.991 (0.962 - 0.999)
	右筋厚変化率	0.996 (0.981 - 1.000)
	左吸気筋厚	0.989 (0.949 - 0.999)
	左呼気筋厚	0.978 (0.902 - 0.998)
	左筋厚変化率	0.995 (0.979 - 0.999)
	可動性	0.984 (0.929 - 0.998)

分析の方法

筋厚では、取得した超音波画像より肋間距離を計測し、肋間距離の中央地点から胸膜内側と腹膜内側までの距離を超音波診断装置上のメジャーを使用し計測した (Harper et al., 2013; Calvo-Lobo et al., 2019)。

横隔膜の収縮度を表す筋厚変化率を算出した (Sarwal et al., 2013)。横隔膜は収縮をすることにより、筋線維が短くなり筋厚が増加し、尾側に下降する (De Troyer et al., 1988; Harper et al., 2013)。一方、呼気では筋線維が長くなり筋厚が減少し、頭側に上昇する (Harper et al., 2013; Kolar et al., 2012)。筋厚変化率は吸気時と呼気時の筋厚のデータを用いて以下の計算式で算出した。

$$\text{筋厚変化率 (\%)} = (\text{吸気時の筋厚} - \text{呼気時の筋厚}) / \text{呼気時の筋厚} \times 100$$

可動性は、呼気終了時点と吸気終了時点の横隔膜の位置を超音波診断装置上のメジャーにて距離を計測し算出した。また、吸気時間は吸気開始時点から吸気終了時点、呼気時間は呼気開始時点から呼気終了時点、呼吸時間は吸気開始時点から呼気終了時点までに要した時間を算出した。

2-2-3 呼吸パターン

安静呼吸中の呼吸パターンの評価では、Hi-Lo テスト (図 2-4) と LRE (図 2-5) を実施した。測定時の基本姿勢は、背臥位 (膝関節 90° 屈曲位)、座位 (背もたれがない椅子に股関節、膝関節 90° 屈曲位、足関節底背屈中間位、両上肢は大腿の上に置く)、立位 (足幅は肩幅に広げ、両上肢は体側に置く) で実施した。Hi-Lo テストでは、基本姿勢から実験対象者の左手を胸部に右手を腹部に置き、安静呼吸中の胸部および腹部に置かれている手の動きを視診にて評価を行った。LRE は、基本姿勢から実験測定者が第 9 肋骨と第 10 肋骨を側方から触診を行い、安静呼吸中の肋骨の運動から評価を行った。Hi-Lo テストおよび LRE の判定は、正常呼吸パターンと非効率的呼吸パターンに分類を行った (Horris et al., 2019)。Hi-Lo テストの分類基準を表 2-2、LRE の分類基準を表 2-3 に示した。

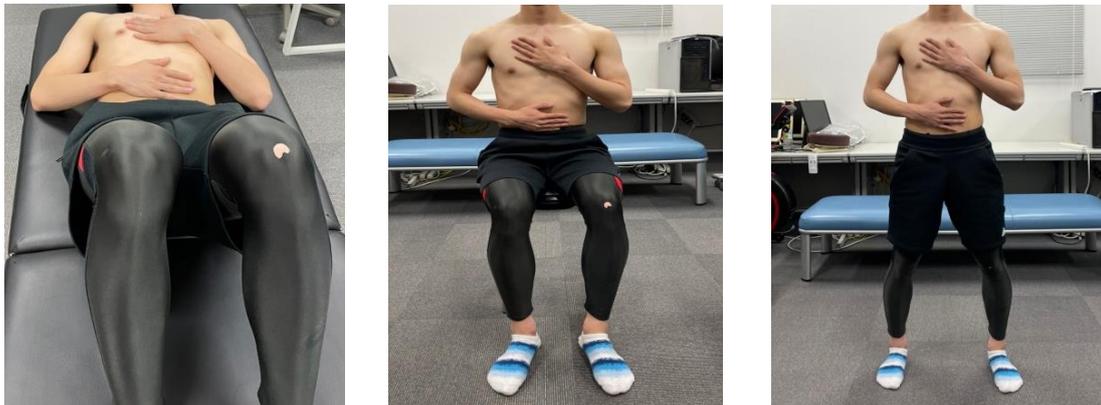


図 2-4 Hi-Lo テスト (左: 背臥位, 中央: 座位, 右: 立位)



図 2-5 LRE (左: 背臥位, 中央: 座位, 右: 立位)

表 2-2 Hi-Lo テストの分類基準

正常呼吸パターン	腹部運動よりも優位な上部胸郭の前方運動がなく、腹部運動に続いて上部胸郭の前方運動が生じている
非効率的呼吸パターン*	腹部運動が見られない
	上部胸郭の運動が腹部よりも優位、もしくは上部胸郭の運動が腹部よりも早期に前方運動が生じる
	上記 2 つともに生じている

* 3つの基準のうち、一つでも該当する項目があれば非効率的呼吸パターンとする

表 2-3 LRE の分類基準

正常呼吸パターン	下部胸郭の側方運動が生じており、優位な上部胸郭の運動が見られない
非効率的呼吸パターン*	下部胸郭の側方運動が見られない
	上部胸郭の運動が下部胸郭より優位な運動が生じる
	上記 2 つともに生じている

* 3つの基準のうち、一つでも該当する項目があれば非効率的呼吸パターンとする

2-4 統計処理

統計処理は SPSS (version 27; IBM Corporation, Armonk, NY) を用いて実施した。身体的特性および心理的特性は、独立標本 t 検定にて検定を行った。横隔膜の筋厚、筋厚変化率、可動性、吸気時間、呼気時間、呼吸時間では、反復二元配置分散分析にて健常群と慢性腰痛群の群因子主効果、および背臥位、座位、立位の姿勢間の姿勢因子主効果、群×姿勢交互作用の検定を行った。反復二元配置分散分析にて有意差を認めた変数では、事後検定としてボンフェローニの多重比較検定を実施し、特定の項目の有意差の検定を行った。Hi-Lo テストおよび LRE は、一般化推定方程式にて群因子主効果および姿勢因子主効果、群×姿勢交互作用の検定を行った。有意差を認めた変数は、事後検定としてボンフェローニの多重比較検定を実施し、特定の項目の有意差の検定を行った。いずれも有意水準は $p < 0.05$ とした。加えて、反復二元配置分散分析での群因子主効果、姿勢因子主効果、群×姿勢交互作用の効果の大きさを検定するために偏イータ 2 乗 (以下、 η^2p) を算出した。効果量の程度は、小 ($0.01 \leq \eta^2p < 0.06$)、中 ($0.06 \leq \eta^2p < 0.14$)、大 ($\eta^2p \geq 0.14$) とした (Cohen, 1988)。

第3章 結果

3-1 身体的特性・心理的特性

身体的特性・心理的特性の平均値と標準偏差を表 3-1 に示した。年齢，身長，体重，BMI，身体活動量に有意差を認めなかったが，ODI にて有意差を認めた ($p<0.001$)。慢性腰痛群の実験対象者は全て発症期間が3か月以上の慢性的な痛みが生じており，腰痛症により日常生活に支障をきたしていることが確認された。心理的特性では，HAD のうつ評価 ($p=0.758$)，FABQ の仕事に関する評価 ($p=0.265$) では，有意差は認められなかったが，HAD の不安評価 ($p=0.034$)，FABQ の身体活動に関する評価で有意差を認めた ($p=0.044$) ため，慢性腰痛群では不安感や身体活動に対する恐怖感が大きいことが確認された。

表 3-1 身体的特性・心理的特性 (平均値±標準偏差)

	健常群	慢性腰痛群	p値
年齢 (歳)	21.5±1.6	20.8±1.1	0.227
身長 (cm)	174.3±5.5	175.7±6.0	0.574
体重 (kg)	67.4±8.5	68.8±4.8	0.649
BMI (kg/m ²)	22.2±2.5	22.3±1.7	0.868
身体活動量 (メッツ*分/週)	5565.1±3122.0	5560.7±2053.5	0.936
VAS (cm)	0	2.8±1.8	
発症期間 (か月)	0	15.3±19.7	
ODI (%)	0.6±1.4	11.3±5.1	<0.001*
HAD 不安 (点)	4.5±2.6	7.2±3.5	0.034*
HAD うつ (点)	6.7±4.4	6.1±3.7	0.758
FABQ 身体活動 (点)	10.8±8.9	17.8±6.0	0.044*
FABQ 仕事 (点)	11.7±10.7	16.7±10.2	0.265

* 統計的に有意差を認める ($p<0.05$)

略語: BMI=Body Mass Index. VAS=Visual Analog Scale. ODI=Oswestry Disability Index.

HAD=Hospital Anxiety and Depression. FABQ= Fear-Avoidance Beliefs Questionnaire.

3-2 横隔膜の筋厚・筋厚変化率・可動性・呼吸時間

横隔膜の筋厚および筋厚変化率，可動性，吸気時間，呼気時間，呼吸時間を反復二元配置分散分析による群因子主効果，姿勢因子主効果，群×姿勢交互作用の結果を表 3-2 に示した．群因子主効果では，右側の筋厚変化率 ($p=0.002$)，左側の筋厚変化率 ($p<0.001$) で有意差を認めた．姿勢因子主効果では，右側の吸気時の筋厚 ($p<0.001$)，呼気時の筋厚 ($p<0.001$)，筋厚変化率 ($p<0.001$)，左側の吸気時の筋厚 ($p<0.001$)，呼気時の筋厚 ($p<0.001$)，筋厚変化率 ($p<0.001$)，可動性 ($p<0.001$)，吸気時間 ($p=0.002$) で有意差を認めた．群×姿勢交互作用では，左側の筋厚変化率 ($p=0.021$) のみ有意差を認めた．

群因子主効果で有意差を認めた右側の筋厚変化率，左側の筋厚変化率の事後検定の結果を表 3-3 に示した．右側の筋厚変化率 (健常群: $40.2\pm 15.1\%$ ，慢性腰痛群: $18.8\pm 15.0\%$ ， $p=0.002$)，左側の筋厚変化率 (健常群: $48.7\pm 14.7\%$ ，慢性腰痛群: $25.7\pm 14.7\%$ ， $p<0.001$) ともに有意差を認めた．

姿勢因子主効果で有意差を認めた右側の吸気時の筋厚，呼気時の筋厚，筋厚変化率，左側の吸気時の筋厚，呼気時の筋厚，筋厚変化率，可動性，吸気時間の結果を表 3-4 (背臥位と座位)，3-5 (背臥位と立位)，3-6 (座位と立位) に示した．背臥位と座位では，右側の吸気時の筋厚 (背臥位: $1.8\pm 0.1\text{mm}$ ，座位: $2.7\pm 0.1\text{mm}$ ， $p<0.001$)，呼気時の筋厚 (背臥位: $1.5\pm 0.0\text{mm}$ ，座位: $2.1\pm 0.1\text{mm}$ ， $p<0.001$)，筋厚変化率 (背臥位: $21.1\pm 15.9\%$ ，座位: $33.7\pm 19.3\%$ ， $p=0.007$)，左側の吸気時の筋厚 (背臥位: $1.6\pm 0.0\text{mm}$ ，座位: $2.6\pm 0.1\text{mm}$ ， $p<0.001$)，呼気時の筋厚 (背臥位: $1.4\pm 0.0\text{mm}$ ，座位: $1.8\pm 0.0\text{mm}$ ， $p<0.001$)，筋厚変化率 (背臥位: $17.9\pm 9.1\%$ ，座位: $48.0\pm 23.1\%$ ， $p<0.001$)，可動性 (背臥位: $2.0\pm 0.9\text{cm}$ ，座位: $1.4\pm 0.5\text{cm}$ ， $p<0.001$)，吸気時間 (背臥位: 1.6 ± 0.5 秒，座位: 1.3 ± 0.5 秒， $p=0.017$) の全てにおいて有意差を認めた．背臥位と立位の比較も同様に，右側の吸気時の筋厚 (背臥位: $1.8\pm 0.1\text{mm}$ ，立位: $2.6\pm 0.1\text{mm}$ ， $p<0.001$)，呼気時の筋厚 (背臥位: $1.5\pm 0.0\text{mm}$ ，立位: $2.0\pm 0.1\text{mm}$ ， $p<0.001$)，筋厚変化率 (背臥位: $21.1\pm 15.9\%$ ，立位: $33.8\pm 18.4\%$ ， $p<0.001$)，左側の吸気時の筋厚 (背臥位: $1.6\pm 0.0\text{mm}$ ，立位: $2.4\pm 0.1\text{mm}$ ， $p<0.001$)，呼気時の筋厚 (背臥位: $1.4\pm 0.0\text{mm}$ ，立位: $1.7\pm 0.0\text{mm}$ ， $p<0.001$)，筋厚変化率 (背臥位: $17.9\pm 9.1\%$ ，立位: $45.7\pm 21.0\%$ ， $p<0.001$)，可動性 (背臥位: $2.0\pm 0.9\text{cm}$ ，立位: $1.5\pm 0.6\text{cm}$ ， $p<0.001$)，吸気時間 (背臥位: 1.6 ± 0.5 秒，立位: 1.4 ± 0.5 秒， $p=0.034$) の全てにおいて有意差を認めた．座位と立位では左側の吸気時の筋厚 (座位: $2.6\pm 0.1\text{mm}$ ，立位: $2.4\pm 0.1\text{mm}$ ， $p=0.009$) のみ有意差を認めた．

群×姿勢交互作用で有意差を認めた左側の筋厚変化率の事後検定の結果を表 3-7 (群間比較), 表 3-8 (群内の背臥位と座位), 表 3-9 (群内の背臥位と立位), 表 3-10 (群内の座位と立位) に示した. 群間比較において, 背臥位 (健常群: 22.9±7.3%, 慢性腰痛群: 12.8±11.0%, p=0.010), 座位 (健常群: 62.7±22.4%, 慢性腰痛群: 33.2±21.3%, p=0.003), 立位 (健常群: 60.5±19.3%, 慢性腰痛群: 30.9±21.4%, p=0.001) いずれも有意差を認めた. また, 健常群の背臥位と座位 (p<0.001), 背臥位と立位 (p<0.001) で有意差を認めたが, 座位と立位 (p=1.000) では有意差を認めなかった. 慢性腰痛群も同様に背臥位と座位 (p=0.016), 背臥位と立位 (p=0.032) で有意差を認めたが, 座位と立位 (p=1.000) では有意差を認めなかった.

表 3-2 健常群と慢性腰痛群の横隔膜機能と呼吸時間の比較

	群因子主効果			姿勢因子主効果			群×姿勢交互作用			
	p値	η ² p	検定力	p値	η ² p	検定力	p値	η ² p	検定力	
右	吸気筋厚	0.102	0.107	0.371	<0.001*	0.830	1.000	0.417	0.036	0.194
	呼気筋厚	0.931	0.000	0.051	<0.001*	0.714	1.000	0.777	0.010	0.088
	筋厚変化率	0.002*	0.332	0.911	<0.001*	0.335	0.977	0.574	0.020	0.114
左	吸気筋厚	0.228	0.060	0.221	<0.001*	0.817	1.000	0.717	0.014	0.101
	呼気筋厚	0.368	0.034	0.143	<0.001*	0.555	1.000	0.257	0.055	0.286
	筋厚変化率	<0.001*	0.375	0.953	<0.001*	0.640	1.000	0.021*	0.166	0.692
可動性	0.942	0.000	0.051	<0.001*	0.442	0.999	0.180	0.068	0.320	
吸気時間	0.194	0.069	0.250	0.002*	0.234	0.857	0.287	0.500	0.227	
呼気時間	0.117	0.099	0.345	0.668	0.010	0.078	0.300	0.046	0.192	
呼吸時間	0.137	0.090	0.315	0.213	0.064	0.330	0.242	0.057	0.231	

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-3 健常群と慢性腰痛群の横隔膜筋厚変化率の比較 (平均値±標準偏差)

	健常群	慢性腰痛群	p値
右筋厚変化率 (%)	40.2±15.1	18.8±15.0	0.002*
左筋厚変化率 (%)	48.7±14.7	25.7±14.7	<0.001*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-4 背臥位と座位の横隔膜の変数と呼吸時間の比較 (平均値±標準偏差)

	背臥位	座位	p値
右 吸気筋厚 (mm)	1.8±0.1	2.7±0.1	<0.001*
右 呼気筋厚 (mm)	1.5±0.0	2.1±0.1	<0.001*
右 筋厚変化率 (%)	21.1±15.9	33.7±19.3	0.007*
左 吸気筋厚 (mm)	1.6±0.0	2.6±0.1	<0.001*
左 呼気筋厚 (mm)	1.4±0.0	1.8±0.0	<0.001*
左 筋厚変化率 (%)	17.9±9.1	48.0±23.1	<0.001*
可動性 (cm)	2.0±0.9	1.4±0.5	<0.001*
吸気時間 (秒)	1.6±0.5	1.3±0.5	0.017*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-5 背臥位と立位の横隔膜の変数と呼吸時間の比較 (平均値±標準偏差)

	背臥位	立位	p値
右 吸気筋厚 (mm)	1.8±0.1	2.6±0.1	<0.001*
右 呼気筋厚 (mm)	1.5±0.0	2.0±0.1	<0.001*
右 筋厚変化率 (%)	21.1±15.9	33.8±18.4	<0.001*
左 吸気筋厚 (mm)	1.6±0.0	2.4±0.1	<0.001*
左 呼気筋厚 (mm)	1.4±0.0	1.7±0.0	<0.001*
左 筋厚変化率 (%)	17.9±9.1	45.7±21.0	<0.001*
可動性 (cm)	2.0±0.9	1.5±0.6	<0.001*
吸気時間 (秒)	1.6±0.5	1.4±0.5	0.034*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-6 座位と立位の横隔膜の変数と呼吸時間の比較 (平均値±標準偏差)

	座位	立位	p値
右 吸気筋厚 (mm)	2.7±0.1	2.6±0.1	0.719
右 呼気筋厚 (mm)	2.1±0.1	2.0±0.1	1.000
右 筋厚変化率 (%)	33.7±19.3	33.8±18.4	1.000
左 吸気筋厚 (mm)	2.6±0.1	2.4±0.1	0.009*
左 呼気筋厚 (mm)	1.8±0.0	1.7±0.0	0.096
左 筋厚変化率 (%)	48.0±23.1	45.7±21.0	1.000
可動性 (cm)	1.4±0.5	1.5±0.6	0.304
吸気時間 (秒)	1.3±0.5	1.4±0.5	1.000

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-7 健常群と慢性腰痛群の左側の横隔膜筋厚変化率の比較 (平均値±標準偏差)

	健常群	慢性腰痛群	p値
背臥位 (%)	22.9±7.3	12.8±11.0	0.010*
座位 (%)	62.7±22.4	33.2±21.3	0.003*
立位 (%)	60.5±19.3	30.9±21.4	0.001*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-8 群内での背臥位と座位の左側の横隔膜筋厚変化率の比較 (平均値±標準偏差)

	背臥位	座位	p値
健常群 (%)	22.9±7.3	62.7±22.4	<0.001*
慢性腰痛群 (%)	12.8±11.0	33.2±21.3	0.016*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-9 群内での背臥位と立位の左側の横隔膜筋厚変化率の比較 (平均値±標準偏差)

	背臥位	立位	p値
健常群 (%)	22.9±7.3	60.5±19.3	<0.001*
慢性腰痛群 (%)	12.8±11.0	30.9±21.4	0.032*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-10 群内での座位と立位の左側の横隔膜筋厚変化率の比較 (平均値±標準偏差)

	座位	立位	p値
健常群 (%)	62.7±22.4	60.5±19.3	1.000
慢性腰痛群 (%)	33.2±21.3	30.9±21.4	1.000

3-3 呼吸パターン

呼吸パターン評価の Hi-Lo テストと LRE の分類の結果を表 3-11 (Hi-Lo テスト), 表 3-12 (LRE) に示した. 一般化推定方程式による群因子主効果, 姿勢因子主効果, 群×姿勢交互作用の結果を表 3-13 に示した. Hi-Lo テストの姿勢因子主効果のみ有意差を認めた ($p=0.001$).

姿勢因子主効果で有意差を認めた Hi-Lo テストの事後検定の結果を表 3-14 (背臥位と座位), 表 3-15 (背臥位と立位), 表 3-16 (座位と立位) に示した. 背臥位と座位 ($p<0.001$), 背臥位と立位 ($p<0.001$) で有意差を認め, 背臥位が座位や立位と比較して正常呼吸パターンを示す者が多い結果であった.

表 3-11 Hi-Lo テスト 人数と群内の割合 (%)

	呼吸パターン	健常群	慢性腰痛群
背臥位	正常呼吸パターン	13 (76.4%)	5 (55.6%)
	非効率的呼吸パターン	4 (23.5%)	4 (44.4%)
座位	正常呼吸パターン	6 (35.3%)	2 (22.2%)
	非効率的呼吸パターン	11 (64.7%)	7 (77.8%)
立位	正常呼吸パターン	5 (29.4%)	2 (22.2%)
	非効率的呼吸パターン	12 (70.6%)	7 (77.8%)

表 3-12 LRE 人数と群内の割合 (%)

呼吸パターン		健常群	慢性腰痛群
背臥位	正常呼吸パターン	4 (28.5%)	1 (11.1%)
	非効率的呼吸パターン	13 (76.4%)	8 (88.9%)
座位	正常呼吸パターン	5 (29.4%)	1 (11.1%)
	非効率的呼吸パターン	12 (70.6%)	8 (88.9%)
立位	正常呼吸パターン	6 (35.3%)	1 (11.1%)
	非効率的呼吸パターン	11 (64.7%)	8 (88.9%)

表 3-13 健常群と慢性腰痛群の呼吸パターンの比較

呼吸パターン	群因子主効果		姿勢因子主効果		群×姿勢交互作用	
	X ² 値	p値	X ² 値	p値	X ² 値	p値
Hi-Loテスト	0.687	0.407	13.045	0.001*	0.531	0.767
LRE	2.214	0.330	2.214	0.310	2.214	0.330

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-14 背臥位と座位 両群合わせた正常呼吸パターンの人数と割合 (%)

	背臥位	座位	p値
Hi-Loテスト	18 (69.2%)	8 (30.8%)	<0.001*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-15 背臥位と立位 両群合わせた正常呼吸パターンの人数と割合 (%)

	背臥位	立位	p値
Hi-Loテスト	18 (69.2%)	7 (26.9%)	<0.001*

* 統計的に有意差を認める (p<0.05)

表 3-16 座位と立位 両群合わせた正常呼吸パターン人数と割合 (%)

	座位	立位	p値
Hi-Loテスト	8 (30.8%)	7 (26.9%)	1.000

第4章 考察

本研究では、慢性腰痛群と健常群の異なる姿勢における横隔膜機能と呼吸パターンの特徴を明らかにすることを目的に実施した。慢性腰痛群では、健常群と比較して全ての姿勢にて横隔膜の筋厚変化率が左右側ともに低下をしていた。各姿勢の評価では、背臥位と座位、背臥位と立位で横隔膜の筋厚および筋厚変化率、可動性、吸気時間、Hi-Lo テストの結果に有意な変化が生じていた。また、群×姿勢交互作用において、左側の横隔膜筋厚変化率のみ有意差を認めた。これらのことから、慢性腰痛群の左側筋厚変化率では、背臥位から抗重力位へ姿勢変化させた際、健常群と比較して変化が小さいことが明らかとなった。腰痛症では非特異的腰痛症が多いため、これらの知見は慢性腰痛者に対する治療介入時に横隔膜機能改善に着目する重要性を示す結果となった (Balague et al., 2012)。

4-1 慢性腰痛者の横隔膜機能と呼吸パターンの特徴

本研究での結果より、慢性腰痛者の横隔膜筋厚変化率は左右側ともに健常者よりも低下をしていることが明らかとなった。慢性腰痛者の横隔膜機能が低下をしている可能性を示したことから、慢性腰痛者において横隔膜機能低下が腰椎へのメカニカルストレスの増加に影響し、腰痛症の慢性化に寄与する要因である可能性が考えられる (Hodges et al., 2005)。

慢性腰痛者での横隔膜機能の変化が生じる要因として、腰痛症による呼吸状態および姿勢制御能力の変化が横隔膜の活動を増加させた可能性が考えられる。横隔膜の過活動により、横隔膜が疲労状態に陥り、その機能が低下した可能性が考えられる。また、痛みが慢性的に続くことにより、腰痛者の多くが不安やうつ状態などの否定的な心理状態に陥る傾向にある (Marshall et al., 2017)。脳における大脳辺縁系とりわけ扁桃体は不安や恐怖感などの感情を処理する領域である (Homma et al., 2008)。吸気のタイミングと脳活動を同期させ、不安による呼吸状態と脳活動の変化を検討した先行研究では、不安を与えた状態は呼吸数が増加し、吸気時の脳活動では扁桃体の活動が増加していることが明らかとなっている (Masaoka et al., 2000)。腰痛者においても安静時の脳活動では扁桃体の活動が健常者と比較して増加していることが報告されている (Kregel et al., 2015)。これらのことから、痛みによる不安感や身体活動に対する恐怖感などの否定的な心理状態では扁桃

体の活動に影響し、呼吸数を増加させている可能性がある。

加えて、腰痛者では物を持ち上げる際に吸気量が健常者と比較して増加していることが報告されている (Hagins et al., 2011)。吸気量の増加は腹腔内圧の上昇に関連するため、腰痛者では、腹腔内圧生成に関与する腹横筋や多裂筋の筋活動の低下や筋萎縮が報告されていることから、代償的に横隔膜の活動を増加させた可能性が考えられる (Hodges et al., 1999; Kader et al., 2000; Marshall et al., 2006)。腰痛者では動作に対する恐怖感が大きくなる傾向があるため、痛みが生じている腰椎部の運動を制限する可能性がある (Marshall et al., 2017; Laird et al., 2014)。そのため、腰痛者では、姿勢制御時に横隔膜の活動による吸気量を増加させ体幹部の安定化を図った可能性が考えられる。これらを踏まえると腰痛者は健常者と比較して、横隔膜の呼吸機能および姿勢制御機能が求められる状況が多いと考えられる。

しかし、呼吸数の増加や姿勢制御による横隔膜の代償的な活動の増加が、慢性的に続くことは継続的に横隔膜の収縮を促すことから、筋疲労を誘発することが考えられる。実際に、全身運動や吸気時に抵抗をかけた状態での呼吸運動、過呼吸などの吸気筋の働きが増加することで、横隔膜は疲労を誘発することが報告されている (Janssens et al., 2013b)。横隔膜の疲労は、横隔膜の収縮能力を低下させることが示唆されている (Janssens et al., 2013b; Coirault et al., 1999)。また、横隔膜が呼気時に弛緩することは、吸気時に生じた横隔膜の平坦化からドーム型に戻すために必要であり、次の吸気を行う為に重要な要素であることが報告されている (Coirault et al., 1999)。横隔膜の弛緩能力が低下することは、筋疲労を誘発させることが示唆されており、実際に腰痛者の横隔膜は健常者と比較して筋疲労しやすいことが明らかとなっている (Coirault et al., 1999; Janssens et al., 2013a)。さらに、横隔膜の呼気時における弛緩能力の低下は、横隔膜の収縮能力を低下させる可能性があり、腰痛者では呼気時における横隔膜の弛緩に問題があると指摘されている (Ziaefar et al., 2021)。これらのことから、腰痛者の横隔膜は呼吸状態の変化や姿勢制御能力の低下に対する横隔膜の活動増加が慢性的に生じることで、筋疲労の誘発に関与し筋厚変化率が健常者と比較して低下している可能性が考えられる。

一方、健常群と慢性腰痛群の横隔膜の可動性に有意差は認められなかった。MRI を使用した先行研究では、腰痛者の横隔膜の可動性は健常者と比較して低下していることを報告しているため、先行研究の結果を支持しない結果となった (Vostatek et al., 2013; Kolar et al., 2012)。先行研究の結果を支持しない理由として、実験の対象者および実施方法が

異なることが考えられる。腰痛者と健常者の横隔膜可動性に有意差が有ることを報告した先行研究では、年齢が腰痛群と比較して健常群は若く、またノーズクリップをして口呼吸にて測定を行っていた。加えて、先行研究では、横隔膜の測定部位が横隔膜の中央部での評価であった。横隔膜機能は加齢による影響を受け、高齢者の方が若年者と比較して横隔膜の発揮筋力が減少していることが報告されている (Sharma et al., 2006)。また、口呼吸をしている者は鼻呼吸をしている者と比較して横隔膜の可動性が低下し、僧帽筋上部線維の筋活動が増加していることも報告されている (Trevisan et al., 2015)。加えて、横隔膜は測定部位により可動性が異なることが示されている (Takazakura et al., 2004)。横隔膜は中央部よりも体の表面に近い位置 (外側) で大きな可動性を示す (Takazakura et al., 2004)。本研究では、年齢に有意差がないこと、口呼吸ではなく鼻呼吸を行うことを指示したこと、測定位置が右側の肋骨下縁と右側の鎖骨中央線が交わる地点での計測であったため、先行研究とは実施方法が異なる。超音波診断装置を用いて本研究と同様の方法で健常群と腰痛群の背臥位での横隔膜可動性を比較した研究では、群間に有意差を認めなかったことが報告されている (Calvo-Lobo et al., 2019; Ziaefar et al., 2021)。これらのことから、実験対象者の年齢や実施方法の違いが、横隔膜の可動性に有意差が生じなかったことが考えられる。

呼吸パターンの評価において群間で有意差を認めなかった。呼吸中の腹部の運動は、横隔膜の可動性と高い相関関係が確認されている (Aliverti et al., 2003)。本研究では、横隔膜の可動性に群間での有意差を認めなかったため、呼吸パターン評価においても有意差を認めなかったことが考えられる。しかし、本研究では異なる呼吸パターン間にて横隔膜機能を比較していないため、本研究における横隔膜の可動性と呼吸パターンの関連性は推測の域を出ない。腰痛者と健常者の呼吸パターンを比較した研究では、安静状態の背臥位や立位では、呼吸パターンに有意差を認めなかったことが報告されている (Roussel et al., 2009)。しかし、背臥位での運動制御テストである下肢伸展挙上テスト中の呼吸パターンにおいて、腰痛者では非効率的呼吸パターンを示す者が健常者と比較して有意に増加したことが報告されている (Roussel et al., 2009)。下肢伸展挙上テストは腰椎骨盤帯の安定化を評価する体幹部の運動制御テストである (Liebenson et al., 2009)。仙腸関節痛を有する者は、健常者と比較して下肢伸展挙上テスト中の横隔膜の可動性が低下していることが報告されている (O'Sullivan et al., 2002)。慢性腰痛者では、安静状態の背臥位において健常者と横隔膜の可動性に有意差は認めなかったが、背臥位での上肢や下肢に抵抗を与え

た姿勢制御状態では、健常者と比較して可動性が有意に減少していることを報告している (Vostatek et al., 2013). O'Sullivan らの研究では、仙腸関節痛を有する者の半数以上が下肢伸展挙上テスト中に息止めをしていることを報告している (O'Sullivan et al., 2002). 息止めをすることで、腹腔内圧が上昇することが確認されていることから、下肢伸展挙上テストでは高い体幹部の姿勢制御を要求されたため、息止めにより腹腔内圧を上昇させ、体幹部の安定化を図った可能性が考えられる (Marshall et al., 2006). 仙腸関節痛や腰痛症を有する者は、体幹部の姿勢制御能力が低下していることが報告されていることから、姿勢制御時に横隔膜は収縮を続けることで高い腹腔内圧を維持し、呼吸では頸部筋や肋間筋の活動で対応している可能性があり、結果として呼吸パターンが変化した可能性が考えられる (O'Sullivan et al., 2002; Wang et al., 2021; Willigenburg et al., 2013; Roussel et al., 2009). しかし、本研究では座位や立位などの姿勢制御状態を含む複数の姿勢で呼吸パターン評価を実施したが、健常群と慢性腰痛群には有意差を認めなかった. 先行研究においても、健常群と腰痛群の背臥位および立位での呼吸パターンに有意差を認めなかったことから、腰痛者の呼吸パターンが変化する場面は、高い体幹部の姿勢制御能力が求められる際に生じることが考えられる (Roussel et al., 2009).

また、多くの健常者において、呼吸パターンが適切でなかったことも群間で有意差を認めなかった要因として考えられる. 健常者を対象に Hi-Lo テストと LRE を背臥位、座位、立位、膝立ち位で評価した研究によると、Hi-Lo テストでは、背臥位において多くの健常者が正常呼吸パターンを示した一方で、抗重力位では約半数近くが非効率的呼吸パターンに変化したことが報告されている (Horris et al., 2019). また、LRE では全ての姿勢において、半数近くが非効率的呼吸パターンを示したことが報告されている (Horris et al., 2019). 健常者においても座位や立位では、吸気における上部胸郭の前後運動は、腹部の前後運動よりも大きいことが報告されている (Sonpeayung et al., 2018). 抗重力位では、一回換気量や分時換気量が増加することから、斜角筋や傍胸骨肋間筋などの活動が増加し、非効率的呼吸パターンを生じさせる可能性が考えられる (De Troyer et al., 1984; Katz et al., 2018; Chang et al., 2005). そのため、健常者の多くが非効率的呼吸パターンを示した可能性が考えられる. また、ストレスも呼吸パターンに影響することが考えられている (Ritz et al., 2011). 先行研究によると、ストレス課題中では、一回換気量における上部胸郭の貢献度が安静呼吸と比較して増加することが報告されている (Ritz et al., 2011). 本研究では、ストレス指標を評価していないが、令和元年の国民生活基礎調査によると、

約 30 万世帯、約 72 万人を対象にした悩みやストレスがある者の割合の調査において、本研究の対象者と同年代である 20 歳代では、男性で 42.4%、女性で 53.0%と報告されており、半数近くの者がストレスを抱えていることが明らかとなった（厚生労働省, 2019）。慢性的なストレスが、健常者における非効率的呼吸パターンに影響を及ぼしている可能性が考えられる。

4-2 姿勢による横隔膜機能および呼吸パターン、呼吸時間の変化

本研究の結果より姿勢による横隔膜機能および呼吸パターンへの影響は、健常群および慢性腰痛群の両群ともに変化していることが明らかとなった。横隔膜の筋厚では、背臥位に比べ、抗重力位でより大きい筋厚および筋厚変化率を示し、先行研究を支持する結果であった（Hellyer et al., 2017; Brown et al., 2018）。しかしながら、先行研究では健常者を対象としていたため、横隔膜機能の低下が報告されている腰痛者でも同様の結果が得られるかは不明であった（Hellyer et al., 2017; Brown et al., 2018; Ziaefifar et al., 2021）。

横隔膜筋厚が増加した要因としては、重力により横隔膜のドーム形状が下降することで、筋線維が短くなり筋厚が増加した可能性が示唆されている（Hellyer et al., 2017）。筋厚変化率の増加では、下肢および体幹筋群の筋活動増加による換気量増加が考えられる。実際に、消費エネルギー量の指標とされている、酸素摂取量や二酸化炭素排出量は、背臥位よりも立位で増加するため、吸気努力量と高い相関関係のある筋厚変化率が抗重力位で大きくなったことが考えられる（Chang et al., 2005; Ueki et al., 1995）。また、座位と立位では有意差が生じなかった。座位と立位で上肢の反復運動を行い、その際の横隔膜の筋活動を検討した研究では、座位と立位では姿勢制御に伴う横隔膜の筋活動は同様の反応を示したことが報告されている（Hodges et al., 2000a）。これらのことから、座位と立位では姿勢制御に伴う横隔膜機能には差がないことが考えられ、本研究においても有意差が生じなかった可能性がある。

横隔膜の可動性においては、背臥位と比較して座位や立位での可動性が低下していた。MRI を用いて背臥位と座位を比較した先行研究では、座位と比較して背臥位は大きな可動性を示したことが報告されている（Takazakura et al., 2004）。これらの要因としては、横隔膜のドーム型の形状が関連していると考えられており、重力により腹部内臓物が尾側に下降することや横隔膜のドーム型が背臥位よりも平坦化することで筋線維長が短くなり可動性が変化したことが考えられる（Takazakura et al., 2004）。また、呼吸パターン評価

での Hi-Lo テストでは背臥位よりも座位や立位で非効率的呼吸パターンを示す者が増加した。横隔膜の可動性は、呼吸中の腹部運動と高い相関関係が認められている (Aliverti et al., 2003)。加えて、斜角筋や傍胸骨肋間筋は、吸気時の上部胸郭の前後運動を生じさせる (De Troyer et al., 1984)。そのため、背臥位と比較して抗重力位では横隔膜の可動性が低下を示し、斜角筋などの頸部や肋骨部の呼吸筋の活動増加が生じたため、Hi-Lo テストでは非効率的呼吸パターンを示す者が増加したと考えられる。

呼吸時間では吸気時間のみ有意差を認め、背臥位よりも座位および立位で吸気時間が短くなっていた。抗重力位では酸素摂取量の増加が報告されており、背臥位に比べ下肢や体幹筋群の筋活動が増加するために吸気時間を早め、呼吸数を増加させた可能性が考えられる (Chang et al., 2005)。抗重力位では背臥位と比較して横隔膜の可動性および吸気時間の減少を認めた。これらは、結果として呼吸数の増加が考えられる。呼吸数の増加では、体内の二酸化炭素の排出を促進させ、それらが慢性的に継続することは血中の二酸化炭素分圧を減少させることが考えられる。予期不安を与えた状態での呼吸状態では、呼吸数が増加することが明らかとなっている (Masaoka et al., 2000; Masaoka et al., 2001)。不安状態が慢性的に生じている大うつ病性障害などの精神障害を有する者は、健常者と比較して呼吸数が多く、呼気終末での二酸化炭素分圧が減少していることが報告されている (Blom et al., 2014)。呼気終末での二酸化炭素分圧は動脈血中の二酸化炭素分圧と相関関係を認めている (McSwain et al., 2010)。血中の二酸化炭素が減少することは、ヘモグロビンと酸素の結合が強くなり、組織への酸素供給が減少してしまうため、さらに呼吸数を増加させる可能性が考えられる (Jansen, 2004)。呼吸数の増加では分時換気量が増加することが考えられ、横隔膜に加え頸部や肋骨部の呼吸筋の動員増加が考えられる。ストレス課題における呼吸状態では、呼吸数の増加および一回換気量における上部胸郭の貢献度が増加することが報告されている (Ritz et al., 2011)。斜角筋や傍胸骨肋間筋は上部胸郭の前後運動を生じさせることから、抗重力位では横隔膜の可動性が低下するが、換気量増加のために頸部筋や肋間筋の動員を増加させることで呼吸数を増加させている可能性が考えられる (De Troyer et al., 1984)。

4-3 左側の横隔膜筋厚変化率に交互作用を認めた要因

本研究では、左側の横隔膜筋厚変化率に群×姿勢交互作用に有意差を認めた。これらのことから、慢性腰痛者の左側の横隔膜筋厚変化率は、健常者と異なる姿勢の変化を示し、

背臥位から抗重力位での姿勢変化に伴う筋厚変化率の増加が健常者よりも小さいことが明らかとなった。

これらの要因としては、横隔膜の左右での形状の違いが影響していると考えられる。健常者の場合、横隔膜のドームの形状は左右で異なり、右側の横隔膜は左側の横隔膜よりもドームの高さが高い (Bordoni et al., 2013; Reddy et al., 1994)。右側の横隔膜の下に肝臓が位置するによりドームの形状を維持していることや心臓の心尖部が左側にあることで左側の横隔膜が平坦化していることが関係しているとされている (Reddy et al., 1994)。つまり、右側の横隔膜の方が、ドーム型の形状をしており筋線維がより伸ばされている状態となる。筋の静止長が減少することは、効果的な筋収縮を阻害することが横隔膜においても考えられている (Hruska, 1997)。実際に、重度の慢性閉塞性肺疾患 (Chronic Obstructive Pulmonary Disease: COPD) を有する者は肺の過膨張により横隔膜が平坦化することで静止長が減少し、横隔膜機能を低下させることが報告されている (Lando et al., 1999)。さらに、COPD 患者に肺容量減少手術を行うことで肺の過膨張を改善させ、横隔膜のドームの高さが改善すること、さらに手術前後の横隔膜のドームの高さと筋長の変化量は、横隔膜の発揮筋力の変化量と正の相関関係を認めた (Lando et al., 1999)。また、MRI を用いて横隔膜の可動性を左右で比較した研究では、背臥位、腹臥位、右側臥位において右側の方が左側と比較して大きな可動性を有していることが明らかとなっている (Kiryu et al., 2006)。これらのことから、平坦化し短くなった横隔膜の静止長を呼気時にドーム型へと戻すことが、横隔膜の収縮において重要となる。呼気時にドーム型へ戻すためには、呼気時の腹横筋などの側腹筋群の活動が重要と考えられている (Hruska, 1997, Coirault et al., 1999)。腹横筋は、呼気時に求心性収縮を行うことで、吸気により平坦化した横隔膜を上昇させドームの形状に戻す役割があると示唆されている (Hodges et al., 2000b; Hruska, 1997)。そして、腹横筋などの側腹筋群の機能低下は、横隔膜の静止長の減少や可動性低下に寄与することが示唆されており、ドーム高さの低下は特に左側の横隔膜が影響を受けやすいことが報告されている (Hruska, 1997)。腰痛者では、姿勢制御中の内腹斜筋や腹横筋の筋活動や筋厚変化率の低下が報告されている (Hodges et al., 1999; Teyhen et al., 2009)。さらに、腰痛者は座位における安静呼吸中の腹横筋の筋厚変化率が健常者と比較して低下していることが明らかとなっている (Rasouli et al., 2020)。腰痛者では抗重力位での腹横筋の機能低下が生じることで、左側の横隔膜の静止長に影響を与えることが考えられる。そのため、右側の横隔膜筋厚変化率や右側で評価を実施した

可動性には、群×姿勢交互作用に有意差を認めず、左側の筋厚変化率のみ有意差を認めたことが考えられる。

4-4 本研究の臨床的意義

本研究の結果により、慢性腰痛者では健常者と比較して横隔膜の筋厚変化率が低下していることが明らかとなった。特に慢性腰痛者の左側の横隔膜筋厚変化率は健常者と異なり、姿勢による筋厚変化率の増加が小さいことが明らかとなった。腰痛症は原因が明らかでない非特異的腰痛が約 85%であり、かつ慢性化しやすいと報告されている (Itz et al., 2013; Balague et al., 2012)。そのため、腰痛者に対する効果的な治療が確立されていないことが指摘されている (Maher et al., 2017)。横隔膜の収縮は、腹腔内圧を調整し、腹腔内圧の上昇は腰椎の剛性を高めることや脊椎の圧迫力を減少させる (Hodges et al., 2005; Stokes et al., 2010)。腰痛者では座位や立位での長時間作業姿勢が多いことが報告されているため、抗重力位での横隔膜機能の低下が腰痛症の慢性化の要因として影響している可能性がある (Coenen et al., 2018; Celik et al., 2018)。本研究の結果より、腰痛者の治療法または、予防法として横隔膜機能改善が重要であることを示す研究となり、今後は、慢性腰痛者を対象とした横隔膜機能改善の介入の効果を検証する必要がある。

本研究の結果から、慢性腰痛者において、横隔膜機能変化が必ずしも呼吸パターンに影響を及ぼすとは限らないことが示唆された。横隔膜の筋厚変化率や可動性に加えて、上部胸郭の前後運動を生じさせる斜角筋や傍胸骨肋間筋などの頸部、肋骨部の筋活動や、胸郭の可動性等が呼吸パターンに影響を及ぼすことが明らかとなっている (De Troyer et al., 1984; Beyer et al., 2014)。また、呼吸量を増加させた際の上部胸郭、下部胸郭、腹部の貢献度を評価した先行研究では、安静呼吸中は上部胸郭と腹部の貢献度に有意差はないが、吸気負荷を与え吸気量が増加した際は、上部胸郭の貢献度が腹部の貢献度と比較して有意に増加したことが報告されている (De Souza et al., 2016)。さらに横隔膜筋厚変化率は、吸気努力量と高い正の相関関係が報告されている (Cohn et al., 1997)。上記の 2 つの結果を合わせると、横隔膜筋厚変化率が増加している場合でも、非効率的呼吸パターンを示す可能性があると考えられる (De Souza et al., 2016; Cohn et al., 1997)。したがって、個々の慢性腰痛者に適切な治療を選択し、患者に対する治療効果を最大化するうえで、横隔膜の筋厚変化率、可動性、および呼吸パターンの総合的な評価を行い、どこに機能障害が生じているかを把握する必要がある。

4-5 限界点

本研究では、横断研究であり、慢性腰痛者の横隔膜筋厚変化率の低下が症状による影響かもしくは、症状発症前から変化しているかは不明である。今後は、腰痛症の発症直後である急性腰痛症から経時的に評価していくこと、加えて腰痛症の発症に横隔膜機能が影響するか縦断研究を実施していく必要がある。

二点目は、換気量を計測していないことである。横隔膜の筋厚変化率や可動性は吸気量によって変化することが報告されている (Houston et al., 1994; Ueki et al., 1995)。しかしながら、換気量を計測するために使用されるマスクやノーズクリップを使用することで、一回換気量を増加させることや呼吸数を減少させることが指摘されている (Hagman et al., 2016)。また、マスクやノーズクリップの使用は口呼吸を行うことになり、先行研究では口呼吸をしている者は鼻呼吸をしている者と比較して、横隔膜の可動性が小さいことが報告されている (Trevisan et al., 2015)。これらを踏まえ、本研究では、日常生活で行われている呼吸の特徴を明らかにするために、換気量を計測せずに実施をした。

第5章 結論

本研究では、健常者および慢性腰痛者を対象に背臥位、座位、立位での横隔膜の筋厚・筋厚変化率・可動性・呼吸時間および呼吸パターンを調査した。

健常者と慢性腰痛者では、左右側の横隔膜筋厚変化率に有意差を認め、慢性腰痛者では健常者と比較して、横隔膜筋厚変化率が低下をしていた。一方、横隔膜の可動性および呼吸パターン、呼吸時間では群間での有意差を認めなかった。

姿勢の影響では、健常者および慢性腰痛者ともに、背臥位よりも座位および立位で吸気と呼気での筋厚および筋厚変化率が有意に増加し、可動性と吸気時間では背臥位よりも座位および立位で減少をしていた。呼吸パターンでは、Hi-Lo テストにおいて背臥位よりも座位および立位で非効率的呼吸パターンを示す者が増加し、LRE では姿勢の影響は認められなかった。

左側の横隔膜筋厚変化率のみに群×姿勢交互作用にて有意差を認めており、慢性腰痛者では姿勢変化による横隔膜の筋厚変化率の変化は健常者よりも小さいことが明らかとなった。

以上のことから、慢性腰痛者では横隔膜機能評価である筋厚変化率が低下しており、とりわけ左側の筋厚変化率は健常者の姿勢に伴う変化よりも小さいことが明らかとなった。一方、呼吸パターンは慢性腰痛者と健常者では有意差を認めない結果であり、横隔膜の可動性に有意差がないことが影響していると考えられる。腰痛症の治療法や予防法において、横隔膜機能改善への介入が重要であることが考えられ、今後さらなる研究が必要となる。

参考文献

- 1) Aliverti, A., Ghidoli, G., Dellaca, R. L., Pedotti, A., Macklem, P. T. (2003). Chest wall kinematic determinants of diaphragm length by optoelectronic plethysmography and ultrasonography. *Journal of Applied Physiology*, 94(2), 621-30.
- 2) Balague, F., Mannion, A. F., Pallise, F., Cedraschi, C. (2012). Non-specific low back pain. *Lancet*, 379(9814), 482-91.
- 3) Beeckmans, N., Vermeersch, A., Lysens, R., Wambeke, P. V., Goossens, N., Thys, T., Brumagne, S., Janssens, L. (2016). The presence of respiratory disorders in individuals with low back pain: A systematic review. *Manual Therapy*, 26, 77-86.
- 4) Bento, T. P. F., Cornelio, G. P., Perrucini, P. O., Simeao, S. F., De Conti, M. H. S., De Vitta, A. (2020). Low back pain in adolescents and association with sociodemographic factors, electronic devices, physical activity and mental health. *Journal de Pediatria*, 96(6), 717-24.
- 5) Bevan, S. (2015). Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 29(3), 356-73.
- 6) Beyer, B., Sholukha, V., Dugailly, P. M., Rooze, M., Moiseev, F., Feipel, V., Jan, S. V. S. (2014). In vivo thorax 3D modelling from costovertebral joint complex kinematics. *Clinical Biomechanics*, 29(4), 434-8.
- 7) Blom, E. H., Serlachius, E., Chesney, M. A., Olsson, E. M. G. (2014). Adolescent girls with emotional disorders have a lower end-tidal CO₂ and increased respiratory rate compared with healthy controls. *Psychophysiology*, 51(5), 412-8.
- 8) Bordoni, B., Zanier, E. (2013). Anatomic connections of the diaphragm: influence of respiration on the body system. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 6, 281-91.
- 9) Boussuges, A., Gole, Y., Blanc, P. (2009). Diaphragmatic motion studied by m-mode ultrasonography: methods, reproducibility, and normal values. *Chest*, 135(2), 391-400.
- 10) Brown, C., Tseng, S. C., Mitchell, K., Roddey, T., Shih-Chiao, T. (2018). Body Position Affects Ultrasonographic Measurement of Diaphragm Contractility. *Cardiopulmonary Physical Therapy Journal*, 29(4), 166-72.

- 11) Calvo-Lobo, C., Almazan-Polo, J., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Losa-Iglesias, M. E., Palomo-Lopez, P., Rodriguez, D., Lopez-Lopez, D. (2019). Ultrasonography comparison of diaphragm thickness and excursion between athletes with and without lumbopelvic pain. *Physical Therapy in Sport*, 37, 128-37.
- 12) Cedraschi, C., Luthy, C., Allaz, A. F., Herrmann, F. R., Ludwig, C. (2016). Low back pain and health-related quality of life in community-dwelling older adults. *European Spine Journal*, 25(9), 2822-32.
- 13) Celik, S., Celik, K., Dirimese, E., Tasdemir, N., Arik, T., Buyukkara, I. (2018). Determination of pain musculoskeletal system reported by office workers and the pain risk factors. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 31(1), 91-111.
- 14) Chang, A. T., Boots, R. J., Brown, M. C., Hodges, P. W. (2005). Ventilatory change following head-up tilt and standing in healthy subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 95(5-6), 409-17.
- 15) Cholewicki, J., Silfies, S. P., Shah, R. A., Greene, H. S., Reeves, N. P., Alvi, K., Goldberg, B. (2005). Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine*, 30(23), 2614-20.
- 16) Cohen, J., (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science*, Second ed. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- 17) Coenen, P., Willenberg, L., Parry, S., Shi, J. W., Romero, L., Backwood, D. M., Maher, C. G., Healy, G. N., Dunstan, D. W., Straker, L. M. (2018). Associations of occupational standing with musculoskeletal symptoms: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(3), 176-83.
- 18) Cohn, D., Benditt, J. O., Eveloff, S., McCool, FD. (1997). Diaphragm thickening during inspiration. *Journal of Applied Physiology*, 83(1), 291-6.
- 19) Coirault, C., Chemla, D., Lecarpentier, Y. (1999). Relaxation of diaphragm muscle. *Journal of Applied Physiology*, 87(4), 1243-52.
- 20) Courtney, R. (2009). The functions of breathing and its dysfunctions and their relationship to breathing therapy. *International journal of osteopathic medicine*, 12(3), 78-85.

- 21) Craig, C. L., Marchall, A. L., Sjostrom, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F., Oja, P. (2003). International Physical Activity Questionnaire: 12-Country Reliability and Validity. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1381-95.
- 22) Dagenais, S., Caro, J., Haldeman, S. (2008). A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *The Spine Journal*, 8(1), 8-20.
- 23) De Souza, H. M., Rocha, T., Campos, S. L., Brandao, D. C., Fink, J. B., Aliverti, A., De Andrade, A. D. (2016). Acute effects of different inspiratory efforts on ventilatory pattern and chest wall compartment distribution in elderly women. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 227(15), 27-33.
- 24) De Troyer, A., Estenne, M. (1984). Coordination between rib cage muscles and diaphragm during quiet breathing in humans. *Journal of Applied physiology*, 57(3), 899-906.
- 25) De Troyer, A., Estenne, M. (1988). Functional Anatomy of the Respiratory Muscles. *Clinics in Chest Medicine*, 9(2), 175-93.
- 26) GBD 2015 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. (2016). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 310 diseases and injuries, 1990-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 388(10053), 1545-602.
- 27) Gilmartin, J. J., Niname, V., De Tryoyer, A. (1987). Abdominal muscle use during breathing in the anesthetized dog. *Respiration Physiology*, 70(2), 159-71.
- 28) Hagins, M., Lamberg, E. M. (2011). Individuals with Low Back Pain Breathe Differently than Healthy Individuals During a Lifting Task. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 41(3), 141-148.
- 29) Hagman, C., Janson, C., Malinowski, A., Hedenstrom, H., Emtner, M. (2016). Measuring breathing patterns and respiratory movements with the respiratory movement measuring instrument. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(5), 414-20.
- 30) Harper, C. J., Shahgholi, L., Cieslak, K., Hellyer, J. H., Strommen, J. A., Boon, A. J.

- (2013). Variability in diaphragm motion during normal breathing, assessed with B-mode ultrasound. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 43(12), 927-31.
- 31) Hartvigsen, J., Christensen, K., Henrik, F. (2003). Back pain remains a common symptom in old age. A population-based study of 4486 Danish twins aged 70-102. *European Spine Journal*, 12(5), 528-34.
- 32) Hasegawa, T., Katsuhira, J., Fujii, T., Matsudaira, K. (2018). Association of low back load with low back pain during static standing. *PLoS One*. 13(12), e0208877.
- 33) Hellyer, N. J., Andreas, N. M., Bernstetter, A. S., Cieslak, K. R., Donahue, G. F., Steiner, E. A., Hollman, J. H., Boon, A. J. (2017). Comparison of Diaphragm Thickness Measurements Among Posture Via Ultrasound Imaging. *PM&R*, 9(1), 21-5.
- 34) Hodges, P. W., Butler, J. E., McKenzie, D. K., Gandevia, S. C. (1997). Contraction of the human diaphragm during rapid postural adjustments. *The Journal of Physiology*, 505(pt2), 539-48.
- 35) Hodges, P. W., Richardson, C. A. (1999). Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at different speeds. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(9), 1005-12.
- 36) Hodges, P. W., Gandevia, S. C. (2000a). Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *The Journal of Physiology*; 522(1). 165-75.
- 37) Hodges, P. W., Gandevia, S. C. (2000b). Change in intra-abdominal pressure during postural and respiratory activation of the human diaphragm. *Journal of Applied Physiology*, 89(3), 967-76.
- 38) Hodges, P. W., Heijnen, I., Gandevia, S. C. (2001). Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *The Journal of Physiology*, 537(pt3), 999-1008.
- 39) Hodges, P. W., Gurfinkel, V. S., Brumagne, S., Smith, T. C., Cordo, P. C. (2002). Coexistence of stability and mobility in postural control: evidence from postural compensation for respiration. *Experimental Brain Research*, 144(3), 293-302.
- 40) Hodges, P. W., Eriksson, A. E. M., Shirley, D., Gandevia, S. C. (2005). Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 38(9), 1873-80.

- 41) Hodges, P. W., Sapsford, R., Pangel, L. H. M. (2007). Postural and Respiratory Functions of the Pelvic Floor Muscles. *Neurourology and Urodynamics*, 26(3), 362-71.
- 42) Homma, I., Masaoka, Y. (2008). Breathing rhythms and emotions. *Experimental Physiology*, 93(9), 1011-21.
- 43) Horris, H., Anderson, B. E., Bay, R. C., Bliven, K. C. (2019). Clinical Breathing Mechanics Differ Based on Test and Position. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(6), 635-9.
- 44) Houston, J. G., Angus, R. M., Cowan, M. D., McMillan, N. C., Thomson, N. C. (1994). Ultrasound assessment of normal hemidiaphragmatic movement: relation to inspiratory volume. *Thorax*, 49(5), 500-3.
- 45) Hoy, D., Bain, C., Williams, G., March, L., Brooks, P., Blyth, F., Woolf, A., Vos, T., Buchbinder, R. (2012). A systematic review of the global prevalence of low back pain. *Arthritis & Rheumatism*, 64(6), 2028-37.
- 46) Hruska Jr, R. J. (1997). Influences of dysfunctional respiratory mechanics on orofacial pain. *Dental Clinics of North America*, 41(2), 211-27.
- 47) Igwesi-Chidobe, C. N., Muomah, R. C., Sorinola, I. S., Godfrey, E. L. (2021). Detecting anxiety and depression among people with limited literacy living with chronic low back pain in Nigeria: adaptation and validation of the hospital anxiety and depression scale. *Archives of Public Health*, 79(1), 72.
- 48) Itz, C. J., Geurts, J. W., Kleef, M., Nelemans, P. (2013). Clinical course of non-specific low back pain: A systematic review of prospective cohort studies set in primary care. *European Journal of Pain*, 17(1), 5-15.
- 49) Janssens, L., Brumagne, S., McConnell, A. K., Hermans, G., Troosters, T., Gayan-Ramirez, G. (2013a). Greater diaphragm fatigability in individuals with recurrent low back pain. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 188(2), 119-23.
- 50) Janssens, L., Brumagne, S., McConnell, A. K., Raymaekers, J., Goossens, N., Gayan-Ramirez, G., Hermans, G., Troosters, T. (2013b). The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review. *Respiratory Medicine*. 107(3), 331-46.
- 51) Jansen, F. B. (2004). Red blood cell pH, the Bohr effect, and other oxygenation-linked phenomena in blood O₂ and CO₂ transport. *Acta Physiologica Scandinavica*, 182(3), 215-

27.

- 52) Kader, D. F., Wardlaw, D., Smith, F. W. (2000). Correlation Between the MRI Changes in the Lumbar Multifidus Muscles and Leg Pain. *Clinical Radiology*, 55(2), 145-9.
- 53) Katz, S., Arish, N., Rokach, A., Zaltzman, Y., Marcus, E. L. (2018). The effect of body position on pulmonary function: a systematic review. *BMC Pulmonary Medicine*. 18(1), 159.
- 54) Kamper, S. J., Henschke, N., Hestbaek, L., Dunn, K. M., Williams, C. M. (2016). Musculoskeletal Pain in children and adolescents. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 20(3), 275-84.
- 55) Kirilova, A., Lockwood, G., Choi, P., Bana, N., Haider, M. A., Brock, K. K., Eccles, C., Dawson, L. A. (2008). Three-Dimensional Motion of Liver Tumors Using Cine-Magnetic Resonance Imaging. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 71(4), 1189-95.
- 56) Kiryu, S., Loring, S. H., Mori, Y., Rofsky, N. M., Hatabu, H., Takahashi, M. (2006). Quantitative analysis of the velocity and synchronicity of diaphragmatic motion: dynamic MRI in different posture. *Magnetic Resonance Imaging*, 24(10), 1325-32.
- 57) Kolar, P., Sulc, J., Kyncl, M., Sanda, J., Neuwirth, J., Bokarius, A. V., Kriz, J., Kobesova, A. (2010). Stabilizing function of the diaphragm: dynamic MRI and synchronized spirometric assessment. *Journal of Applied Physiology*, 109(4), 1064-71.
- 58) Kolar, P., Sulc, J., Kyncl, M., Sanda, J., Cakrt, O., Andel, R., Kathryn, K., Kobesova, A. (2012). Postural function of the diaphragm in persons with and without chronic low back pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 42(4), 352-62.
- 59) Kregel, J., Meeus, M., Malfliet, A., Dolphens, M., Lieven, D., Nijs, J., Cagnie, B. (2015). Structural and functional brain abnormalities in chronic low back pain: A systematic review. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 45(2), 229-37.
- 60) Laird, R. A., Gibert, J., Kent, P., Keating, J. L. (2014). Comparing lumbo-pelvic kinematics in people with and without back pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 15, 229
- 61) Lando, Y., Boiselle, P. M., Shade, D., Furukawa, S., Kuzma, A. M., Travaline, J. M.,

- Criner, G. J. (1999). Effect of lung volume reduction surgery on diaphragm length in severe chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159(3), 796-805.
- 62) Liebenson, C., Karpowicz, A. M., Brown, S. H. M., Howarth, A. J., McGill, S. M. (2009). The Active Straight Leg Raise Test and Lumbar Spine Stability. *PM&R*, 1(6), 530-5.
- 63) MacNeela, P., Doyle, C., O’Gorman, D., Ruane, N., McGuire, B. E. (2015). Experiences of chronic low back pain: a meta-ethnography of qualitative research. *Health Psychology Review*, 9(1), 63-82.
- 64) Maher, C., Underwood, M., Buchbinder, R. (2017). Non-specific low back pain. *Lancet*, 389(10070), 18-24.
- 65) Mapel, D. W., Shainline, M., Paez, K., Gunter, M. (2004). Hospital, pharmacy, and outpatient costs for osteoarthritis and chronic low back pain. *The Journal of Rheumatology*, 31(3), 573-83.
- 66) Marshall, H., Markus, P., Ali, S., Margareta, N. (2006). The effects of breath control on maximum force and IAP during a maximum isometric lifting task. *Clinical Biomechanics*, 21(8), 775-80.
- 67) Marshall, P. W. M., Schabrun, S., Knox, M. F. (2017). Physical activity and the mediating effect of fear, depression, anxiety, and catastrophizing on pain related disability in people with chronic low back pain. *PLoS One*, 12(7), e0180788.
- 68) Masaoka, Y., Homma, I. (2000). The source generator of respiratory-related anxiety potential in the human brain. *Neuroscience Letters*, 283(1), 21-4.
- 69) Masaoka, Y., Homma, I. (2001). The effect of anticipatory on breathing and metabolism in humans. *Respiration Physiology*, 128(2), 171-7.
- 70) McSwain, S. D., Hamel, D. S., Smith, P. B., Gentile, M. A., Srinivasan, S., Meliones, J. N., Cheifetz, I. M. (2010). End-Tidal and Arterial Carbon Dioxide Measurements Correlate Across All Levels of Physiologic Dead Space. *Respiratory Care*. 55(3), 288-93.
- 71) Montes, A. M., Gouvenia, S., Crasto, C., De Melo, C. A., Carvalho, P., Santos, R., Vias-Boas, J. P. (2017). Abdominal muscle activity during breathing in different postural sets in healthy subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 21(2), 354-61.

- 72) O'Sullivan, P. B., Beales, D. J., Beetham, J. A., Cripps, J., Graf, F., Lin, I. B., Tucker, B., Avery, A. (2002). Altered motor control strategies in subjects with sacroiliac joint pain during the active straight-leg-raise test. *Spine*, 27(1), E1-8.
- 73) O'Sullivan, P. B., Beales, D. J. (2007). Changes in pelvic floor and diaphragm kinematics and respiratory patterns in subjects with sacroiliac joint pain following a motor learning intervention: A case series. *Manual Therapy*, 12(3), 209-18.
- 74) Raabe, M. E., Chaudhari, A. M. W. (2018). Biomechanical consequences of running with deep core muscle weakness. *Journal of Biomechanics*, 67, 98-105.
- 75) Rasouli, O., Shanbehzadeh, S., Arab, A. M., ShahAli, S., Sarafraz, H. (2020). The Effect of Respiratory Phase on Abdominal Muscle Activity During Stable and Unstable Sitting Positions in Individuals With and Without Chronic Low Back Pain. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 43(3), 225-33.
- 76) Reddy, V., Sharma, S., Cobanoglu, A. (1994). What dictates the position of the diaphragm—the heart or the liver? A review of sixty-five case. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 108(4), 687-91.
- 77) Ritz, T., Simon, E., Trueba, A. F. (2011). Stress-induced respiratory Pattern changes in asthma. *Psychosomatic Medicine*, 73(6), 514-21.
- 78) Roussel, N., Nijs, J., Truijen, S., Vervecken, L., Mottram, S., Stassijns, G. (2009). Altered breathing patterns during lumbopelvic motor control tests in chronic low back pain: a case-control study. *European Spine Journal*, 18(7), 1066-73.
- 79) Sarwal, A., Walker, F. O., Cartwright, M. S. (2013). Neuromuscular Ultrasound for Evaluation of the Diaphragm. *Muscle Nerve*, 47(3), 319-29
- 80) Sharma, G., Goodwin, J. (2006). Effects of aging on respiratory system physiology and immunology. *Clinical Interventions in Aging*, 1(3), 253-60.
- 81) Smith, M. D., Russell, A., Hodges, P. W. (2006). Disorders of breathing and continence have stronger association with back pain than obesity and physical activity. *Australian Journal of Physiotherapy*, 52(1), 11-6.
- 82) Smith, M. D., Russell, A., Hodges, P. W. (2009). Do incontinence, breathing difficulties, and gastrointestinal Symptoms increase the risk of future back pain ? . *The Journal of Pain*, 10(8), 876-86.

- 83) Sonpeayung, R., Tantisuwat, A., Klinsophon, T., Thaveeratitham, P. (2018). Which Body Position Is the Best for Chest Wall Motion in Healthy Adults? A Meta-Analysis. *Respiratory Care*, 63(11), 1439-51.
- 84) Stokes, I. A. F., Gardner-Morse, M. G., Henry, S. M. (2010). Intra-abdominal pressure and abdominal wall muscular function: Spinal unloading mechanism. *Clinical Biomechanics*, 25(9), 859-66.
- 85) Takazakura, R., Takahashi, M., Nitta, N., Murata, K. (2004). Diaphragmatic motion in the sitting and supine positions: Healthy subject study using a vertically open magnetic resonance system. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 19(5), 605-9.
- 86) Teyhen, D. S., Williamson, J. N., Carlson, N. H., Suttles, S. T., O'Laughlin, S. J., Whittaker, J. L., Goffar, S. L., Childs, J. D. (2009). Ultrasound characteristics of the deep abdominal muscles during the active straight leg raise test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(5), 761-7.
- 87) Trevisan, M. E., Boufleurr, J., Soares, J. C., Haygert, C. J. P., Ries, L. G. K., Correa, E. C. R. (2015). Diaphragmatic amplitude and accessory inspiratory muscle activity in nasal and mouth-breathing adults: A cross-sectional study. *Journal of Electrography and Kinesiology*, 25(3), 463-8.
- 88) Ueki, J., De Bruin, F. D., Pride, N. B. (1995). In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax*, 50(11), 1157-61.
- 89) Vostatek, P., Novak, D., Rychnovsky, T., Rychnovska, S. (2013). Diaphragm postural function analysis using magnetic resonance imaging. *PLoS One*, 8(3), e56724.
- 90) Wang, H., Zheng, J., Fan, Z., Luo, Z., Wu, Y., Cheng, X., Yang, J., Zhang, S., Yu, Q., Lo, W. L. A., Wang, C. (2021). Impaired static postural control correlates to the contraction ability of trunk muscle in young adults with chronic non-specific low back pain: A cross-sectional study. *Gait Posture*, 92, 44-50.
- 91) Willigenburg, N. W., Kingma, I., Hoozemans, M. J. M., Van Dieen. J. H. (2013). Precision control of trunk movement in low back pain patients. *Human Movement Science*, 32(1), 228-239.
- 92) ZiaEIFar, M., Sarrafzadeh, J., Dehkordi, S. N., Arab, A. M., Haghghatkah, H., Jadehkenari, A. Z. (2021). Diaphragm thickness, thickness change, and excursion in

subjects with and without nonspecific low back pain using B-mode and M-mode ultrasonography. *Physiotherapy Theory and Practice*, 1, 1-11.

93) 厚生労働省. (2019) . 2019 年 国民生活基礎調査の概況.

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa19/index.html> (参照日 2021 年 5 月 10 日) .

94) 日本整形外科学会., 日本腰痛学会. (2019). 腰痛診療ガイドライン 2019 (改訂第 2 版) . 南江堂.

謝辞

本研究において熱心に研究指導を行っていただき、また本研究の立案や遂行、修士論文の執筆に際して、手厚くご指導いただきました伊坂忠夫教授に心より感謝申し上げます。

また、副査をお引き受けいただき、多くのご意見をいただきました長野明紀教授、山浦一保教授に、厚く御礼申し上げます。

研究計画からデータ分析、修士論文の執筆に至るまで丁寧にご指導いただきました寺田昌史講師に深くお礼申し上げます。また、本研究の実験対象者のスクリーニングや本研究計画でご相談させていただきました、篠原靖司教授、岸本康平講師、下澤結花助手に深くお礼申し上げます。さらには、実験のご理解をいただき、快く実験対象者を引き受けてくださった皆様に深く感謝を致します。伊坂研究室の先生・先輩・後輩の方々には、ミーティングで多くのご指摘やご助言をいただきましたこと感謝致します。また、日々互いに励ましあい、切磋琢磨しあったスポーツ健康科学研究科の同輩の方々に深く感謝致します。