

早稲田大学審査学位論文

博士（スポーツ科学）

腰痛に対するモーターコントロールエクササイズの
筋電解析とその効果検証

Electromyogram Analysis of Motor Control Exercise
for Low Back Pain and its Effect Verification

2023年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

森戸 剛史

MORITO, Tsuyoshi

研究指導教員：金岡 恒治 教授

目次

第1章 緒言

I. 研究背景	1
II. 先行研究	2
1)解剖	2
2)機能	2
III. 研究の意義	4
IV. 研究の目的	4
V. 研究課題	4

第2章 第3・4章の実験設定

I. 実験設定について	
1. 対象	6
2. 方法	
1)筋活動計測	6
2)実験手順	8
3)筋活動データ解析	9
4)統計解析.....	9

第3章 【課題1】 draw-in 時および口頭指示別の腹部運動時の腹筋群の筋活動量

1. 背景.....	10
2. 目的.....	11
3. 方法	
1)対象者.....	11
2)筋活動計測.....	11
3)実験試技.....	11

4) データ解析.....	13
5) 統計解析.....	14
4. 結果	
1) 筋活動 onset.....	15
2) 試技別の筋活動.....	15
3) draw-in 時の区間ごとの筋活動量.....	19
4) E onset と U onset の差.....	19
5. 考察.....	19
6. まとめ.....	22

第 4 章 体幹・下肢運動時の筋活動解析

I. 【課題 2-1】自動下肢伸展挙上時の筋活動量および筋活動 onset 解析

1. 背景.....	23
2. 目的.....	24
3. 方法	
1) 対象者.....	24
2) 筋活動計測.....	24
3) 三次元動作計測.....	25
4) 実験試技.....	25
5) データ解析.....	25
6) 統計解析.....	26
4. 結果.....	26
5. 考察.....	28
6. まとめ.....	30

II. 【課題 2-2】四つ這い下肢挙上時の筋活動解析

1. 背景.....	31
2. 目的.....	32
3. 方法	
1) 対象者.....	32
2) 筋活動計測.....	32
3) 三次元動作計測.....	32
4) 実験試技.....	32
5) データ解析.....	32
6) 統計解析.....	33
4. 結果.....	33
5. 考察.....	34
6. まとめ.....	35

第5章 【課題3】仙腸関節痛患者における ASLR 時の repositioning error の比較

1. 背景.....	36
2. 目的.....	37
3. 方法	
1) 対象.....	37
2) 方法.....	41
3) データ解析.....	41
4) 統計解析.....	41
4. 結果.....	41
5. 考察.....	44
6. まとめ.....	45

第6章 腰痛の病態分類とその治療

I. 【課題 4-1】 整形外科を受診し運動療法を処方した症例の診断名とその基準

1. 背景.....	46
2. 目的.....	46
3. 方法	
1) 対象.....	46
2) 各疾患の診断アルゴリズム.....	47
4. 結果.....	50
5. 考察.....	51
6. まとめ.....	52

II 【課題 4-2】 脊柱起立筋付着部症患者への motor control exercise の効果

1. 背景.....	53
2. 目的.....	53
3. 方法	
1) 対象.....	53
2) 評価および介入内容.....	54
3) 統計解析.....	55
4. 結果.....	55
5. 考察.....	57
6. まとめ.....	58

III. 【課題 4-3】 仙腸関節障害患者への motor control exercise の効果

1. 背景.....	59
2. 目的.....	59
3. 方法	

1) 対象.....	59
2) 評価および介入内容.....	60
3) 統計解析.....	60
4. 結果.....	60
5. 考察.....	62
6. まとめ.....	64
第7章 総括	
I. 総合考察.....	65
II. 本研究の限界.....	67
III. 今後の展望.....	68
IV. まとめ.....	69
参考文献	70
謝辞.....	82

図表一覧

図 1. 胸腰筋膜のメカニクス.....	3
図 2. 仙腸関節高位での骨盤の横断面.....	4
図 3. ワイヤ電極と 23G 皮下注射針.....	7
図 4. TrA へのワイヤ電極刺入の様子.....	7
図 5. TrA へのワイヤ電極刺入時のエコー画像.....	8
図 6. PM へのワイヤ電極刺入時のエコー画像.....	8
図 7. GMin へのワイヤ電極刺入時のエコー画像.....	8
図 8. 超音波画像診断装置の画面と筋電計の同期方法.....	12
図 9. TrA の筋腱移行部の滑走距離による draw-in の区間分け.....	14
図 10. 各筋における各試技間の筋活動比較.....	16
図 11. TrA/I0 および TrA/E0 における各試技間の比較.....	17
図 12. draw-in 時の滑走距離ごとの各筋の筋活動.....	19
図 13. 内腹斜筋の解剖と線維方向.....	20
図 14. TrA のエコー観察位置とワイヤ刺入位置の違い.....	22
図 15. 右下肢 ASLR 実施の様子.....	25
図 16. ASLR 時の下肢挙上 onset に対する筋活動 onset.....	27
図 17. ASLR 時の各筋の筋活動量の比較.....	27
図 18. 利き手側下肢挙上時の条件間および筋間の筋活動比較.....	33
図 19. 非利き手側下肢挙上時の条件別の各筋の筋活動.....	34
図 20. Oswestry Disability Index (ODI)	38
図 21. Roland-Morris Disability Questionnaire (RMDQ)	40
図 22. Active straight leg-raising repositioning test (ASLR-Rt)	41
図 23. repositioning error の 3 群間比較.....	43
図 24. SIJD 群における症状側と非症状側での repositioning error の差.....	43
図 25. 腰臀部痛および下肢痛疾患の診断アルゴリズム.....	48

図 26. Prone Hip Extension.....	49
図 27. One finger test.....	49
図 28. 仙腸関節ストレステスト.....	49
図 29. 腰臀部痛・下肢痛 150 名の内訳.....	50
図 30. motor control exercise の内容.....	55
図 31. 初診時, 1 ヶ月後, 3 ヶ月後の NRS, ODI, RMDQ の比較.....	56
図 32. 超音波画像診断装置を用いた draw-in バイオフィードバック練習の様子.....	60
図 33. 初診時, 1 ヶ月後, 3 ヶ月後の NRS, ODI, RMDQ の比較.....	61
図 34. 本実験と過去の研究との NRS の比較.....	64
図 35. 本実験と過去の研究との ODI の比較.....	64
表 1. draw-in 時の各筋の E onset と TrA の E onset との差.....	15
表 2. 試技ごとの各筋の筋活動量 (%MVIC) および筋活動比.....	17
表 3. 筋活動 (%MVIC) における各試技間の統計値.....	18
表 4. SIJD 群, LBP 群, HC 群の臨床的特徴.....	42
表 5. RE と NRS, ODI, RMDQ との相関関係.....	44

第1章 緒言

I. 研究背景

腰痛(LBP)は、非常にありふれた症状である。厚生労働省の「令和元年国民生活基礎調査」によると、LBPの有訴者率は男性で最も高く、女性では肩こりに次いで2番目であった(厚生労働省, 2018)。日本の一般住民(男性 3048人, 女性 1885人)を対象に大規模な疫学的質問票調査を実施した(Suka & Yoshida, 2009)。その結果、腰痛の有訴者率は約24.3%であり、日本人の約2,140万人が腰痛を有していると推定された。腰痛は医療費の増加につながるだけでなく、患者の社会参加を妨げるため、大きな経済的損失となる。米国ではその損失額は約1200億ドル(約9兆円)と算出されている(Dagenais, Caro, & Haldeman, 2008)。LBPによる1990年代後半からの経済的損失を推計した27篇の論文によるシステマティックレビューがある(Dagenais et al., 2008)。直接的な損失として、LBPの主な医療費は理学療法と入院であることが示され、それぞれ全体の17%を占めていた。間接的な損失としては、失業による休業や生産減がほとんどであった。LBPに対する病態の解明、予防・治療法の確立が急務である。

LBPの治療は保存的治療が主体である。慢性LBP患者の治療に関する国際ガイドラインのレビューでは、非ステロイド性抗炎症薬や抗うつ薬、運動療法、心理社会的介入が推奨されており(Oliveira et al., 2018)、特に運動療法は効果的であることが示された(Maher, Underwood, & Buchbinder, 2017)。様々な運動療法の中でも腹横筋(TrA)の単独収縮(draw-in)の報告が多くなされている(Henry Tsao & Hodges, 2007; H. Tsao & Hodges, 2008)。LBP患者においてTrAのフィードフォワード機能の低下、上下肢運動に先行するはずの筋活動開始時間が遅延することが報告されている(Hodges & Richardson, 1996, 1998)、LBPが長期化した患者では、TrAの運動皮質が後方に偏位しており(H. Tsao & Hodges, 2008)、LBP再発患者を対象とした無作為化比較試験では、歩行運動ではなくdraw-inがTrAの運動皮質を前方にシフトさせることが示された(H. Tsao, Galea, & Hodges, 2010)。このようにdraw-inは、TrAの機能を再獲得するための有望な介入と考えられている。

腰痛に対する運動療法の一つにはmotor control exercise(MCEx)があり、draw-inはMCExに含まれる。MCExは、脊椎を制御し支える深層筋(TrAや多裂筋などのインナーマッスル)の協調

的かつ効率的な機能を回復することを目的とした運動である(Saragiotto, Maher, Yamato, Costa, Costa, et al., 2016). 患者はセラピストの指導のもと、まずは簡単な動作で筋を使う練習を行い、患者のスキルが上がるにつれ、エクササイズは体幹や手足の筋を含むより複雑で機能的なタスクに進められる。Paul Hodges らの研究グループによって提唱され、現在は本邦を含め世界中で実施されている。

II. 先行研究

1. 腹横筋の解剖と機能

1). 解剖

TrA は腹部の最深層に位置し、背側は腸骨と第 12 肋骨間の外側縫線(lateral Raphe)において胸腰筋膜に連結し、腰椎に付着する。腹側は肋軟骨、鼠径靭帯の外側 1/3、腸骨稜の内側唇に付着する。TrA の外側縫線全長への付着が、胸腰筋膜の中位・下位領域で、胸腰筋膜の中層と後層に緊張を与える(N. Bogduk & Macintosh, 1984)。Bergmark は解剖学的特徴を基準として脊椎周囲の筋群をグローバル筋 (アウターマッスル)、ローカル筋 (インナーマッスル) に分類した (Bergmark, 1989)。アウターマッスルは主に体幹の表層に位置し、大きなモーメントによって体幹の運動方向のコントロールなどに働く。インナーマッスルは体幹の深層に位置し、脊椎の各分節に付着する。モーメントアームは小さいが、脊椎一つ一つに付着しており、椎間の運動をコントロールする。アウターマッスルには脊柱起立筋や外腹斜筋(EO)、内腹斜筋(IO)、インナーマッスルには TrA や多裂筋などが含まれる。

2). 機能

TrA は付着部から上部線維、中部線維、下部線維に分けられる(Urquhart, Barker, Hodges, Story, & Briggs, 2005)。上部線維線維は胸郭に付着し、呼吸に関与する。中部線維は広く胸腰筋膜に付着し、腹圧のコントロール(Cresswell, Grundström, & Thorstensson, 1992)や脊柱の安定性に寄与する。下部線維は骨盤輪の安定性に貢献する(Richardson et al., 2002)。

TrA が連結する胸腰筋膜は、体幹および骨盤帯における力伝達として重要な役割を担う (Willard, Vleeming, Schuenke, Danneels, & Schleip, 2012)。胸腰筋膜に内包される脊柱起立筋群の膨隆や(Hukins, Aspden, & Hickey, 1990; Tesh, Dunn, & Evans, 1987)、連続性を有する大殿

筋、多裂筋、広背筋(Barker, Briggs, & Bogeski, 2004; N. Bogduk & Macintosh, 1984)により腰椎・骨盤帯の安定化に寄与している(図1)。この安定化作用の範囲や程度は、筋によって異なる。EOはL3より近位に安定化作用が限定されるが、腹横筋は全域に渡り他筋より強く安定化作用を有している(Barker et al., 2004)。IOの一部が外側縫線に付着している例もあるが、IOの後部線維に張力をかけても胸腰筋膜の変位は見られなかったとしている(Vleeming, Pool-Goudzwaard, Stoeckart, van Wingerden, & Snijders, 1995)。胸腰筋膜の後層の横方向の張力は、後層の深層を介して上方に、表層を介して下方に伝達される。これらの張力は斜め方向であり、正中線付着部には小さな上下のベクトルが生じる。胸腰筋膜の外側の張力は主に腹横筋によって生じる(Nikolai Bogduk, 2005)。TrAによる腰椎の安定性への貢献は大きい。

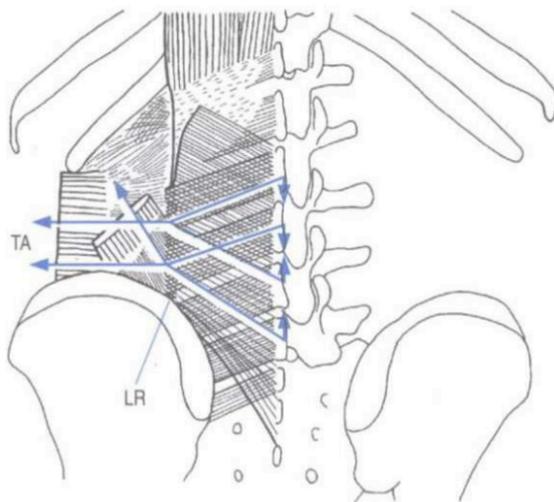


図1. 胸腰筋膜のメカニクス(Nikolai Bogduk, 2005) .P117から引用

TA: 腹横筋, LR: lateral raphe (外側縫線)

Richardsonらは、TrAの単独収縮である draw-in と IO・EO との共同収縮である bracing が仙腸関節の緩みにどのような生体力学的影響を及ぼすかを報告した(Richardson et al., 2002)。超音波画像診断装置を用いて TrA の単独収縮が可能な者を対象として、振動を用いたドップラーイメージングを用いて、仙腸関節の緩みを評価した。上前腸骨棘に振動を加え、仙骨および腸骨部で観察された周波数を測定する方法である。骨から得られた周波数が大きく異なる場合は仙腸関節の緩みが示唆され、周波数の差が小さいことは剛性が高いことを示す。TrA のみの収縮は IO や EO が収縮する bracing よりも仙腸関節の剛性を高めることが示された(図2)。本研究は TrA が

骨盤と仙腸関節の安定性に影響を及ぼすことを明らかにするものであった。TrA の機能は明らかになりつつある。

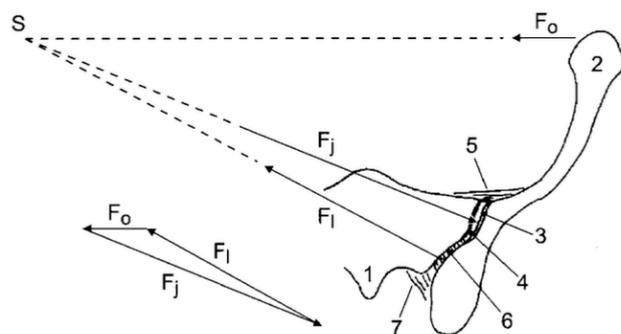


図 2. 仙腸関節高位での骨盤の横断面 (Richardson et al., 2002) から引用

Fo : TrA の収縮方向, Fi : 仙腸関節後方靭帯, Fj : 仙腸関節

TrA の収縮 (Fo) と仙腸関節後方靭帯 (Fi) の共同で仙腸関節 (Fj) に圧迫力が加わる。筋力と靭帯のレバーアームが異なり、関節部への反力が大きくなる。

1 : 仙骨, 2 : 腸骨, 3 : 関節軟骨, 4 : 関節腔, 5 : 前仙腸靭帯, 6 : 骨間仙腸靭帯, 7 : 後仙腸靭帯

III. 研究意義

LBP 治療として用いられている TrA の単独収縮(draw-in)の筋活動を解析することは、治療法の再検討ならびに病態の整理につながる可能性がある。さらに健常者の draw-in のみならず基礎的な下肢・体幹運動時の TrA の筋活動を解析することは、現在行っているエクササイズの裏付けや LBP 患者のデータとの比較に用いることが可能となる。最終的には実際に得られた知見をもとに患者に処方し、経過を評価することで、LBP 治療の一助となる。

IV. 研究の目的

本研究の目的は、TrA の単独収縮ならびに基礎的な体幹・下肢運動の際の体幹筋の筋活動を調査し、それらの運動を LBP 患者の病態に応じて処方し、その結果を検証することとした。有効な結果が得られれば、LBP 患者に対する運動療法を処方する際の一助となると考えられる。そのため課題 1 では draw-in 時の TrA の筋収縮様式を、課題 2 では基礎的な下肢・体幹運動の際の TrA の筋活動を、課題 3 では腰痛の中でも仙腸関節障害に着目し、固有感覚の視点から評価を、課題 4 では課題 1・2 の知見をもとに LBP の病態ごとに運動療法は有効であるか、といった研究的疑問を設定した。

V. 研究課題

本研究の目的を達成するために、以下の研究課題を設定した。

【課題 1】 draw-in 時および口頭指示別の腹部運動時の腹筋群の筋活動量

【課題 2】 体幹・下肢運動時の筋活動解析

- I. 【課題 2-1】 自動下肢伸展挙上時の筋活動量および筋活動 onset 解析
- II. 【課題 2-2】 四つ這い下肢挙上時の筋活動解析

【課題 3】 仙腸関節痛患者における自動下肢伸展挙上時の repositioning error

【課題 4】 腰痛の病態分類とその治療

- I. 【課題 4-1】 整形外科を受診し運動療法を処方した症例の診断名とその基準
- II. 【課題 4-2】 脊柱起立筋付着部症患者への motor control exercise の効果
- III. 【課題 4-3】 仙腸関節障害患者への motor control exercise の効果

第2章 第3・4章の実験設定

I. 実験設定について

本論文の研究課題（第3・4章）では、様々な試技を1日で実施した。本章では第3・4章に関する共通した設定を述べる。

1. 対象

対象は健常成人男性であった。実験時に腰部や下肢に症状がある者、過去に腰部や下肢に手術歴がある者は含まれていない。本研究は、早稲田大学倫理審査委員会による「人を対象とする研究に関する倫理審査」の承認を得て実施した(承認番号: 2021-211)

2. 方法

1) 筋活動計測

腹横筋(TrA), 大腰筋(PM), 小殿筋(GMin)はワイヤ電極 (ユニークメディカル株式会社, 東京, 日本) で, それ以外の筋は表面電極 (BlueSensor N-00-S, METS 社, 東京, 日本) で記録した。すべての筋は対象者の利き手側で測定し, 左利きの対象者から得られたデータは右側に変換された。ワイヤ電極は, 両端以外をテフロン加工によって絶縁した2本の0.08mmのステンレス鋼線である。このワイヤ電極を23G皮下注射針 (TrA, GMin : 0.60 mm × 60 mm, PM : 0.65 mm × 89 mm) に通し, 先端を折り返して4 mmの鉤状にした(図3)。ワイヤ電極と針はオートクレーブで121 °C, 20分間滅菌した(Oshikawa, Adachi, Akuzawa, Okubo, & Kaneoka, 2020)。超音波画像診断装置 (Sonimage HS1 PRO, Konica Minolta, 東京, 日本) を用いて TrA, PM, GMin を可視化した後, 経験豊富な整形外科医がワイヤ電極入りの針を刺入した(図4)。

左右の TrA は胸郭と上前腸骨棘(ASIS)とを結ぶ線の中点から2 cm 前方からワイヤ電極を(図5) (Hodges & Richardson, 1996), 右の PM は対象者を腹臥位とし, 横突起から1.5cm 外側から L3/4 レベルに刺入(Park, Tsao, Claus, Cresswell, & Hodges, 2013), 電極を脊柱起立筋と腰方形筋の境界から3cm 腹側に留置した(図6)(Yu Okubo et al., 2021)。右の GMin への刺入では, 対象者を検査側を上にした側臥位とした。ASIS と上後腸骨棘 (PSIS)を結んだ直線の中点から大転子に向けて3cm 尾側の点からワイヤを刺入した(図7) (Semciw, Pizzari, & Green, 2013)。いずれ

の筋においても超音波画像診断装置のモニターで針の先端が目的の筋の筋腹に留置されていることを確認した。

その他の筋には、筋線維と平行に直径 8mm の表面電極（BlueSensor N-00-S;メッツ社，東京，日本）を貼付した。皮膚抵抗を最小にするため，貼付前に表面をアルコールで脱脂した。電極を以下の位置へ，IO と EO は左右両側に，それら以外は利き手側に貼付した。

IO は ASIS から 1cm 内下方(Ng, Kippers, & Richardson, 1998)，EO は臍から 15cm 外側，RA は臍から 3cm 外側，多裂筋は L5 棘突起の 2cm 外側，脊柱起立筋は L1 棘突起の 3cm 外側，大殿筋(GMax)は仙骨と大転子を結んだ線の臀部の最膨隆部，大腿直筋(RF)は ASIS と膝蓋骨上縁の midpoint にあたる筋腹，大腿二頭筋(BF)は坐骨結節と腓骨頭 midpoint にあたる筋腹，中殿筋(GMed)は腸骨稜 midpoint から大転子に向かって 3cm 尾側にあたる筋腹にそれぞれ貼付した。電極間の距離は 20mm であった。ワイヤ筋電図および表面筋電図の計測には，サンプリングレート 2000Hz に設定したワイヤレス筋電計（BioLog DL-5000，S&ME 株式会社，東京，日本）を使用した。



図 3. ワイヤ電極と 23G 皮下注射針



図 4. TrA へのワイヤ電極刺入の様子（右）

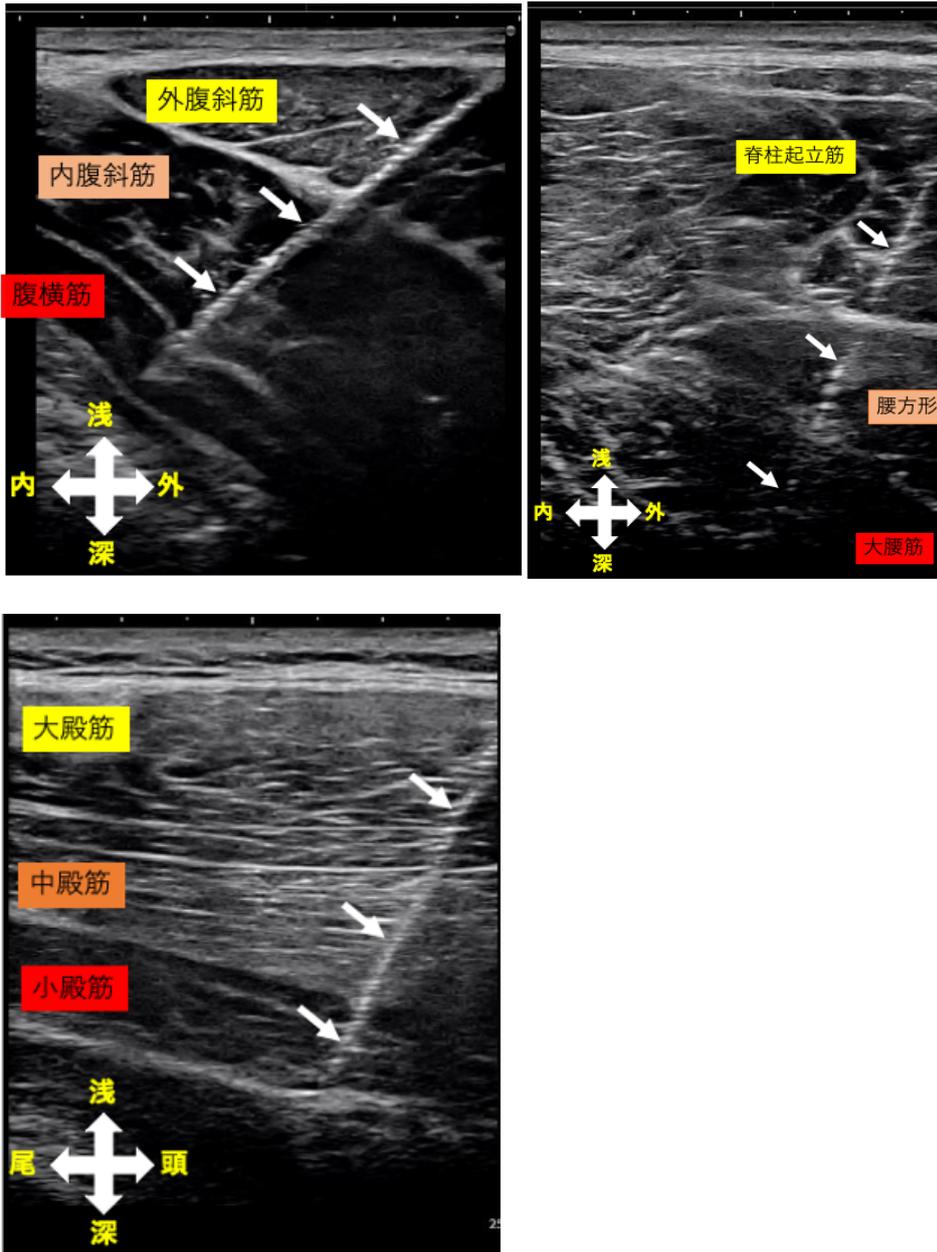


図 5. TrA へのワイヤ電極刺入時のエコー画像（上左）

図 6. PM へのワイヤ電極刺入時のエコー画像（上右）

図 7. GMin へのワイヤ電極刺入時のエコー画像（下）

2) 実験手順

実験試行の前後に、筋電図データを正規化するために、次のように各筋に対して最大随意等尺性筋収縮（MVIC）テストを行った。TrA 以外の MVIC 試技では、検者は対象者の運動方向に抵抗するように徒手抵抗を加え、必要に応じて、対象者の足部を固定した。いずれも 5 秒間計測した。各試技は 1 回ずつ行い、各筋の MVIC テストの間に短い休息時間を設けた。

左右 TrA：仰臥位で腹囲を変えないように腹筋群全体に力を入れる腹部ブレーシング

左右 IO：仰臥位で両手を胸の前で組み、膝関節屈曲 90°，股関節屈曲 45° の状態で、腰椎がベッドから浮くまで体幹を屈曲させ、同側に回旋

左右 EO：IO と同じ姿勢で体幹を反対側に回旋

RA：IO，EO と同じ姿勢で腰椎がベッドから浮くまで体幹を屈曲

MF・LES：腹臥位で両手を頭の上で組み、体幹を伸展

PM：股関節屈曲 90°，膝関節屈曲 90° の端座位で股関節を屈曲

RF：股関節屈曲 90°，膝関節屈曲 45° の端座位で膝関節を伸展

BF：腹臥位で膝関節屈曲 45° から膝関節を屈曲

GMax：腹臥位膝関節 90° 屈曲位で股関節を伸展。

GMed：検査側を上にした側臥位で股関節屈伸・内外転中間位で股関節を外転

GMin：検査側を上にした側臥位で股関節屈伸・内外転中間位で股関節を外転

3) 筋活動データ解析

筋活動データは生体情報解析ソフト（BIMUTUS-Video，キッセイコムテック社製，松本，長野）を用いて解析した。収集した筋活動データは 10-950Hz でフィルタ処理を行い，全波整流後に解析を行った。

4) 統計解析

統計解析は SPSS Statistics 28.0 (IBM 社製，東京，日本) を用いて行った。データの正規性と等分散性は，それぞれ Shapiro-Wilk 検定と Levene 検定を用いて確認した。

第3章 【課題1】 draw-in 時および口頭指示別の腹部運動時の腹筋群の筋活動量

(掲載論文：Journal of Exercise Rehabilitation 2022; 18(4): 264-271.

Tsuyoshi Morito, Hiroshi Akuzawa, Yu Okubo, Gen Adachi, Tomoki Oshikawa, Koji Kaneoka.

Comparison of abdominal muscle activity with various verbal instructions and onset activity analysis during draw-in maneuver)

1. 背景

腹横筋(TrA)の単独収縮(draw-in)は腰痛(LBP)患者にとって有効なエクササイズであるが、不明な点も多い。TrA は、胸腰筋膜を介して腰椎に付着し、脊柱を安定させる(N. Bogduk & Macintosh, 1984)。また、フィードフォワード機能を有し、四肢の運動前に活動を開始することで、体幹の安定性を維持している(Hodges & Richardson, 1996, 1998)。LBP 患者の TrA は、筋活動開始時間(onset)が遅延しており、draw-in によって適切な活動パターンを再学習することができる (Tsao et al., , Galea, and Hodges 2010)。このような遅延とその改善は、TrA のみならず全身の筋で同様であることが、システマティックレビューで示されている(Crow, Pizzari, & Buttifant, 2011)。従来の draw-in 指導法は、上前腸骨棘 (ASIS) の内側下方を触診し、息を吐き出すというものであった(Hides & Richardson, 2000)。近年、従来の方法では内腹斜筋(IO)の活動量が上昇することが報告されており、TrA の単独収縮を得ることを目的とした場合、指導方法の見直しが必要である(Lee et al., 2018)。さらに、TrA の単独収縮時の腹筋群の収縮パターンを詳細に検討した報告は、我々の知る限りでは存在しない。

多くのワイヤ筋電図実験により、TrA が様々な動作や指示に反応して特異的な活動を示すことが示されている。TrA は、腹部を膨らませる運動や骨盤後傾運動よりも、ゆっくりと腹部を引き込む運動で高い活動を示す(Urquhart, Hodges, Allen, & Story, 2005)。TrA は骨盤底筋と関連しており、骨盤底筋の随意収縮により TrA の筋活動量が増加する(Sapsford et al., 2001)。TrA は、他の体幹筋よりも腹腔内圧(IAP)と有意に関連している(Cresswell et al., 1992)。さらに、指導方法を変えることで、腹筋群の活動パターンが変化する(Karst & Willett, 2004)。骨盤底筋は深部に位置し、触診が困難なため、望ましい筋活動を得るには口頭指示による指導が重要である。近年、骨盤底筋の収縮を促す際の口頭指示の違いが筋活動パターンに影響し(Aljuraifani,

Stafford, Hall, & Hodges, 2019), 様々な指示が検証されている (Ben Ami & Dar, 2018). 以上のことから, 腹部運動の指示によって, TrA の筋活動の程度や TrA と IO, TrA と外腹斜筋(EO)との筋活動比が変化することが考えられる.

2. 目的

draw-in 時の腹筋群の筋活動 onset を明らかにすること. draw-in 時の TrA の筋活動 onset を計測することで, 実際の TrA の単独収縮時間を算出すること. 様々な口頭指示に対して腹筋の筋活動および筋活動比がどのように変化するかを検討すること.

3. 方法

1)対象者

対象は右の TrA にワイヤ電極を刺入した 21 名 (23 歳(20-30 歳), 身長 169.7 ± 3.6 cm, 体重 64.3 ± 9.4 kg) であった. 全例右利きであった. 実験機器の不調およびクロストークにより計測ができなかった 4 名を除外し, 17 名のデータを解析対象とした.

2)筋活動計測

筋活動計測は第 2 章で記載した方法で実施した. 被験筋は利き手側の TrA, IO, EO, 腹直筋 (RA)であった.

3)実験試技

試技実施前に, 検者 M または O が超音波画像診断装置(エコー) (Sonimage HS1 PRO, Konica Minolta, 東京, 日本) の画面を対象者に見せながら, TrA の単独収縮(draw-in)を約 10 ~20 分間指導した. 対象者は 60 拍/分に設定したメトロノームに合わせて, TrA を選択的に収縮させ, 5 秒間かけて TrA の筋腱移行部を最大限に滑走させ, その後 5 秒間保持した. 試技は 3 回行い, 運動中の呼吸は規定しなかった.

さらに, 次の 7 つの口頭指示に従い, 60 拍/分に設定したメトロノームに合わせて, 5 秒間の等尺性収縮をそれぞれの試技を行った. 各試技は 3 回行い, 指示の順番はランダムにした. 以下の 7 つの口頭指示を与えた. 呼吸は規定しなかった.

「下腹部を凹ませる (draw-in)」,

「下腹部を最大限に凹ませ、臍を背骨の方に引き寄せる（maximum draw-in）（Oshikawa et al., 2020）」,

「肛門を締めるように力を入れる（tighten around the anus）（Glazener et al., 2011）」,

「尿を我慢するように力を入れる（stop the flow of urine）（Goode, 2011）」,

「1m先の火をつけたろうそくを10秒間かけて吹き消す（blowout a candle）」,

「腹囲を変えずに腹部を固める（bracing）（Tayashiki, Takai, Maeo, & Kanehisa, 2015）」,

「腹囲を最大限に膨らませ腹部を固める（maximum bracing）（Oshikawa et al., 2020）」

加えて240Hzのハイスピードカメラ（EXILIM CASIO製、東京、日本）を用いて、draw-in時の動態をエコーの画面と同期ランプを画角に収めて撮影した（図8）。エコー画面と同期ランプを同時に撮影することでエコーと筋電計を同期した。プローブの設置位置は臍とワイヤ刺入部位との間とした。

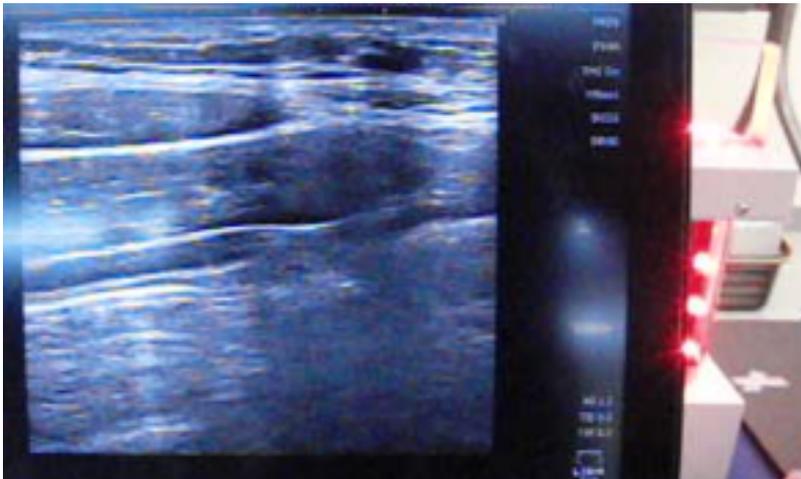


図8. 超音波画像診断装置の画面と筋電計の同期方法

4) データ解析

draw-in 時の各筋の筋活動 onset (Electromyography onset ; E onset) を解析した。 draw-in 開始 1 秒前から運動開始 4 秒後までの 5 秒間を解析区間とし、 draw-in 開始の 1 秒前を 0 と定義した。 draw-in 時の各筋の E onset は Integrated profile method (Allison, 2003) を用いて定義した。 3 回の平均値を各対象者の代表値とした。

口頭指示別においては、各試技の 5 秒間のうち、中間 3 秒を分析区間とした。「blowout a candle」については、10 秒間のうち中間 3 秒を分析区間とした。各試技について、3 回の試行の平均値を算出した。Root Mean Square (RMS) 値を MVIC テスト 1 秒間で得られた RMS 値で除し、正規化した (%MVIC)。得られた %MVIC 値から TrA を IO および EO で除した値 (TrA/IO, TrA/EO) を算出した (Edgerton, Wolf, Levendowski, & Roy, 1996)。

ハイスピードカメラで撮影されたエコー動画をもとに TrA の滑走距離によって draw-in 時の区間分けを行った。TrA の筋腱移行部の滑走をもとに収縮 onset を目視で確認した。筋活動データは draw-in 開始合図の 1 秒前から取得した。エコー画面上で TrA の筋腱移行部が滑走し始めた時点を TrA の収縮 onset (Ultrasound onset ; U onset)、TrA の筋腱移行部が収縮最終域に到達した時点を TrA の 100% 滑走、U onset から 100% 滑走の 50% の位置を算出し、50% の位置に TrA の筋腱移行部が到達した時点を 50% 滑走と定義した (図 9)。

筋活動データ解析は第 2 章の通りである。解析区間は draw-in 開始合図の 1 秒前から U onset (0- U onset)、U onset から 50% 滑走 (U onset- 50%)、50% 滑走から 100% 滑走まで (50%-100% 滑走) の 3 区間および 5 秒間保持中の中間 3 秒間 (5 秒保持) の合計 4 区間とし、各区間の筋活動データを RMS 値で算出した。これらの RMS 値は、MVIC 試技 5 秒間中の 1 秒間の RMS 値で除し、%MVIC 値として算出した。さらに M onset と U onset とを比較した。

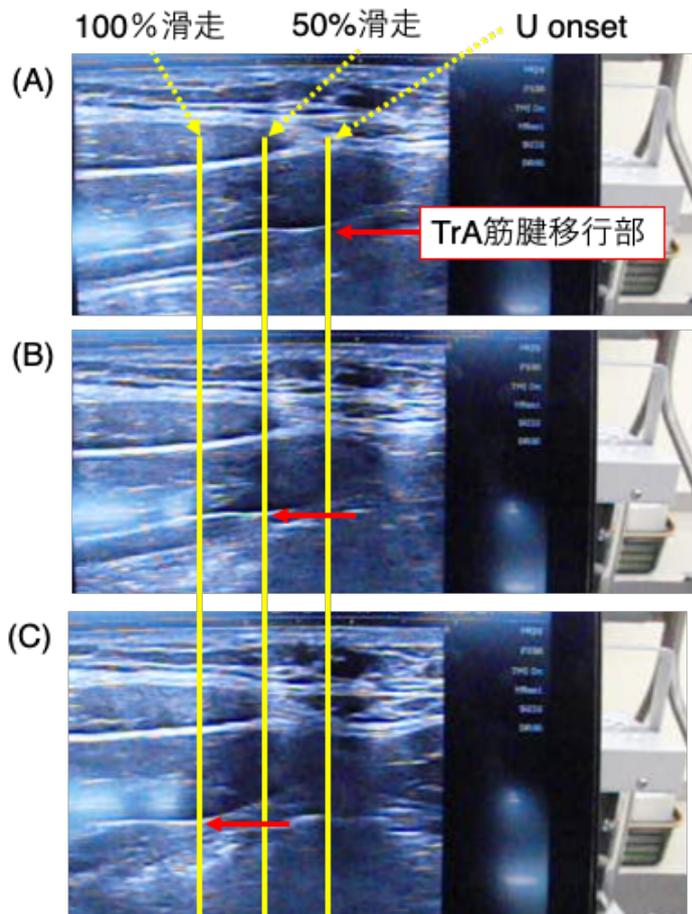


図 9. TrA の筋腱移行部の滑走距離による draw-in の区間分け

(A) TrA 筋腱移行部の収縮 onset 時 (U onset)

(B) TrA 筋腱移行部の 50%滑走時

(C) TrA 筋腱移行部の 100%滑走時

5)統計解析

各筋 (TrA, IO, EO, RA) の E onset, 7つの口頭指示における%MVIC 値は非正規分布であったため, Kruskal-Wallis 検定が用いられた. Kruskal-Wallis 検定の事後検定には Bonferroni 法を用いた. 各筋および各区間の筋活動量を比較するために, 二元配置分散分析を行った (4筋 × 4区間). 事後検定は Bonferroni 法を用いた. E onset と U onset を比較するために, Welch の t 検定を行った. Kruskal-Wallis 検定後の Mann-Whitney U-test, Welch の t 検定は Cohen の d 用いて効果量を算出した (Jacob Cohen, 2013). 0.20 以上 0.50 未満を「効果量小」, 0.50 以上 0.80 未満を「効果量中」, 0.80 以上を「効果量大」とした. 二元配置分散分析の効果量として Partial η^2 を算出し, 0.01 以上 0.06 未満を効果量小, 0.06 以上 0.14 未満を効果量中, 0.14 以上を効果量大とした (Jacob Cohen, 2013). 有意水準は 5%とした.

4. 結果

1)筋活動 onset

5秒かけて draw-in した際の各筋の E onset に関して、TrA は 2.28 ± 0.91 秒、IO は 3.40 ± 0.61 秒、EO は 3.68 ± 0.93 秒、RA は 3.60 ± 1.10 秒であり、TrA は他の筋に比べ有意に早期に筋活動を開始した ($F_{3,68}=7.771, P<0.001, \text{partial } \eta^2=0.26$) (表1)。

表1. draw-in 時の各筋の E onset と TrA の E onset との差

	TrA	IO	EO	RA
E onset	2.28 ± 0.91	3.40 ± 0.61	3.68 ± 0.93	3.60 ± 1.10
TrAの E onsetとの差	-	1.14 ± 1.33	1.43 ± 1.45	1.34 ± 1.72
Post hoc p-value *	-	0.017	<0.001	0.001

値は平均±SD で示す。

transverse abdominis (TrA), internal oblique (IO), external oblique (EO), rectus abdominis (RA)

* vs TrA の E onset

2)試技別の筋活動

各試技における各筋の%MVIC 値 (中央値 [四分位範囲])、TrA/IO および TrA/EO を比較した。TrA は bracing ($42.21 [32.33-73.65]$) と max bracing ($37.21 [25.95-59.84]$) で他の試技よりも有意に高い活動を示した ($P<0.001$) (図10, 表2, 3)。他の試技間に有意差はなかった。bracing で IO ($51.7 [33.621-90.267]$) と EO ($18.78 [15.636-25.76]$) の筋活動は最も高い活動を示し、RA は maximum bracing ($9.86 [7.136-15.121]$) において最も高い活動を示した。TrA/IO, TrA/EO は各試技間で有意な差を認めなかった (図11, 表2)。

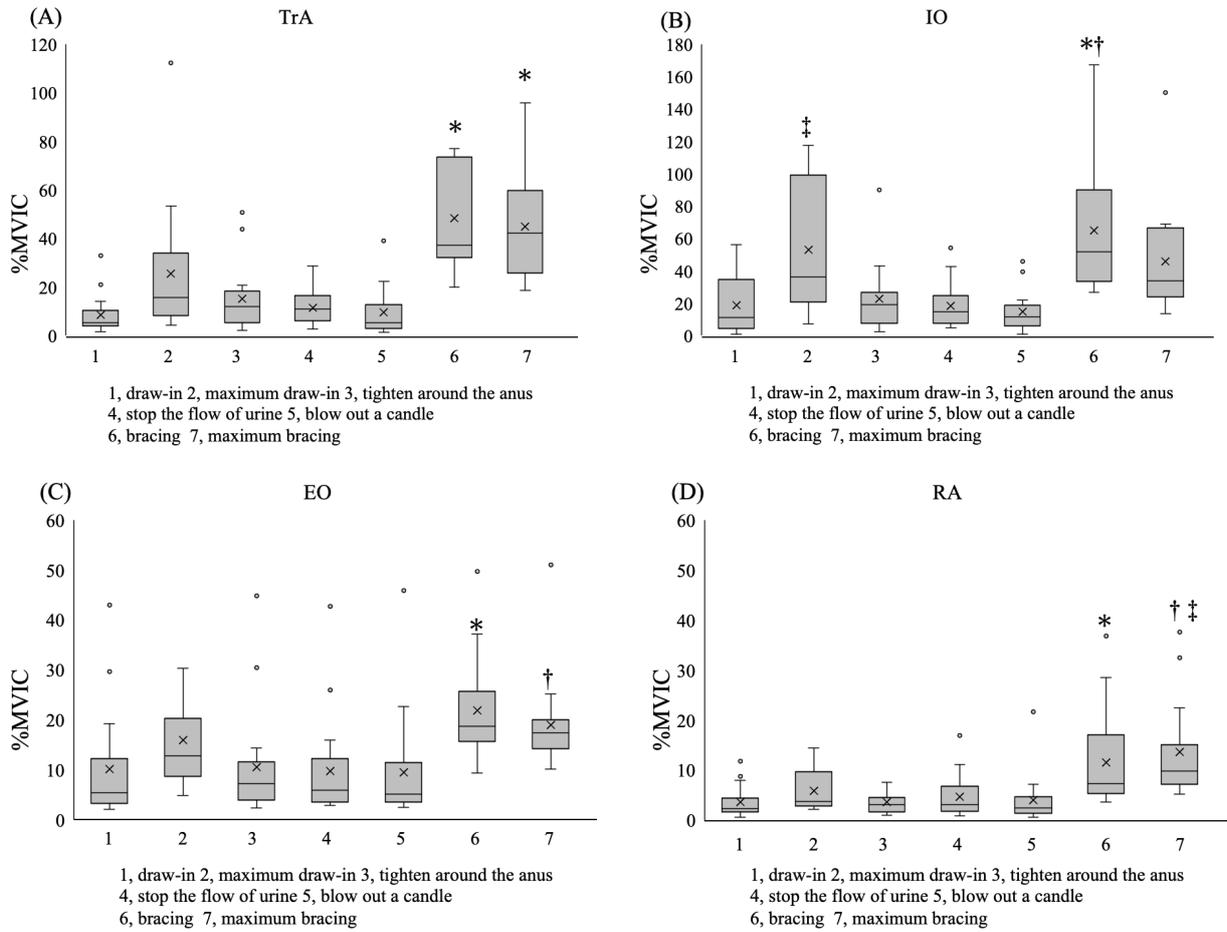


図 10. 各筋における各試技間の筋活動比較

(A) transverse abdominis (TrA), (B) internal oblique (IO), (C) external oblique (EO), (D) rectus abdominis (RA)

* † ‡ : 各試技間でそれぞれ有意差あり

◎ : 外れ値

(A) * vs 1, 2, 3, 4, 5 $p < 0.001$

(B) * vs 1, 4, 5 $p < 0.001$, † vs 3 $p = 0.004$, ‡ vs 5 $p = 0.008$

(C) * vs 1, 3, 4, 5 $p < 0.001$, 0.006, 0.002, 0.001, † vs 5 $p = 0.007$

(D) * vs 1, 3, 5 $p < 0.003$, 0.007, 0.004, † vs 1, 3, 5 $p < 0.001$, ‡ vs 4 $p = 0.002$

%MVIC: %最大随意等尺性筋収縮

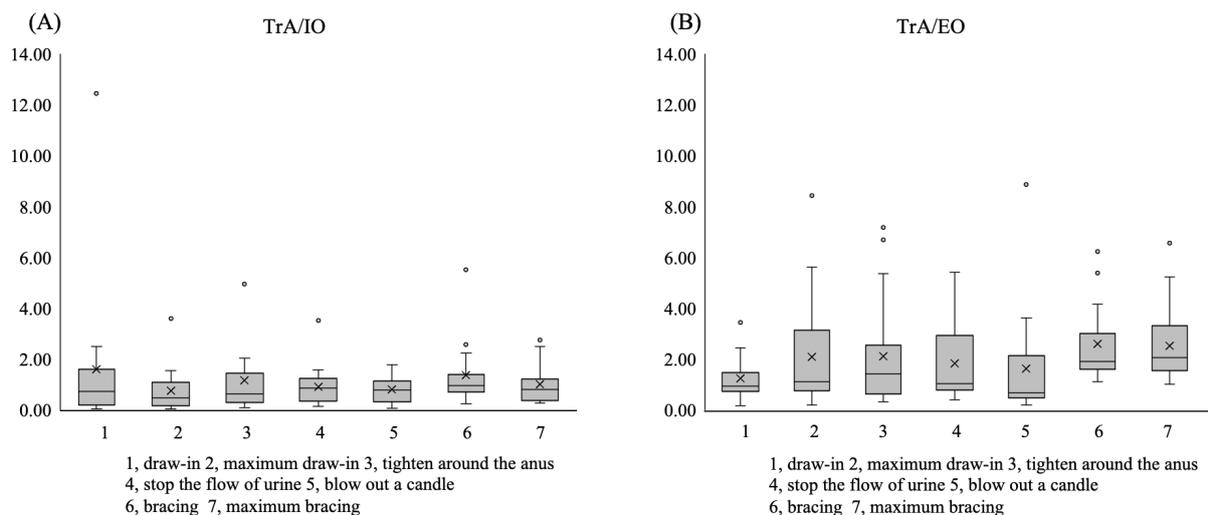


図 11. TrA/IO および TrA/EO における各試技間の比較

transverse abdominis (TrA), internal oblique (IO), external oblique (EO)

%MVIC: %最大随意等尺性筋収縮

◎: 外れ値

表 2 試技ごとの各筋の筋活動量 (%MVIC) および筋活動比

Muscles	draw-in	max draw-in	tighten around the anus	stop the flow of urine	blow out a candle	bracing	max bracing
TrA	5.4(4.0- 10.5)	15.7(8.4- 34.0)	12.2(5.6- 18.3)	11.0(6.3- 16.6)	5.4(2.9- 12.7)	42.2(32.3- 73.7)	37.2(26.0- 59.8)
IO	9.5(4.4- 34.7)	36.4(20.7- 99.4)	19.1(7.7- 26.9)	14.9(7.7- 25.0)	11.8(6.1- 18.9)	51.7(33.6- 90.3)	32.9(24.3- 66.6)
EO	5.3(3.3- 12.3)	12.7(8.7- 20.3)	7.3(4.0- 11.6)	6.4(3.6- 12.3)	5.2(3.6- 11.4)	18.8(15.6- 25.8)	17.0(14.2- 20.0)
RA	2.2(1.6- 4.5)	3.8(2.8- 9.7)	3.1(1.6- 4.6)	3.4(1.8- 6.9)	2.5(1.3-4.6)	9.3(5.3- 17.0)	9.9(7.1- 15.1)
TrA/IO比	0.74(0.20- 1.60)	0.47(0.19- 1.10)	0.64(0.29- 1.46)	0.85(0.35- 1.26)	0.79(0.33- 1.14)	0.96(0.70- 1.39)	0.81(0.37- 1.22)
TrA/EO比	0.95(0.50- 1.47)	1.11(0.77- 3.14)	1.44(0.63- 2.56)	1.03(0.78- 2.93)	0.69(0.47- 2.14)	1.90(1.59- 3.01)	2.07(1.55- 3.32)

値は中央値[四分位範囲]で示す

transverse abdominis (TrA), internal oblique (IO), external oblique (EO), rectus abdominis (RA)

%MVIC: %最大随意等尺性筋収縮

表3 筋活動 (%MVIC) における各試技間の統計値

Trial	TrA			IO			EO			RA		
	p-value	Post hoc p-value	Cohen's d [95% CI]	P value	Post hoc p-value	Cohen's d [95% CI]	P value	Post hoc p-value	Cohen's d [95% CI]	P value	Post hoc p-value	Cohen's d [95% CI]
draw-in vs max draw-in	.008	.169	-.856 [-1.546, -.123]	.002	.037	-1.107 [-1.821, -.337]	.016	.333	.333 [-.531, -1.222]	.066	-	-.600 [-1.292, .123]
draw-in vs tighten around the anus	.169	-	-.581 [-1.253, .118]	.491	-	-.209 [-.888, .481]	.675	-	1 [-.039, .721]	.769	-	-.011 [-.693, .672]
draw-in vs stop the flow of urine	.325	-	-.375 [-1.035, .302]	.811	-	.007 [-.667, .680]	.864	-	1 [.034, .641]	.438	-	-.281 [-.951, .402]
draw-in vs blow out a candle	.952	-	-.109 [-.790, .577]	.674	-	.250 [-.452, .939]	.897	-	1 [.060, .634]	.953	-	-.099 [-.789, .597]
draw-in vs bracing	<.001	<.001	-2.116 [-2.843, -1.304]	<.001	<.001	-1.018 [-1.627, -.376]	<.001	.001	[-.833, -1.631]	<.001	.003	-1.399 [-2.229, -.476]
draw-in vs max bracing	<.001	<.001	-2.528 [-3.320, -1.630]	.002	.038	-1.612 [-2.251, -.925]	<.001	.012	[-1.085, -1.885]	<.001	<.001	-1.112 [-1.923, -.227]
max draw-in vs tighten around the anus	.195	-	.488 [-.216, 1.168]	.013	.271	.959 [.217, 1.655]	.043	.893	.893 [-.500, .205]	.116	-	.629 [-.085, 1.312]
max draw-in vs stop the flow of urine	.086	-	.736 [.024, 1.413]	.003	.06	1.178 [.423, 1.877]	.021	.438	.438 [.600, -1.011]	.263	-	.283 [-.401, .953]
max draw-in vs blow out a candle	.011	.225	.777 [.040, 1.475]	<.001	.008	1.287 [.496, 2.012]	.011	.232	.232 [.603, -1.200]	.075	-	.391 [-.318, 1.080]
max draw-in vs bracing	.008	.177	-.766 [-1.474, -.017]	.2	-	.188 [-.522, .889]	.108	-	1 [-.305, -1.005]	.045	.955	-1.057 [-1.779, -.280]
max draw-in vs max bracing	.014	.286	-.933 [-1.649, -.169]	.966	-	-.304 [-.993, .401]	.283	-	1 [-.581, -1.284]	.007	.15	-.778 [-1.487, -.2]
tighten around the anus vs stop the flow of urine	.681	-	.353 [-.323, 1.013]	.641	-	.237 [-.434, .897]	.797	-	1 [.076, .589]	.628	-	-.288 [-.948, .384]
tighten around the anus vs blow out a candle	.196	-	.458 [-.244, 1.138]	.264	-	.459 [-.244, 1.139]	.582	-	1 [.101, .584]	.815	-	-.096 [-.776, .590]
tighten around the anus vs bracing	<.001	.002	-1.573 [-2.323, -.744]	<.001	.004	-.842 [-1.544, -.098]	<.001	.006	[-.808, -1.508]	<.001	.007	-1.435 [-2.173, -.625]
tighten around the anus vs max bracing	<.001	.003	-1.881 [-2.660, -1.006]	.013	.269	-1.436 [-2.162, -.639]	.002	.043	[-1.066, -1.778]	<.001	<.001	-1.140 [-1.857, -.365]
stop the flow of urine vs blow out a candle	.364	-	.209 [-.471, .880]	.501	-	.282 [-.401, .952]	.761	-	1 [.030, .644]	.475	-	.138 [-.539, .809]
stop the flow of urine vs bracing	<.001	.001	-2.437 [-3.271, -1.484]	<.001	<.001	-1.097 [-1.802, -.338]	<.001	.002	[-.927, -1.623]	.002	.034	-1.241 [-1.955, -.466]
stop the flow of urine vs max bracing	<.001	<.001	-2.019 [-2.804, -1.136]	.003	.062	-1.723 [-2.466, -.899]	<.001	.016	[-1.193, -1.905]	<.001	.002	-.956 [-1.654, -.212]
blow out a candle vs bracing	<.001	<.001	-1.970 [-2.770, -1.068]	<.001	<.001	-1.236 [-1.969, -.438]	<.001	.001	[-.914, -1.628]	<.001	.004	-1.250 [-1.985, -.451]
blow out a candle vs max bracing	<.001	<.001	-2.347 [-3.192, -1.380]	<.001	.009	-1.842 [-2.616, -.975]	<.001	.007	[-1.168, -1.897]	<.001	<.001	-.982 [-1.700, -.213]
bracing vs max bracing	.868	-	.147 [-.573, .860]	.222	-	.530 [-.200, 1.232]	.6	-	1 [.292, .435]	.497	-	-.212 [-.924, .511]

transverse abdominis (TrA), internal oblique(IO), external oblique(EO), rectus abdominis (RA)

%MVIC: %最大随意等尺性筋収縮

3) draw-in 時の滑走距離ごとの各筋の筋活動

筋・区間に関する有意な交互作用を認めた($F_{9, 239}=4.078, P<0.001, \text{Partial } \eta^2=0.159$)。事後検定の結果, IO において, "0-U onset"は"U onset-50%滑走"との間には有意な差を認めなかった。"50%-100%滑走" および "5 秒保持" は, "0-U onset" および" U onset-50%滑走" に比べて有意に高い活動を示した($P<0.001$) (図 12)。さらに IO は" 50%-100%滑走" および"5 秒保持" の各時点で TrA, EO, RA に比べ有意に高値であった($P<0.001$)。

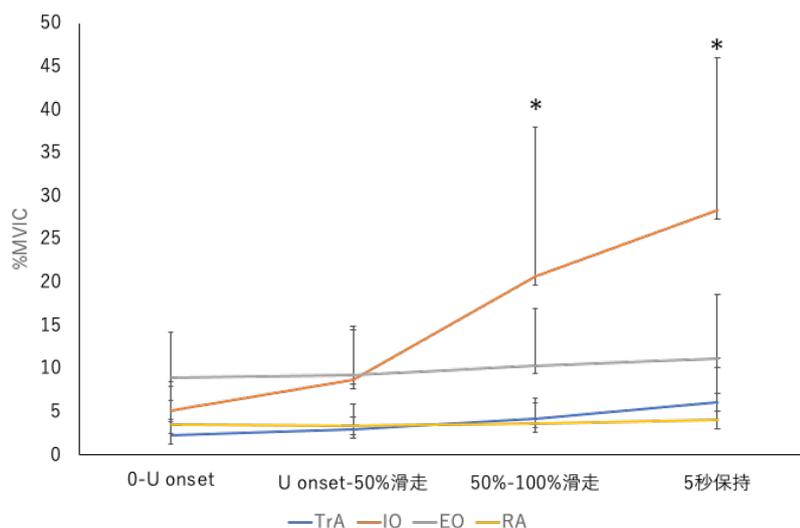


図 12. draw-in 時の滑走距離ごとの各筋の筋活動
* IO において vs " 0-U onset" , "U onset-50%滑走" ($P<0.001$)

4) E onset と U onset の差

E onset は 1.98 ± 0.76 , M onset は 2.28 ± 0.91 であった。有意差はないものの, E onset と M onset は E onset が 0.3 秒早い結果となった($P=0.09, d=-0.36$)。

5. 考察

Draw-in を 5 秒間かけて行ったところ, 最初に TrA が筋活動を開始し, 次いで IO, RA, EO の順となった。TrA の E onset と各筋の E onset の差は約 1.1 秒であった。TrA の単独収縮の方法が報告されているが(Hides & Richardson, 2000), 実際の単独収縮の時間は短い時間のみであった。

Active straight leg raising で骨盤帯の痛みを生じる症例も多い(J. M. Mens, A. Vleeming, C. J. Snijders, H. J. Stam, & A. Z. Ginai, 1999)筋線維方向から推察すると IO の収縮は腸骨を前方回旋させると考えられる(Gray, 1918)(図 13)。腸骨の前方回旋は後仙腸靭帯に緊張を与え, 仙腸関節

の疼痛を引き起こす可能性がある (Vleeming et al., 1996). さらに IO は筋束長が短いが生理学的横断面積が大きいいため、強い張力を発揮できる特徴を有する (S. H. M. Brown, Ward, Cook, & Lieber, 2010). 我々は、安定した下肢挙上を可能にする安定した骨盤輪を形成するためには、IO や EO よりも TrA がまず先に収縮するべきであると考えた. IO の後部線維が胸腰筋膜に連結し、胸腰筋膜が腰椎横突起に付着するという理由から IO はインナーマッスルに分類されることがある. 一方で IO の後部線維はごく一部の屍体にのみ認められており (N. Bogduk & Macintosh, 1984), 線維方向からも胸腰筋膜に与える張力は僅かであると考えられる. IO をインナーマッスルとするかアウターマッスルとするかには議論の余地がある (S. H. Brown & McGill, 2009). IO の下部線維は EO と連結しており (Urquhart, Barker, et al., 2005), IO は生理学的断面積が大きく (S. H. M. Brown et al., 2010), 長いモーメントアームを有する (Cholewicki & McGill, 1996)とされている. したがって IO を アウターマッスル として分類することは妥当であり、アウターマッスルより先にインナーマッスルが機能する正常な筋の収縮の順番を意味するモーターコントロールは重要である.

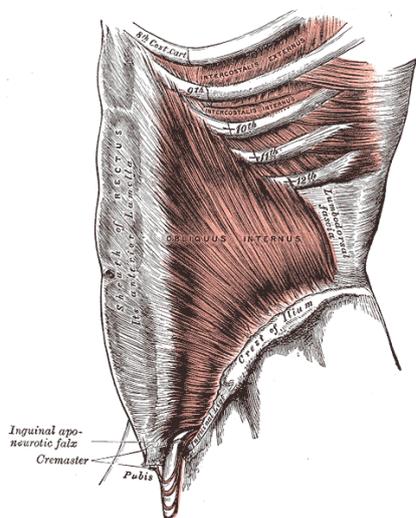


図 13. 内腹斜筋の解剖と線維方向

IO の筋活動は maximum draw-in , bracing と maximum bracing の %MVIC 値が高値であった. 田屋敷らは、腹部を凹ませない腹部 bracing と腹部を凹ませる draw-in 時の筋活動を比較し、同時に IAP を測定し (Tayashiki et al., 2015), IO, EO, RA の筋活動および IAP は、draw-in よりも bracing の方が高いことを報告した. TrA と IO は IAP と関連があることが知られている. IAP は体幹伸展時に TrA と IO の筋活動と伴って上昇し (Cresswell, 1993), TrA がねじり

トルクと体幹の安定化に寄与し、等尺性体幹負荷時の IAP 生成に最も重要な役割を果たすと結論付けた(Cresswell et al., 1992). TrA の両側性の筋活動により、胸腰筋膜に張力が生じ、腹腔の直径が短縮し IAP が増加する. 本実験において腹部 bracing 時に TrA と IO の筋活動が増加した理由は、IAP に起因している可能性がある. maximum bracing では腹囲が増大し、TrA と IO が伸張していたと考えられる. 伸張位では弛緩位より筋活動が高くなるのが長さ-張力関係(Gordon, Huxley, & Julian, 1966)で示されており、本結果も影響を受けたと考えられる. TrA の神経筋反応を改善させるためには他の筋群とは独立して収縮する必要があり、draw-in を行う際には、等尺性収縮よりも短い求心性収縮時間が望まれるかもしれない.

TrA/IO, TrA/EO は試技間で差はなかった. TrA/IO と TrA/EO 比は、TrA が単独収縮した際に高くなる. Lee らは、TrA の表層部分の IO に表面電極を貼付し TrA と IO の筋活動を計測し、draw-in 時の筋活動を報告した. TrA-IO/EO を求め、TrA-IO/EO は 2.28 ± 0.93 だった(Lee et al., 2018). エコーを用いたリアルタイムフィードバックを行いながら draw-in を練習すると、この値は有意に増加した (3.08 ± 0.92). 現時点で、draw-in 時の TrA の筋活動量を IO で除した結果を示した研究はない. 本実験で行った全ての口頭指示における等尺性収縮は、TrA の単独収縮には適さない可能性がある.

エコーを用いて TrA の収縮距離を指標として区間を分け、腹筋群の筋活動量を計測した. TrA が U onset から 50%滑走した間の筋活動には各筋で差はなかったが、50-100%滑走した間には IO の活動量が増加した. TrA の単独収縮を行い最終域まで収縮させようとする、TrA の滑走距離が 50%を超えると IO の活動量が増加した. アウターマッスルである IO の収縮を避けながら TrA の収縮を得ようとする場合、TrA の滑走距離は全体に対する 50%程度でよいと考えられた.

E onset と U onset を比較したところ、U onset がおよそ 0.3 秒早かった. Sjodahi らは生理学的に許容される onset の基準として、運動開始の前後 0.4 秒以内に設定している(Sjödahl, Kvist, Gutke, & Öberg, 2009). 本結果は許容範囲内であるが、個人差も大きく、エコー画面上 50%以上滑走していても筋活動として得られない対象も存在した. 今回のエコー観察位置およびワイヤ刺入位置は臍の高位で同じであった(図 14). 一方で、TrA 中部線維の線維方向は背側から腹

側にかけて斜めに走行しており、エコーでの観察とワイヤ電極で計測とで異なる線維を観察した可能性がある。本試技である draw-in 時は、TrA の上部線維および中部線維より下部線維の活動が高いことが示されており (Urquhart, Hodges, et al., 2005), draw-in の際にはより下方に位置する線維から筋活動 onset が得られるのかもしれない。

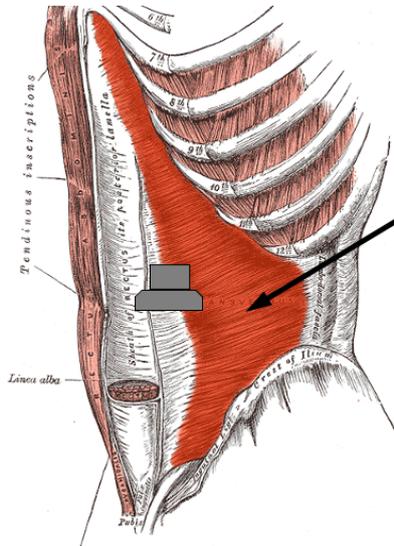


図 14. TrA のエコー観察位置とワイヤ刺入位置の違い
プローブの模式図とワイヤの刺入位置 (黒矢印) を示す。

6. まとめ

draw-in 時の TrA の筋活動を解析した。TrA の単独収縮の時間は短く、1.1 秒程度であった。TrA が全体の滑走距離の 50% ほど収縮した際には IO の活動が大きくなった。TrA の単独収縮を得ようとする場合、わずかな時間で十分である。

第4章 体幹・下肢運動時の筋活動解析

I. 【課題 2-1】自動下肢伸展挙上時の筋活動量および筋活動 onset 解析

1. 背景

自動下肢伸展挙上(ASLR)は重力により下肢に大きなモーメントがかかり、多くの筋が関与し(H. Hu et al., 2010)、骨盤、脊柱のコントロールが必要となる複雑な力学を生じる。ASLR test は骨盤を介して下肢と体幹との間で伝達されるべき力が十分に伝達されない状態(荷重伝達障害)を示すものと推測され(J. Mens, A. Vleeming, C. J. Snijders, H. J. Stam, & A. Z. Ginai, 1999)、ASLR test は骨盤帯痛(J. M. Mens et al., 1999)、仙腸関節障害(P. B. O'Sullivan et al., 2002)や腰痛(Rainville, Hartigan, Jouve, & Martinez, 2004)まで多くの症状の評価に利用されている。ASLR test は背臥位からの自動下肢挙上の困難さをみる機能評価法であり、骨盤の安定性に関する検査法として国際的に定着している(H. Hu et al., 2012; Mens, Vleeming, Snijders, Koes, & Stam, 2001; Snijders, Vleeming, & Stoeckart, 1993)。評価結果は Likert scale を用いて示され、制限を感じない0点、主観的に上げにくい評価者は障害を認めない1点、主観的および客観的に障害を認める2点、下肢を挙上できない3点により判定される(J. M. Mens et al., 1999)。

大腰筋(PM)は下肢と体幹を結ぶ重要な筋であり、作用として股関節屈曲を有し ASLR においても重要な筋である。Okubo らは健常男性の自然挙上時の ASLR 時の PM の筋活動 onset を解析した(Yu Okubo et al., 2021)。Okubo らは下肢挙上時を0とした場合、PM は -33 ± 245 ms、大腿直筋(RF)は下肢挙上の -3 ± 119 ms から筋活動が開始したと報告した。Hu らは健常女性の両側の PM にワイヤを刺入し、ASLR 時の筋活動 onset を解析した(Hai Hu et al., 2011)。支持側の PM の活動もみられ、腰椎の安定性に寄与していると考えた。股関節の深部筋の一つに小殿筋(GMin)があり、超音波画像診断装置(エコー)の motion-mode(M-mode)による3つの研究は、下肢の運動の際に GMin が GMed より先に活動することを示した(A. Dieterich, Petzke, Pickard, Davey, & Falla, 2015) (A. V. Dieterich et al., 2015) (A. V. Dieterich, Deshon, Strauss, McKay, & Pickard, 2016)。体幹・骨盤帯の深部筋が下肢運動に先立って活動を開始することが示されている。

病態ごとに ASLR 時の体幹筋の筋活動 onset を解析した研究がある。Cowan ら(Cowan et al., 2004)は、ASLR 時の腹横筋活動を鼠径部痛の有無で比較し、有訴者において大腿直筋 (RF) よりも腹横筋(TrA)が遅れて活動することを明らかにした。Hungerford ら (Hungerford, Gilleard, & Hodges, 2003)は ASLR 時の体幹・下肢筋活動を仙腸関節障害の有無で比較し、健常群では支持側の内腹斜筋と多裂筋は重心移動の前に活動を開始したのに比べ、仙腸関節障害例では支持側の内腹斜筋、多裂筋、大殿筋の筋活動 onset が遅延し、大腿二頭筋は早かった。さらに仙腸関節障害例では、症状側と非症状側で筋活動 onset が異なった。股関節屈曲時の支持脚の筋活動 onset が遅れることは、腰部骨盤の安定化戦略の変化を示唆し、骨盤を介した荷重伝達を破綻させる可能性がある」と結論づけた。

ASLR 時の筋活動量を考察した報告もある。Teyhen らは骨盤帯痛患者に ASLR をさせた時の腹筋群のエコーを観察した(Teyhen et al., 2009)。健常群と比較し、骨盤帯痛患者では TrA の筋厚の増加が見られず自動収縮能に低下が見られ、TrA の筋活動量が低下していると考察した。

ASLR 中の体幹・骨盤周囲の筋活動をベルトや下肢の重りをつけて計測した結果、ASLR の運動速度は骨盤ベルトの装着により上昇し、下肢に重りを付加することにより低下した(H. Hu et al., 2012)。骨盤ベルトは TrA などの腹筋群の代わりをしたと考えられ、ASLR 時の体幹筋の関与が考えられた。

以上のように ASLR 時の PM や TrA の筋活動 onset や筋活動量はこれまでも研究されているが、TrA と PM、股関節深部筋の筋活動 onset を同時に計測した研究はない。

2. 目的

本課題は、ASLR 時の体幹筋・下肢筋の筋活動 onset、筋活動量を明らかにすることを目的とした。

3. 方法

1)対象

対象は 21 名 (23 歳(20-30 歳)、身長 170.5 ± 3.6 cm、体重 64.3 ± 9.4 kg) であり、実験機器の不調およびクロストークにより計測ができなかった 3 名を除外し、18 名のデータを解析対象とした。そのうち 16 名には大腰筋(PM)にワイヤ電極を刺入した。PM のデータは試技中に体調不良

を訴えた1名、実験機器の不調およびクロストークにより計測ができなかった6つのデータを除外し、9名のデータを解析対象とした。

2)筋活動解析

筋活動計測は第2章で記載した方法で実施した。被験筋は両側の TrA (右 TrA, 左 TrA) , 内腹斜筋(右 IO, 左 IO), 外腹斜筋(右 EO, 左 EO), および右側の腹直筋(右 RA) , PM(右 PM), 大腿直筋(右 RF), 大殿筋(右 GMax), 中殿筋 (右 GMed) , 小殿筋(右 GMin), 大腿二頭筋(右 BF)の計13筋であった。

3)三次元動作計測

ASLRはサンプリング周波数を200Hzに設定した8台の三次元動作解析装置(OQUS motion system, QUALYSIS社製, Sweden)を用いて記録した。上前腸骨棘, 大転子, 大腿骨外側上顆, 大腿骨内側上顆, 腓骨頭, 足関節外果, 足関節内果, いずれも両側に計14個の直径14mmの赤外線反射マーカ(QUALYSIS社製, Göteborg, Sweden)を貼付した。なお, 三次元動作解析装置と無線筋電計は同期して記録した。

4)実験試技

対象者の視覚範囲内にトリガーランプを配置し, ランプの点灯と同時に片側下肢をベッドから



30cmの高さに設置された棒まで素早くASLRを行った(図15)。データ収集前に数回練習を行った。利き手側および非利き手側それぞれ3回ずつ実施した。

図15. 右ASLR実施の様子

5)データ解析

解析区間はトリガーランプが点灯してから 1 秒間とした。 拳上側足関節外果のマーカの垂直方向の座標の値が、 安静時平均値+2×標準偏差(SD)を超えた時点を下肢拳上 onset とし、 垂直方向の座標の値が最初に最大となった時点を拳上終了時間と定義した。 筋活動 onset は安静時 1 秒間の筋活動平均値+2SD を超えた時点と定義した。 筋活動データは 20ms ごとの移動平均によって平滑化された。 筋活動 onset は安静時の筋活動平均+2SD を超えた時点と定義した(Hodges & Richardson, 1996; Y. Okubo, Kaneoka, Shiina, Tatsumura, & Miyakawa, 2013)。 利き手側および非利き手側下肢拳上時の各筋の筋活動 onset を算出した。 下肢拳上 onset を 0 と定義し、 筋活動 onset から下肢拳上 onset を引いた値を算出した。 筋活動データ解析は第 2 章に記載のとおりである。 筋活動 onset から拳上終了時間までを各筋の解析区間とし、 筋活動 onset から拳上終了時点までの筋活動データを RMS 値で算出した。 ASLR 時の RMS 値は、 MVIC 試技 5 秒間中の 1 秒間の RMS 値で除し、 %MVIC 値として算出した。 試技 3 回の平均値を各対象者の代表値とした。

6)統計解析

右側および左側の ASLR 時の筋活動 onset および筋活動量(%MVIC)を、 各筋間および左右間で比較するため二元配置分散分析を行った (9 筋×左右)。 左側拳上時の右 RF, 右側拳上時の右 GMax, 右 GMed, 右 BF の 4 筋は筋活動 onset が得られない対象が多かったため統計解析から除外した。 事後検定は Bonferroni 法を用いた。 二元配置分散分析の効果量として Partial η^2 を算出し、 効果量の基準は【課題 1】と同様とした。 有意水準は 5%とした。

4. 結果

右側 ASLR 筋活動 onset において、 筋・拳上側に関する有意な交互作用を認めた

($F_{8,201}=3.354, P<0.001, \text{Partial } \eta^2=0.096$) (図 16)。 事後検定の結果、 右側 ASLR において、 左 TrA は左 EO および右 PM 以外の筋に比べ有意に早期の筋活動 onset を認めた ($P<0.05$)。 PM は右 EO, 右 RA に比べ有意に早い筋活動を認めた (PM vs 右 EO, 右 RA; $P<0.05$)。 左側 ASLR において、 左 TrA は PM に比べて有意に早期の筋活動 onset を認めた(左 TrA vs PM; $P<0.05$)。 右 GMin は左 TrA 以外の筋に比べ有意に早期の筋活動 onset を認めた ($P<0.05$)

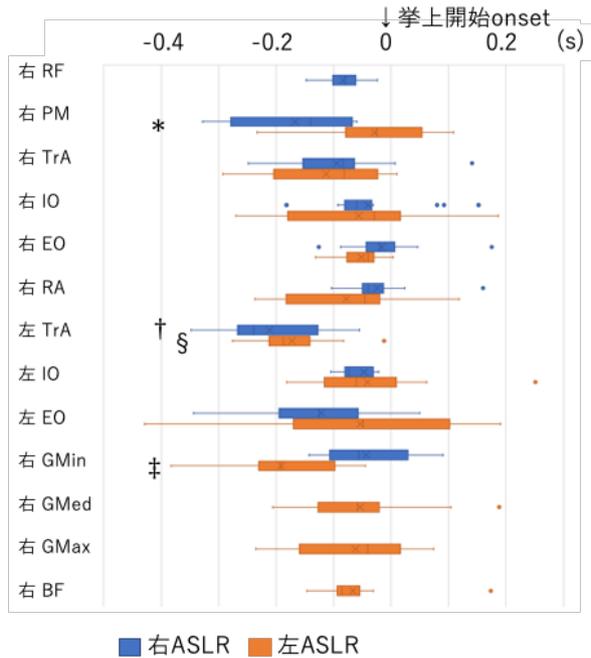


図 16. ASLR 時の下肢挙上 onset に対する筋活動 onset

右 ASLR において,
 * 右 PM vs 右 EO, 右 RA $P < 0.05$
 † 左 TrA vs 右 PM, 左 EO 以外 $P < 0.05$
 左 ASLR において,
 ‡ 右 GMin vs 左 TrA 以外 $P < 0.05$
 § 左 TrA vs 右 PM $P < 0.05$

非利き手側 ASLR 時の RF は平均+2SD の値
 が得られない対象者が半数おり，除外した。

ASLR において，筋・左右に関する有意な交互作用を認めた ($F_{8,224}=5.414, P < 0.001, \text{Partial } \eta^2=0.163$) (図 17) . 事後検定の結果，右側 ASLR の右 PM はその他の筋に対して有意に高い%MVIC の値であった (いずれも $P < 0.023$) . 左側 ASLR の右 GMin は その他の筋に対して有意に高い%MVIC の値であった (いずれも $P < 0.001$) .

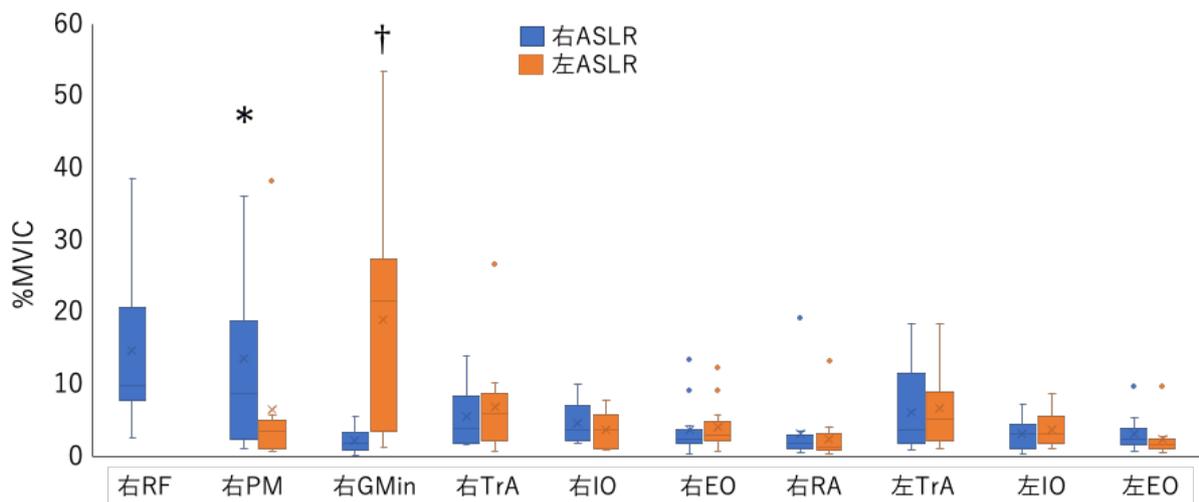


図 17. ASLR 時の各筋の筋活動量の比較

* PM vs 各筋 $P < 0.023$
 † 右 GMin vs 各筋 $P < 0.001$

5. 考察

利き手側 ASLR 時の PM・非利き手側 TrA の活動が早期に見られた。非利き手側 TrA は非利き手側 ASLR においても最も早期に活動を開始した。利き手側 ASLR 時の PM は股関節屈筋である RF よりも早く活動を開始した。大腰筋の筋活動は股関節の屈曲角度が大きくなると増加するとの報告がある (Yu Okubo et al., 2021)。一方で, Yoshio らは屍体観察によって大腰筋は股関節屈曲 0-15° で腰椎と大腿骨頭の安定化として機能すると考察した (Yoshio, Murakami, Sato, Sato, & Noriyasu, 2002)。ASLR 時の下肢のモーメントは大きく, 下肢挙上に伴う体幹の固定性が求められる。ASLR 時の対側の PM は腰椎の前額面の安定性の役割を果たし (Hai Hu et al., 2011), 同側の PM は矢状面においては腰椎の前弯の制御に寄与すると考えられている (Penning, 2000)。Nachemson は PM の収縮が脊柱に圧縮力を加え, 安定させることを示唆した (Nachemson, 1968)。本実験における挙上側の PM の早期の活動は, 下肢挙上の主動作筋としてだけでなく, 腰椎の安定性に機能するために股関節屈筋よりも早期に活動を開始したと考えた。一方で Hu らは未妊娠の健常女性の両側の PM, 一側の腸骨筋にワイヤを刺入し, ASLR 時の筋活動 onset を解析した (Hai Hu et al., 2011)。挙上側の PM は腸骨筋, RF, 長内転筋に比べて筋活動 onset が遅かった。Hu らの試技は自然なスピードで下肢を挙上しており, 体幹に加わる外乱が小さくなり (Paul W. Hodges & Carolyn A. Richardson, 1997), ランプの点灯と同時に素早く下肢を挙上した際の本実験での運動戦略と異なる可能性がある。

利き手側 ASLR の際には反対側 TrA が早期に活動を開始した。Hungerford らは ASLR 時の体幹・下肢筋活動を観察し, 健常群では支持側の IO と多裂筋は重心移動の前に活動を開始したと報告した (Hungerford et al., 2003)。対側に位置する TrA が挙上側下肢のモーメントに拮抗すべくフィードフォワード的に活動を開始したと考えられる。一方で非利き手側 ASLR の際にも非利き手側 TrA が早期に活動を開始し, 活動開始時間は両者で同等であった。適度に活動的な健常人 123 名 (男性 55 名, 女性 68 名) を対象に, 腹横筋の筋厚を ASIS と胸郭の中間点でエコーを用いて調査した研究では, TrA において男性の平均は右が 0.45cm, 左が 0.51cm で有意差をもって左が厚く左右差が大きい結果となった。他にも IO, EO, RA を計測しているが, 絶対値の有意差を認めたものは TrA のみであった。左が右に比べ約 24% 厚い結果であった (Rankin, Stokes,

& Newham, 2006). 健常男性でクリケット選手 13 名を対象として MRI で TrA の筋厚を計測した研究では、右が 0.68cm, 左が 0.71cm であった。これらの実験では検討はされていないものの、軽微な側弯や脚長差の有無、骨盤傾斜などの解剖学的因子の関与を考察していく必要があると考察した(Rankin et al., 2006)。活動的な対象者は非対称性の運動を繰り返す可能性があり、例えばオーバーヘッドスポーツであれば非利き手側の体幹回旋筋群の高いエネルギーを生む必要があることが示されており(Hirashima, Kadota, Sakurai, Kudo, & Ohtsuki, 2002), 非利き手側の腹筋群が非利き手側の腹筋群に比べて賦活されている可能性がある。さらに TrA は上肢下肢の運動方向に関わらず、早期に活動を開始するということが報告されており(P. W. Hodges & C. A. Richardson, 1997a, 1997b), TrA の重要な機能の一つであると言える。様々な運動の際には TrA は非利き手側の機能も重要である。

左 ASLR 時に右 GMin が早期に活動を開始した。Hu らは健常女性の ASLR 時の筋活動 onset を解析し、対側の PM の活動がみられ、腰椎の安定性に寄与していると考えた(Hai Hu et al., 2011)。ASLR 時には拳上側方向への骨盤帯の水平面での傾斜が認められる(Yoo, Hwang, Ahn, Gwak, & Kwon, 2021)。また、左 ASLR 時に体幹を中立位で保持するために右股関節伸展が求められる(Kibsgard, Rohrl, Roise, Sturesson, & Stuge, 2017)。左 ASLR に伴い、股関節伸展作用を持つ右 GMin 後部線維が骨盤帯の安定性獲得のために早期に活動したと考えられる。

PM の筋活動量は同側拳上時に高い活動を示した。前述の通り、Yoshio らは屍体観察によって PM は股関節屈曲 0-15° で機能するとした(Yoshio et al., 2002)。本試技の ASLR は 30cm の高さまで下肢を拳上し、股関節屈曲 15° 程度であると考えられ、PM の機能する角度と一致する。

PM は股関節屈曲筋、膝関節伸展筋である RF と同等の活動量を示した。

大きな差はないものの、利き手側 ASLR の際には反対側の TrA が、非利き手側 ASLR の際にも同側 TrA は反対側と同等の活動を示した。また体幹筋 (TrA, IO, EO, RA) の中でも TrA が最も高値であった。Hodges らは肩関節屈曲運動を速度を変えて実施し、肩関節屈曲運動に伴う体幹筋群(TrA, IO, EO, RA)の活動を比較した(Paul W. Hodges & Carolyn A. Richardson, 1997)。最も速い速度の試技、自然な速度での拳上では TrA の筋活動量が高いが、遅い速度の試技では低下した。本試技の ASLR はランプの点灯と同時に素早く拳上したため、体幹に加わる外乱が大き

くなり、それに順応すべく TrA の筋活動量が増加したと考えられる。筋活動 onset と同様に非利き手側の TrA の機能が高まっていると考えられ、活動量も増加したと考察した。

6. まとめ

利き手側および非利き手側の ASLR 時の PM, TrA, GMin に着目し、筋活動 onset および筋活動量を解析した。利き手側 ASLR の際には利き手側 PM と非利き手側 TrA が早期に活動を開始し、体幹の安定性を図ったと考えた。非利き手側 ASLR の際には同側の TrA、対側の GMin が早期の筋活動 onset を示した。TrA を評価する際には非利き手側の機能が重要である。体幹・股関節深部筋が下肢挙上より早期に活動を開始し、体幹・骨盤帯の安定性を高めている。

II. 【課題 2-2】 四つ這い下肢挙上時の筋活動解析

1. 背景

腰痛に対する運動療法にはモーターコントロールエクササイズ(Saragiotto, Maher, Yamato, Costa, Menezes Costa, et al., 2016), スタビライゼーションエクササイズ(Coulombe, Games, Neil, & Eberman, 2017; Hides, Stanton, McMahon, Sims, & Richardson, 2008)などが挙げられ、いずれも一定の効果を示すことが報告されている(Grooten et al., 2022; Malfliet et al., 2019; Owen et al., 2020). それらのエクササイズのなかでとられる姿勢の一つである四つ這い姿勢は、比較的低負荷で抗重力ではない姿勢であり、脊柱の中間位を維持すれば、良好なバランスを可能とする姿勢である(Gill & Callaghan, 1998).

Stevens らは四つ這いで一側の下肢を挙上した際の体幹筋(内腹斜筋(IO),外腹斜筋(EO), 腹直筋(RA), 脊柱起立筋(LES), 多裂筋(MF), 大殿筋(GMax))の筋活動を計測している(Stevens et al., 2007). 挙上側と対側の IO, 同側の EO は 20%MVIC 以上の値を, 同側の MF は 10~20%MVIC の活動を示した. Callaghan らも, 四つ這いで一側の下肢を挙上した際の体幹筋(IO, EO, RA, LES, MF, GMax)の筋活動を計測している(Callaghan, Gunning, & McGill, 1998). 右下肢挙上時の右 MF が 21.9%MVIC, 左下肢挙上時の左 MF が 22.3%MVIC で最も高い値であった. 腹筋群のほぼ全ての筋が, 下肢挙上側で筋活動が高まった.

エクササイズに条件を加えて体幹筋の活動量を変化させようとする試みもある. バランスボールを用いて不安定な状態下で同様のエクササイズを行ったり (Rafael F. Escamilla et al., 2010; Imai et al., 2010), 上肢を挙上させたりすることで体幹の活動量が増えることが示されている(Callaghan et al., 1998; Stevens et al., 2007). Okubo らは腹部深部筋である腹横筋(TrA)に着目し, 様々な試技を行い, 試技間の TrA の活動量を比較した. 右の TrA は Elbow-toe の肢位で右上肢挙上かつ左下肢挙上で $41.8\% \pm 20.2\%$, 左の TrA は Elbow-toe の肢位で左上肢挙上かつ右下肢挙上で $50.6\% \pm 28.4\%$ とそれぞれ最も筋活動量が高かった. 一方で難易度が高いと考えられる試技でも最大で 50%MVIC であった. さらに TrA に着目し, 単独収縮(draw-in)をさせながら同様のエクササイズを行うことで, TrA の活動量が増すことを示した研究もある

(Bjerkefors, Ekblom, Josefsson, & Thorstensson, 2010) (García-Jaén, Cortell-Tormo, Hernández-

Sánchez, & Tortosa-Martínez, 2020), 条件を変えることで体幹深部筋である TrA の活動量は変化する可能性がある。

2. 目的

四つ這いの肢位での下肢挙上の際の体幹筋の筋活動量を計測し、運動療法に示唆を与えること。また、口頭指示の条件を変えることで筋活動の変化の有無を明らかにすること。

3. 方法

1)対象者

健康成人男性 16 名 (25 歳(20-30 歳), 身長 $170.8 \pm 6.6\text{cm}$, 体重 $64.4 \pm 9.6\text{kg}$) である。

2)筋活動計測

筋活動計測は第 2 章で記載した方法で実施した。被験筋は利き手側の TrA, IO, EO, RA, RF, LES, MF, GMax, BF の計 9 筋であった。

3)三次元動作計測

課題 2-1 で示した方法を用いた。

4)実験試技

対象者は肩関節屈曲 90° , 股関節および膝関節屈曲 90° の四つ這い姿勢にて、60 拍/分に設定したメトロノームに合わせて体幹と下肢が一直線になるように片側ずつ下肢を挙上した。3 秒かけて下肢を挙上し、1 秒間挙上位で保持、3 秒かけて四つ這いの姿勢へと戻った。左右それぞれ次の 3 条件で行い、順番はランダムとした。③の draw-in は【課題 1】に記載の通り、事前に超音波画像診断装置を用いて練習した。

①水平まで下肢を挙上する (通常条件)。

②骨盤が動かないように固定するように意識して下肢を水平まで挙上する(骨盤固定条件)。

③draw-in (腹横筋の単独収縮) をしながら下肢を水平まで挙上する(draw-in 条件)。

5)データ解析

挙上側大腿骨外側上顆のマーカの垂直方向の座標の値が、安静時平均 + 2SD を超えた時点を下肢挙上 onset, 下肢を下降し垂直方向の座標の値が下肢挙上 onset の値に戻った時点が挙上終了時間と定義した。

四つ這い下肢挙上時の下肢挙上 onset から同側の挙上終了時間までを解析区間とし、下肢挙上 onset から挙上終了時間までの筋活動データを RMS 値で算出した。四つ這い下肢挙上時の RMS 値は、MVIC 試技 5 秒間中の 1 秒間の RMS 値で除し、%MVIC 値として算出した。筋活動データ解析は第 2 章の通りである。

6)統計解析

利き手側および非利き手側の下肢挙上時間の筋活動量(%MVIC)を各筋間および 3 条件間で比較するため二元配置分散分析を行った (9 筋×3 条件)。事後検定は Bonferroni 法を用いた。二元配置分散分析の効果量として Partial η^2 を算出し、効果量の基準は【課題 1】と同様である。有意水準は 5%とした。

4. 結果

利き手側下肢挙上において、筋・条件に関する有意な交互作用を認めなかった ($F_{16,404}=0.79$, $P=0.697$, Partial $\eta^2=0.032$) が、条件間 ($F_{2,404}=3.115$, $P=0.046$, Partial $\eta^2=0.016$) および筋 ($F_{8,404}=23.096$, $P<0.001$, Partial $\eta^2=0.328$) では、それぞれ有意な主効果を認めた。draw-in 条件が通常条件に比べて有意に高値を示した(図 18)。

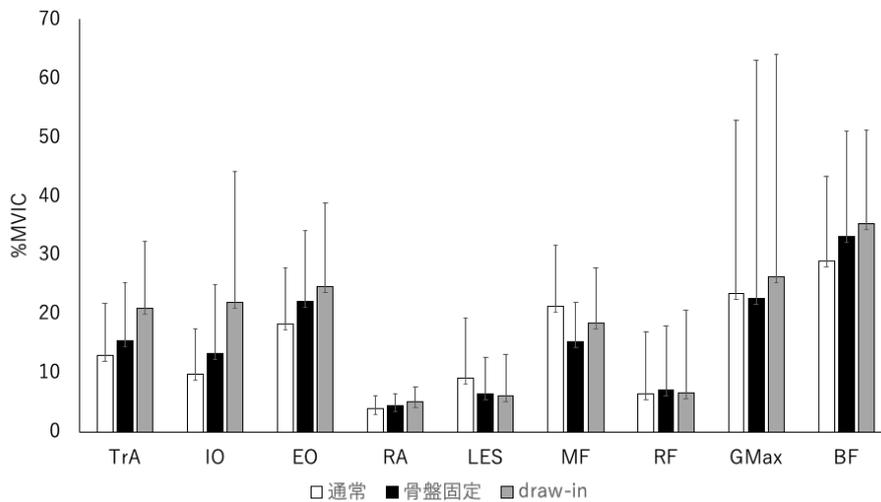


図 18. 利き手側下肢挙上時の条件間および筋間の筋活動比較

非利き手側下肢挙上において、筋・条件に関する有意な交互作用を認めなかった ($F_{16,404}=0.476$, $P=0.958$, Partial $\eta^2=0.020$) が、筋においては有意な主効果を認めた ($F_{8,404}=31.228$, $P<0.001$, Partial $\eta^2=0.398$) (図 19)。

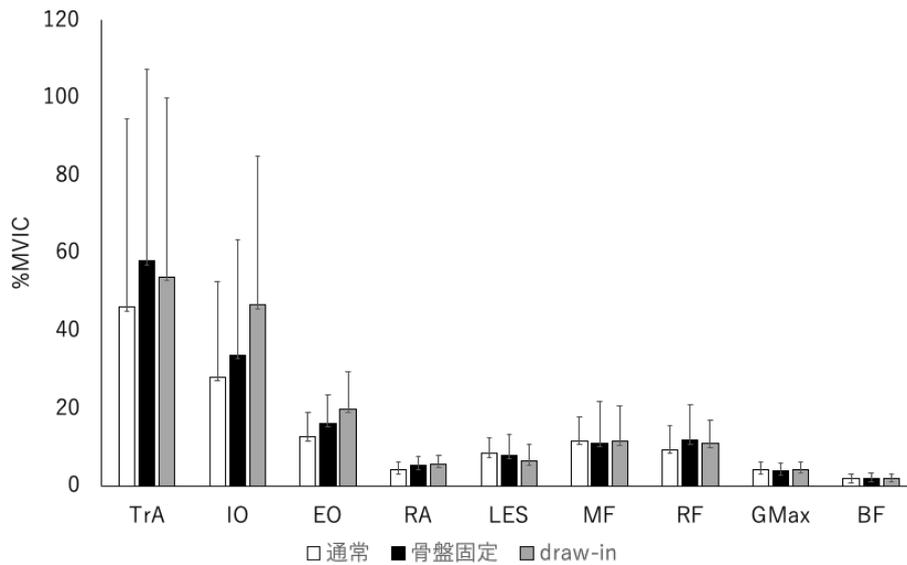


図 19. 非利き手側
下肢挙上時の条件
別の各筋の筋活動

5. 考察

MVIC60%以上の筋活動が得られたエクササイズは、その筋の筋力向上に寄与し、MVIC20%未満の筋活動が得られたエクササイズは、繰り返し収縮が起こればと仮定すると、その筋の筋持久力向上に寄与する可能性がある (Ekstrom, Donatelli, & Carp, 2007)。利き手側の下肢挙上時において normal 条件、骨盤固定条件に比べ draw-in 条件で高値であった。一方で%MVICとしては20%程度であり、筋力向上や筋肥大を目的としたエクササイズとしては適さず、繰り返すことで筋持久力の向上に寄与すると考えられる (Ekstrom et al., 2007)。非利き手側の下肢挙上において、draw-in 条件で筋活動量が大きかった。挙上下肢と対側の TrA は今回計測した筋の中で最も筋活動量の高い筋であった。%MVIC も平均 57.9 ± 49.4 であり、筋機能改善や筋力向上に適している (Reiman, Bolgla, & Loudon, 2012) (R. F. Escamilla et al., 2006) と考えられた。Bjerkeforsらは四つ這い下肢挙上で draw-in の指示の有無で TrA の筋活動量を比較した (Bjerkefors et al., 2010)。右下肢挙上では右側(約 15%MVIC)に比べて左側(約 30%MVIC)の TrA の筋活動量が高く、draw-in させることでさらに値は高くなった (右側約 30%MVIC, 左側約 45%MVIC)。

IO の活動量は draw-in 条件で最も高い値であった。四つ這い姿勢では、腹臥位と比較して EO よりも IO の活動量を得ることができる (Beith, Synnott, & Newman, 2001) とし、腹部を凹ませようとする draw-in 試技は四つ這い姿勢では抗重力位となり、IO の活動量が高まる可能性がある。

本指示の骨盤固定条件, draw-in 条件は注意の焦点を考慮すると (Chua, Jimenez-Diaz, Lewthwaite, Kim, & Wulf, 2021) internal focus に該当すると考えられる. internal focus は external focus に比べ, スポーツ動作などのパフォーマンスは低下したり (Stoate, 2011; Wulf, Dufek, Lozano, & Pettigrew, 2010), 反応時間が遅延したりする (Kovacs, Miles, & Baweja, 2018). その一方, 筋活動量 (Wulf et al., 2010) や筋肥大 (Schoenfeld et al., 2018) が得られ, 技術の未習熟者には適している (Perkins-Ceccato, Passmore, & Lee, 2003). また, 四つ這い姿勢での下肢挙上課題は, 関節負荷が低く, 本姿勢が腰部骨盤痛のリハビリテーションプログラムを開始する人に適切な選択であると考察されている (Callaghan et al., 1998). モーターコントロールエクササイズは, 脊椎を制御し支える筋肉の協調的かつ効率的な使用を回復することを目的とした運動である (Saragiotto, Maher, Yamato, Costa, Costa, et al., 2016). 患者はセラピストの指導のもと, まずは簡単な作業で筋を使う練習を行い, 患者のスキルが上がるにつれ, エクササイズは体幹や手足の筋を含むより複雑で機能的なタスクに進められる. リハビリテーションの場面では筋活動量を得ながら, 未習熟者に対するエクササイズとして四つ這い下肢挙上を行うことは理にかなっていると考えられる.

6. まとめ

四つ這い下肢挙上時の体幹筋の筋活動を条件を変えて比較した. 四つ這い下肢挙上は腰痛のリハビリテーションの開始時には効果的なエクササイズと考えられた.

第5章 【課題3】仙腸関節痛患者における ASLR 時の repositioning error の比較

1. 背景

腰下肢痛と固有感覚との関連性は議論されている。腰下肢痛のある患者における仙腸関節障害 (SIJD) の有病率は、10~38%と推定されている (Rupert, Lee, Manchikanti, Datta, & Cohen, 2009)。SIJD の約 80% は後仙腸靭帯、約 20% は関節腔の関与が明らかにされている (Murakami, Kurosawa, & Aizawa, 2018b)。下肢と体幹の荷重伝達に重要な役割を果たす SIJ は強固な靭帯に覆われている。さらに SIJ には固有受容器が存在し (Vilensky et al., 2002)、SIJ の安定性は SIJ 後方靭帯にあるパチニ小体の影響を受けた神経筋メカニズムによって微調整されていると Hogervorst らは推測している (Hogervorst & Brand, 1998)。一方でこれらの固有受容感覚が障害された場合、運動制御が適切に行われず可能性がある。これらは後方靭帯に過剰なストレスを与え疼痛の原因となる。SIJD と固有感覚との関連を調査することは重要である。

腰痛 (LBP) 患者の固有感覚を評価した研究は多くあるが、SIJD 例の固有感覚を評価した研究は存在しない。固有感覚は関節位置覚 (joint position sense : JPS) を測定することで評価する。体幹の固有感覚は、LBP 患者では低下している。LBP 患者と健常対照者の JPS を比較したシステムティックレビューでは、LBP 患者は対照群に比べて腰部の固有感覚を有意に低下していると結論付けた (Tong et al., 2017)。Sheeran らは、非特異的慢性腰痛 (NSCLBP) を自動伸展パターンと屈曲パターンのサブグループに分類し、腰部の JPS を NSCLBP 患者と健常者とを比較検討した (Sheeran, Sparkes, Caterson, Busse-Morris, & van Deursen, 2012)。NSCLBP 患者は、サブグループの分類に関わらず、健常者群に比べ有意に大きな repositioning error (RE) を示し、誤差の方向にもサブグループ差が検出された。O'Sullivan らは屈曲パターンを示す NSCLBP 患者の腰部の JPS を評価し、NSCLBP 群では有意に大きな RE を認めた (K. O'Sullivan et al., 2013)。膝関節疾患では、症状側と非症状側との差が検討された。前十字靭帯損傷患者に関するシステムティックレビューでは、前十字靭帯損傷をした膝関節は、非損傷膝関節や対照群と比較して、膝関節固有感覚に障害がある可能性があるとして結論づけている (Relph, Herrington, & Tyson, 2014)。RE はサブグループや病態によって特徴があり、片側罹患例では症状側と非症状側で異なる可能性がある。

2. 目的

本研究の目的は SIJD 患者の RE を LBP 群および HC 群と比較し、さらに症状側と非症状側との差を検討することであった。

3. 方法

1) 対象

本研究は、横断的観察研究である。本研究の対象者は 66 例 132 肢で、片側 SIJD 患者(SIJD 群)、LBP 患者(LBP 群)、健常対照者(healthy control : HC 群)それぞれ 22 例 66 肢であった。本研究のサンプルサイズは、検出力分析プログラム (G*Power version 3.1.9.2, Franz Faul, Germany) を用いて算出した。効果量 Effect size $f = 0.4$, $\alpha = 0.05$, 検出力 Power=0.8 (J. Cohen, 1992)で計算するとサンプルサイズは 66 であり各群 22 例が必要であった。SIJD の取り込み基準は、(1)16 歳から 70 歳までの腰臀部痛を訴えた症例で、(2)罹患歴が 3 ヶ月以上あり、(3)後上腸骨棘への one point sign を示し(Murakami et al., 2018b)、(4)SIJ への局所麻酔薬のブロック注射によって疼痛が 70%以上軽減した者とした。LBP 群は、整形外科を受診し(1)肋骨の最下端と殿溝の間の領域に疼痛を訴える患者で(Hagen, Jamtvedt, Hilde, & Winnem, 2005)(2)罹患歴が 3 ヶ月以上あり、(3)下肢症状や神経学的兆候がない者とした。いずれも除外基準は、骨盤帯の高度な変形がある者、妊娠している者とし、1 名の整形外科医が診断を行った。SIJD 群および LBP 群の全員が、疼痛 (NRS) , 機能障害(Oswestry Disability Index ; ODI) (図 20) (Fairbank, Couper, Davies, & O'Brien, 1980), (Roland-Morris Disability Questionnaire ; RMDQ) (ROLAND & MORRIS, 1983) (図 21) の評価を行った。HC 群は、(1)少なくとも 1 年以内に下肢および体幹に整形学的既往歴および手術歴のない者、(2)実験時に腰痛がない者、(3)妊娠中でない者と定義された。ヘルシンキ宣言に基づき、本研究に参加する各個人からインフォームドコンセントを取得した。本研究は、早稲田大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。(承認番号: 2021-029)

これらは、腰の痛み(あるいは足の痛み)が、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○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、他のひとに助けられている。
- 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、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、1 Km 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、好きなだけ座ってられる。
- 1. 座りごちの良いいすであれば、いつまでも座ってられる。
- 2. 痛みのため、1 時間以上は座ってられない。
- 3. 痛みのため、30 分以上は座ってられない。
- 4. 痛みのため、10 分以上は座ってられない。
- 5. 痛みのため、座ることができない。

図 20. Oswestry Disability Index (ODI) 設問 1~5

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時間以上は立ってられない。
- 3. 痛みのため、30分以上は立ってられない。
- 4. 痛みのため、10分以上は立ってられない。
- 5. 痛みのため、立ってられない。

7:睡眠

- 0. 痛くて目をさますことはない。
- 1. とくどき、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. 性生活はいつでもおりで、痛みはない。
- 1. 性生活はいつでもおりだが、痛みがでる。
- 2. 性生活はほぼいつでもおりだが、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時間以上は乗ってられない。
- 4. 痛みのため、30分以上は乗ってられない。
- 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。

図 20. Oswestry Disability Index (ODI) 続き

腰が痛い、ふだんやっていることがなかなかできなくなることがあります。以下の項目は、腰が痛いときに起こることを表したものです。この中に、あなたの「今日」の状態にあてはまるものがあるかもしれません。項目を読みながら、今日のあなたの状態を考えてみてください。あなたの状態にあてはまる場合には「はい」に、あてはまらない場合には「いいえ」に○をつけて下さい。

1	腰痛のため、大半の時間、家にいる	はい	いいえ
2	腰痛を和らげるために、何回も姿勢を変える	はい	いいえ
3	腰痛のため、いつもよりゆっくり歩く	はい	いいえ
4	腰痛のため、ふだんしている家の仕事を全くしていない	はい	いいえ
5	腰痛のため、手すりを使って階段を上る	はい	いいえ
6	腰痛のため、いつもより横になって休むことが多い	はい	いいえ
7	腰痛のため、何かにつかまらなると、安楽椅子(体を預けて楽に座れる椅子、深く腰掛けた姿勢)から立ち上がれない	はい	いいえ
8	腰痛のため、人に何かしてもらおうよう頼むことがある	はい	いいえ
9	腰痛のため、服を着るのにいつもより時間がかかる	はい	いいえ
10	腰痛のため、短時間しか立たないようにしている	はい	いいえ
11	腰痛のため、腰を曲げたりひざまずいたりしないようにしている	はい	いいえ
12	腰痛のため、椅子からなかなか立ち上がれない	はい	いいえ
13	ほとんどいつも腰が痛い	はい	いいえ
14	腰痛のため、寝返りがうちにくい	はい	いいえ
15	腰痛のため、あまり食欲がない	はい	いいえ
16	腰痛のため、靴下やストッキングをはくとき苦労する	はい	いいえ
17	腰痛のため、短い距離しか歩かないようにしている	はい	いいえ
18	腰痛のため、あまりよく眠れない(痛みのために睡眠薬を飲んでいる場合は「はい」を選択して下さい)	はい	いいえ
19	腰痛のため、服を着るのを誰かに手伝ってもらう	はい	いいえ
20	腰痛のため、一日の大半を、座って過ごす	はい	いいえ
21	腰痛のため、家の仕事をするとき力仕事をしないようにしている	はい	いいえ
22	腰痛のため、いつもより人に対していらいらしたり腹が立ったりする	はい	いいえ
23	腰痛のため、いつもよりゆっくり階段を上る	はい	いいえ
24	腰痛のため、大半の時間、ベッド(布団)の中にいる	はい	いいえ

図 21. Roland-Morris Disability Questionnaire (RMDQ)

2)方法

全例に対して先行研究(Jo et al., 2016; Reddy et al., 2022) を参考にして active straight leg raising repositioning test (ASLR-Rt) を行った (図 22) . ASLR-Rt では対象者は閉眼し仰臥位となった. ASLR 時の挙上側外果と大転子を結んだ線と床面とがなす角度を ASLR 角度とした. 検者はゴニオメーターで計測し他動的に対象者の下肢を 45° 挙上した. 対象者は挙上位で下肢を保持し, 下肢の位置を記憶した. 記憶した角度を目標とし, ASLR を左右それぞれ 3 回行った. 左右の順はランダムに実施した. 目標角度と 3 回の挙上時の計 4 回を対象者から 2m 離れ, 高さ 30cm の位置に設置したカメラ(Nikon D5300, 東京, 日本)で撮影しそれぞれ角度を計測した.

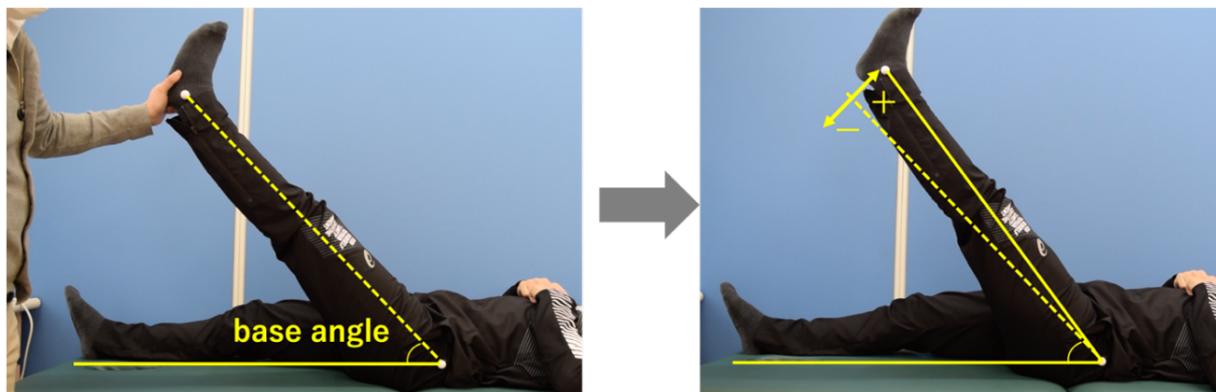


図 22. Active straight leg-raising repositioning test (ASLR-Rt)

3)データ解析

計測は Image J (U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) を用いて行い, 目標角度および 3 回の試技の合計 4 回の ASLR 角を計測した. 1 名の検者がすべての解析を行った. RE は, 目標位置と対象者が目標位置に合わせようとしたときの差として算出された. RE は定数誤差 (constant error : CE) , 絶対誤差 (absolute error : AE) として表された. CE は目標値を上回った場合を正, 下回った場合を負の値で示した(P. B. O'Sullivan et al., 2003). AE は目標値との差を絶対値で示した(Brumagne, Cordo, Lysens, Verschueren, & Swinnen, 2000) . いずれも 3 回の試技の CE, AE の平均値を算出した.

NRS は 1 週間に感じた疼痛の強さを 0-10 の数字で示した. ODI は合計の得点を満点の 50 点で除して%表示した. 回答が得られなかった項目に関しては合計から引いて算出した. RMDQ は 24 点を満点とした.

4)統計解析

各群間の年齢の比較には Kruskal-Wallis 検定を行った。各群間の CE, AE を比較するために Kruskal-Wallis 検定および事後検定に Mann-Whitney U-検定を用い Bonferroni 法で補正した。SIJD 群の症状側・非症状側を比較するために、CE, AE において welch の t 検定を行った。Cohen' d は各群間および症状側・非症状側の比較の効果量として表され、その基準は【課題 1】の通りである。有意水準は 5%とした。SIJD 群の NRS, ODI, RMDQ と CE, AE との関連を評価するために相関係数を算出した。SIJD 群における CE, AE と NRS, ODI, RMDQ の指標との関係は、Spearman の順位相関係数 (rs) を用いて評価された。0.3 < rs を相関関係ありと判断した。いずれも有意水準は 5%とした。

4. 結果

SIJD 群は男性 8 名、女性 14 名、平均年齢 37.7 ± 16.2 歳 (平均 ± SD), LBP 群は男性 10 名、女性 12 名、平均年齢 39.9 ± 16.1 歳、HC 群は男性 9 名、女性 13 名、平均年齢 39.8 ± 13.8 歳であった (表 4)。3 群間に年齢の差を認めなかった。機能障害の程度も SIJD 群と LBP 群間に有意な差はなかった。

表 4. SIJD 群, LBP 群, HC 群の臨床的特徴

	SIJD	LBP	HC	P-value
年齢	37.7 ± 16.2	39.9 ± 16.1	39.8 ± 13.8	0.859
性 (男/女)	8/14	10/12	9/13	
NRS (/10)	6.2 ± 1.8	5.9 ± 1.7	—	0.228
ODI (/100%)	27.0 ± 15.5	24.9 ± 9.8	—	0.646
RMDQ (/24)	8.9 ± 5.3	7.5 ± 3.7	—	0.258

SIJD: sacroiliac joint disease, LBP: low back pain, HC: healthy controls, NRS: numerical rating scale, ODI: Oswestry disability index, RMDQ: Roland Morris disability questionnaire

SIJD 群の CE (中央値 [四分位範囲]) (6.9 [4.6-10.4]) は、LBP 群 (3.2 [1.3-7.1]) および HC 群 (2.7 [0.3-4.6]) より有意に高かった (P = 0.009, d = 0.91, P < 0.001, d = 1.30) (図 23)。SIJD 群の AE (7.3 [5.0-10.4]) も LBP 群 (3.7 [2.8-7.1]) および HC 群 (3.0 [1.9-4.2]) より有意に高かった (P = 0.003, d = 1.04; P = 0.001, d = 1.57)。SIJD 群の症状側

と非症状側を比較すると、症状側の CE (8.0 [6.0-10.6]) は非症状側 (5.7 [3.6-8.1]) より有意に高かった (P = 0.050, d = 0.51) (図 24). CE・AE と NRS・ODI・RMDQ スコアには相関関係は認められなかった (表 5) .

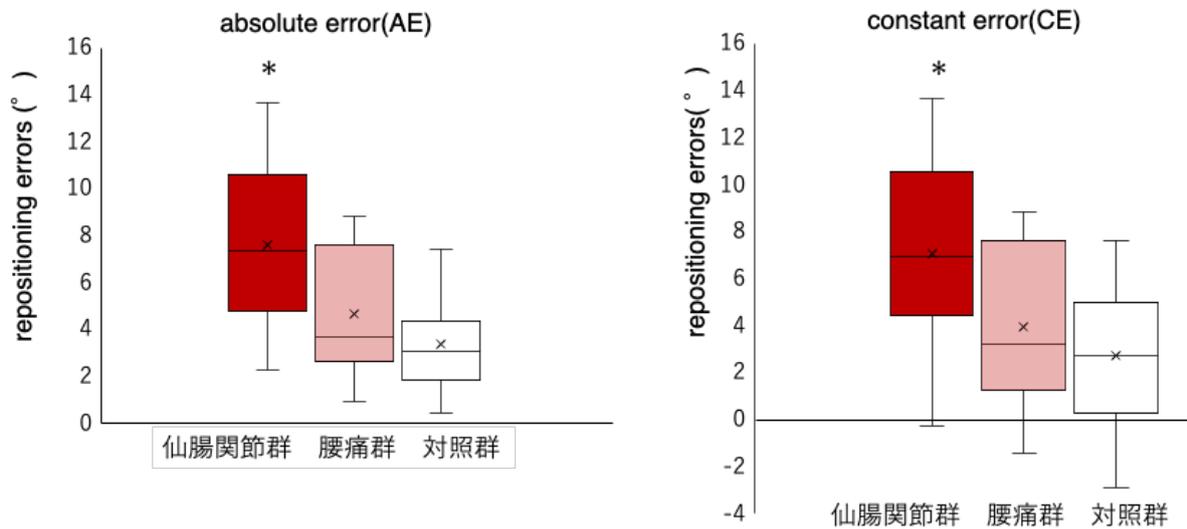


図 23. repositioning error の 3 群間比較

* P < 0.05 vs 腰痛群, vs 対照群

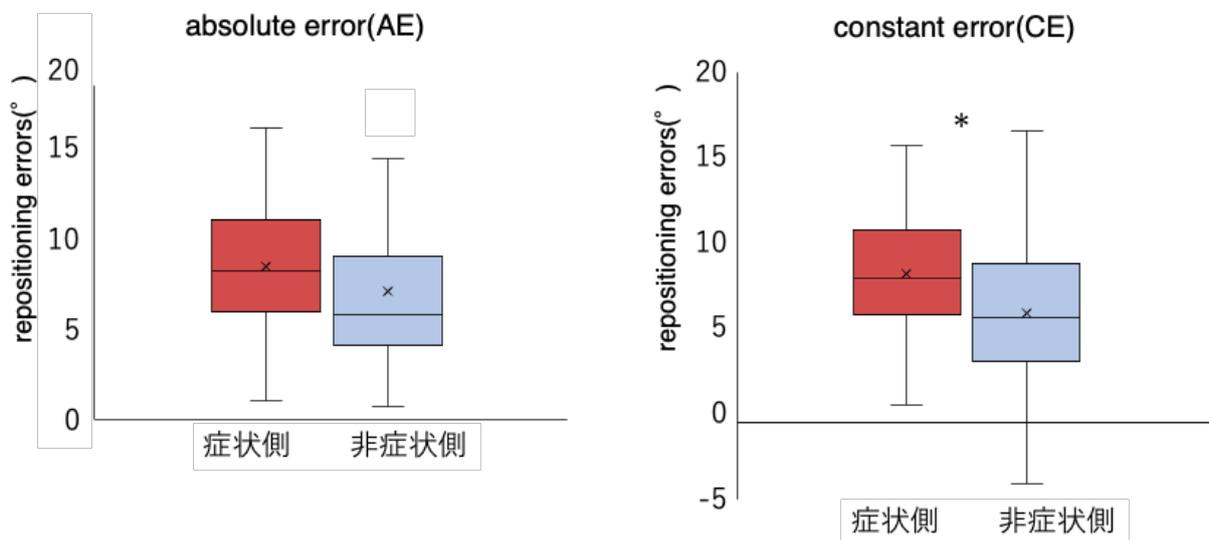


図 24. SIJD 群における症状側と非症状側での repositioning error の差

* P < 0.05

表 5. RE と NRS, ODI, RMDQ との相関関係

	constant error (CE)		absolute error (AE)	
	rs	P	rs	P
NRS	-0.211	0.347	-0.143	0.526
ODI	0.063	0.781	0.089	0.694
RMDQ	-0.408	0.059	-0.371	0.089

RE: repositioning error, NRS: numerical rating scale, ODI: Oswestry disability index, RMDQ: Roland Morris disability questionnaire

5. 考察

本研究の目的は、SIJD 患者の固有感覚を評価することであった。本研究は SIJD 患者の位置覚を評価した初めての研究である。SIJ に疼痛を有するものは ASLR の位置覚が LBP 群、HC 群に比べ低下していた。SIJD 群において症状側と非症状側を比較すると症状側の位置覚が低下していた。RE と疼痛や機能障害との関連は小さかった。

本研究では、SIJD 群は LBP 群および HC 群に比べ、大きい RE を有していた。SIJ は腹側の関節部分と背側の靭帯部分で構成される。SIJ を構成する関節包と後仙腸靭帯には、固有受容器が存在することが報告されている (Vilensky et al., 2002)。SIJD の病態の 80%以上が靭帯部分に由来していることから (Murakami et al., 2018b)、SIJD においても固有受容器が影響を受けていると考えられる。これらの要因が、SIJD 群で観察された有意に大きい RE に寄与していると思われる。

SIJD 群では、症状側の RE が非症状側より大きかった。本研究では、ASLR (J. M. Mens et al., 1999) を用いて位置覚を評価した。ASLR test は下肢を床から 20cm 挙上したときの不安定性と痛みを評価する。Mens らは、骨盤帯痛 (PGP) の患者では、ASLR 時に症状側で腸骨稜の前方回旋が見られるが、非症状側では見られないと報告している (J. M. Mens et al., 1999)。SIJD 群では、運動制御の変化が見られた (Capobianco et al., 2018) (P. B. O'Sullivan et al., 2002)。本実験において、SIJD 群の固有感覚と運動制御機能が損なわれていたと考えられる。これらは、ASLR-Rt において、SIJD 群の RE が高いことを説明する可能性がある。

仙腸関節障害を評価する方法に active straight leg raising (ASLR) があり (J. M. Mens et al., 1999), 様々な視点から用いられている。仙腸関節痛患者と健常者に対して ASLR を行った研究では, 仙腸関節痛を有する被験者では, ASLR における横隔膜と骨盤底の運動学的変化を報告している (P. B. O'Sullivan et al., 2002)。ASLR 中の腹横筋活動をグローインペインの有無で比較し, 有訴者において股関節屈筋よりも腹横筋が遅れて活動開始した (Cowan et al., 2004)。骨盤帯痛 (PGP) が持続している女性と健常女性を対象に, ASLR 時の骨盤帯筋と腹筋群における pre-activation と自動収縮を調査した実験では, 健常女性の 91% が ASLR 時に骨盤底筋の pre-activation が生じていたが, PGP のある女性では 36% にとどまった (Sjödahl, Gutke, Ghaffari, Strömberg, & Öberg, 2016)。片側慢性 PGP の被験者は, 患側 ASLR を行う際に bracing モーターコントロール戦略を採用し, それに伴い腹腔内圧の上昇と骨盤底筋の下降を生じる (Beales, O'Sullivan, & Briffa, 2009)。仙腸関節障害患者では, 運動時に筋活動パターンやモーターコントロールが変化する。

RE と疼痛および機能障害との関連は小さかった。臨床症状と RE に相関がなかった理由として, 本テストは骨盤輪の不安定性によっても下肢の位置覚異常を生じている可能性がある。O'Sullivan ら (K. O'Sullivan et al., 2013) は RE と疼痛 (NRS), 機能障害 (ODI), 恐怖-回避 (FABQ), 運動恐怖 (Tampa Scale) の指標との相関の強さは全体としてあまり強くなく, RE と非特異的腰痛には他の要因が関与している可能性が高いと述べている。今回の SIJD 群に関しては, "骨盤輪の不安定性" が関与しているかもしれない。SIJD (骨盤帯痛) の症例は ASLR 時の骨盤輪の不安定性があり (J. M. Mens et al., 1999), ASLR Rt の RE の大きさは SIJ 部の固有感覚と骨盤輪の不安定性を反映する可能性がある。

6. まとめ

片側仙腸関節障害患者の ASLR 時の repositioning error は, 腰痛患者および健常対照群に比べて大きい値だった。仙腸関節後方部の固有感覚の障害ならびに体幹のモーターコントロール機能の低下の関与が考えられた。

第6章 腰痛の病態分類とその治療

1. 【課題 4-1】整形外科を受診し運動療法を処方した症例の診断名とその基準

1. 背景

腰痛(LBP)の85%は原因不明であり、非特異的腰痛である(Deyo, Rainville, & Kent, 1992)と報告されてから四半世紀以上が経過し、医療の進歩とともに原因は明らかになりつつある。日本の整形外科医がLBPの原因を詳細に調査した研究がある(Suzuki et al., 2016)。LBP患者320名の原因の内訳は、椎間関節障害(68名, 21%)、筋膜性腰痛(56名, 18%)、椎間板性腰痛(40名, 13%)、腰部脊柱管狭窄症(35名, 11%)、腰椎椎間板ヘルニア(22名, 7%)、仙腸関節障害(18名, 6%)となっており、75%以上の患者が診断可能で診断不明の「非特異的腰痛」は22%であった。本邦では医師のもと、まず危険信号(red flags)を有し、重篤な脊椎疾患の可能性のある腰痛を診断することが勧められる(日本整形外科学会, 2019)。その後、様々な方法を用いて病態を分類する報告が散見される(成田崇矢, 金岡恒治, 2017)(Hahne et al., 2011)。このように腰痛を評価し病態を分類することは、病態に応じた治療展開を可能とし、治療成績の向上に繋がると考えられる。

2. 目的

腰臀部痛および下肢痛を主訴とする患者に対して、脊椎所見や圧痛所見、画像所見やブロック注射等を用いて病態を分類すること。

3. 方法

1)対象

2021年5月から2022年8月までに腰臀部痛および下肢痛を主訴とし、整形外科病院および大学内の診療機関を受診した150名(44±22歳, 男性69名, 女性81名)である。椎間板ヘルニア、椎間板性腰痛、腰椎分離症、椎間関節障害、棘突起接触症、脊柱起立筋付着部障害、仙腸関節障害、筋筋膜性腰痛に下記の基準をもとに分類した。画像所見、整形外科的テスト、機能的評価、圧痛所見を組み合わせることで病態を推定し、必要に応じてブロック注射を用いて確定診断を行った。腰椎圧迫骨折、脊柱管狭窄症、腰椎すべり症は含まれていない。本研究は、早稲田大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。(承認番号: 2021-029)

2)各疾患の診断アルゴリズム (図 25)

腰椎椎間板ヘルニア：体幹屈曲時または伸展時にデルマトームに沿った腰下肢痛を生じ，表在感覚または下肢筋力の低下を認める．SLR test と Bragard test で tension sign が陽性となり，MRI で髄核の脱出が確認され，臨床症状と画像所見が一致する場合を椎間板ヘルニアと診断した．

椎間板性腰痛：主に体幹屈曲時痛に腰痛が再現され，下肢痛や神経学的所見は認められない．病変部の棘突起を強く押圧することで椎間板にストレスが加わり，腰痛が再現される．背臥位で両下肢を抱えた際にも同様である．MRI にて椎間板変性や線維輪に白く描出される high signal intensity zone(HIZ)が確認されれば椎間板性腰痛と診断した．

腰椎分離症：体幹伸展時や回旋時に片側もしくは両側の腰痛を訴え，下肢痛や神経学的所見はほとんど認められない．責任椎体の棘突起を強く押圧することで分離部にストレスが加わり，腰痛が再現される．急性期であればMRI にて椎弓部に輝度変化を認め，急性期以降であればCT で分離像が描出される．スポーツを行っている若年者に多い．

椎間関節障害：体幹伸展時や回旋時に片側もしくは両側の腰痛を訴え，鼠径部や大腿外側，大腿後面部に疼痛が放散することがある．棘突起から1-2横指外側部の椎間関節部の圧痛を認め，Kemp 手技で症状側に側屈・伸展させた際に腰痛が再現されることが多い．必要に応じて椎間関節ブロックを用いて確定診断を行った．

棘突起接触症：体幹伸展時に主に正中部の限局した腰痛を訴える．神経学的所見は認めない．

Kemp 手技で疼痛が再現されることがあるが，体幹伸展時の疼痛が最も強い．腰椎棘突起間の限局的な圧痛を認め，主訴と一致し，棘突起間にブロック注射を行うことで疼痛が軽減ないし消失する．スポーツを行っている若年者に多く，理学所見や主訴が腰椎分離症と類似しており，疼痛部位の触診が重要である．

脊柱起立筋付着部障害：体幹伸展時または屈曲時に腸骨稜部の腰痛を訴える．神経学的所見は認められない．脊柱起立筋の収縮または伸張を伴う Kemp 手技によって腰痛が再現される．腹臥位で股関節を伸展させる prone hip extension test (PHE test) (図 26)で同側の疼痛が再現されることが多い．圧痛を脊柱起立筋の腸骨稜付着部に認め，必要に応じて同部へのブロック注射を行った．

仙腸関節障害；one finger test(図 27)が陽性で疼痛を仙腸関節部さらには鼠径部，大腿後面，下
 腿外側などデルマトームに沿わない部位に訴える。体幹屈曲または伸展動作，仙腸関節ストレ
 テスト（Gaenslen test, Patric test, Newton test, P4 test,）(図 28)で疼痛の再現，ASLR test で下
 肢の挙上困難感などを訴える，仙腸関節部を用手固定したり，仙骨・腸骨の動きを誘導・制動し
 たりすることで症状の軽減・増悪を評価した。圧痛を仙腸関節部に認め，ブロック注射を仙腸関
 節後方靭帯領域に施行し，疼痛の軽減が得られた場合に確定診断した。

筋筋膜性腰痛：体幹屈曲時または伸展時に背筋群の筋実質部に疼痛を訴える。同部位の圧痛と主
 訴が一致した場合，本症と推定した。

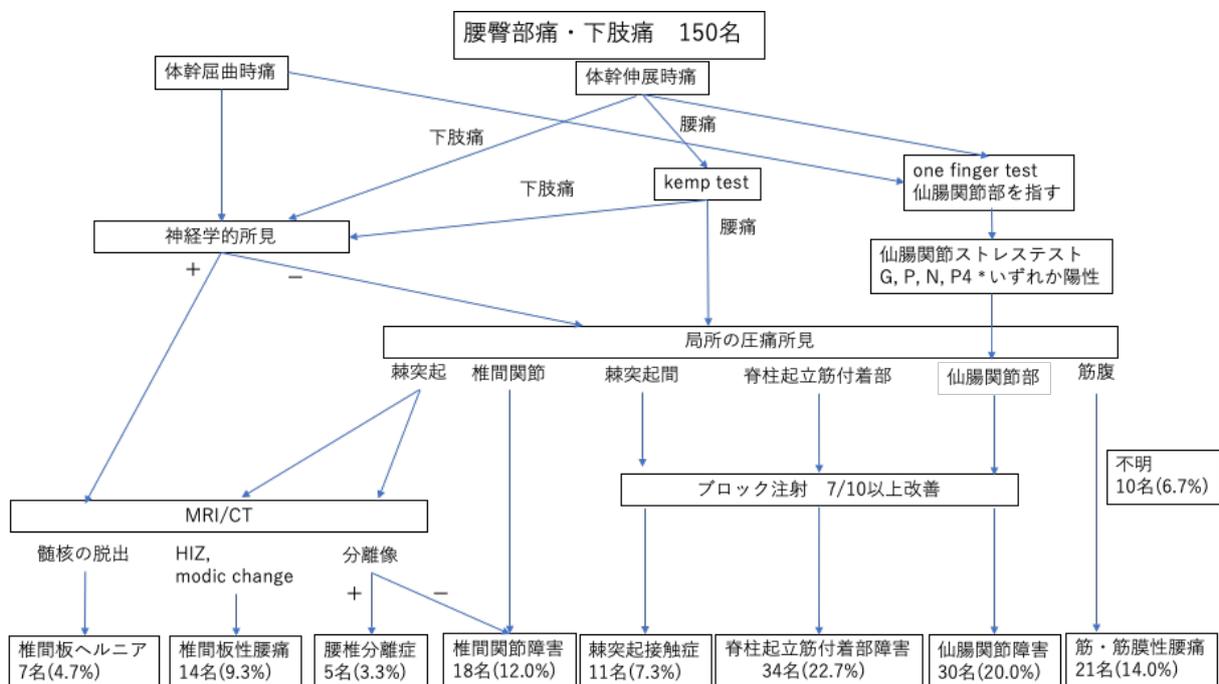


図 25. 腰臀部痛および下肢痛疾患の診断アルゴリズム

* G; Gaenslen test, P; Patric test, N; Newton test 変法, P4; P4 test,



図 26. Prone Hip Extension



図 27. One finger test



Newton test 変法



Patric test



P4 test (Thigh thrust test)



Gaenslen test

図 28. 仙腸関節ストレステスト

4. 結果

上記の基準を用いて、腰臀部痛および下肢痛を主訴とし、一般整形外科病院および大学内の診療機関を受診した150名の病態を推定ならびに確定診断を行った。脊柱起立筋付着部障害 34名 22.7%、仙腸関節障害 30名 20.0%、筋筋膜性腰痛 21名 14.0%、椎間関節障害 18名 12.0%、椎間板性腰痛 14名 9.3%、棘突起接触症 11名 7.3%、腰椎椎間板ヘルニア 7名 4.7%、腰椎分離症 5名 3.3%、不明 10名 6.7%であった(図29)。

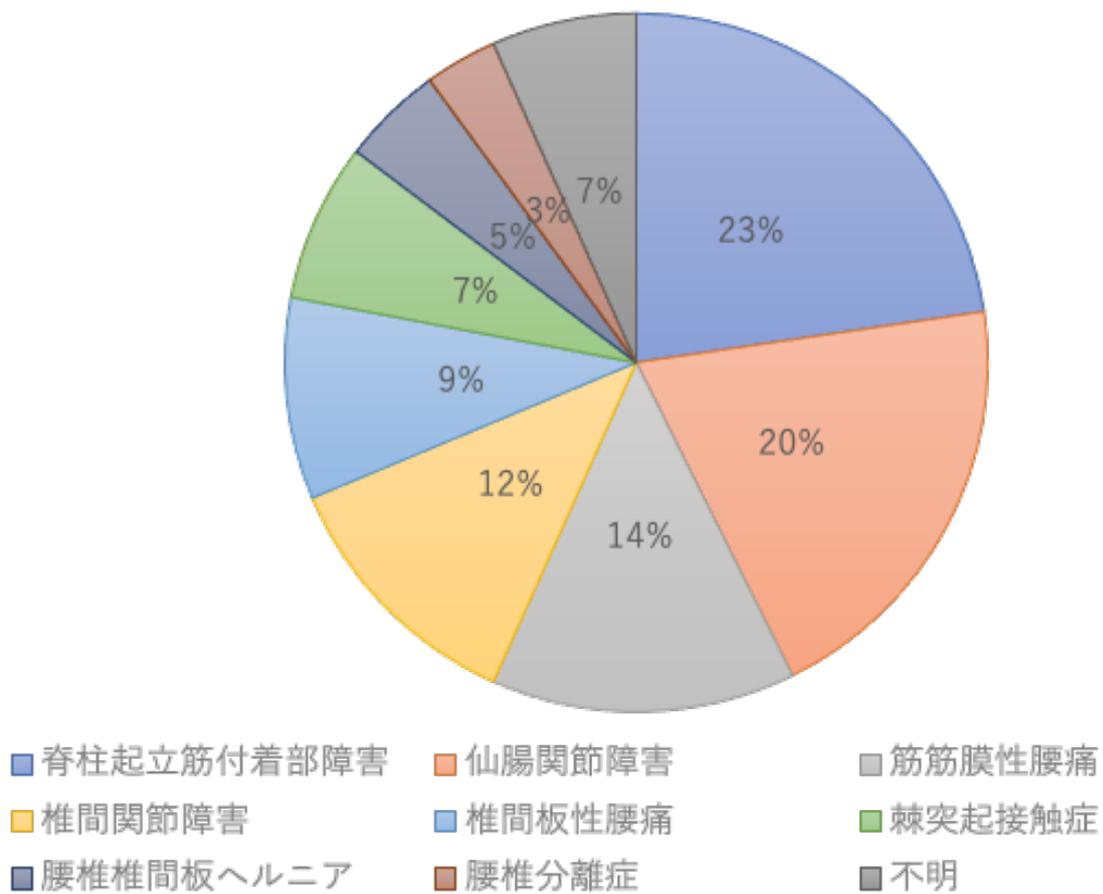


図29. 腰臀部痛・下肢痛 150名の内訳

5. 考察

150名の腰臀部痛・下肢痛の病態分類を行った。本研究では、これまでの報告にはあまり含まれない棘突起接触症、脊柱起立筋付着部障害の2つの病態を追加して推定した。

棘突起接触症は kissing spine として知られているが、疫学に関する研究はなく、症例報告が多い(Farinha, Raíno, Cunha, & Barcelos, 2015) (Ali, Jacobs, Gandhi, & Brooks, 2022)。見逃されることも多く、腰痛の一要因であることを認識するように啓蒙する論文も散見される(Ali et al., 2022) (Filippiadis et al., 2015)。加齢に伴って起こる退行性変化による腰痛と考えられている一方で、アスリートに発症するという報告もある(Jang, Song, Lee, Kim, & Yang, 2010)。本研究では棘突起接触症の全例が10代および20代のスポーツを行う症例であった。若年者が体幹伸展時に腰痛を訴える本症は腰椎分離症と誤認する可能性もあり、丁寧な所見をとることが求められる。150例中11例(7.3%)と多い数字ではないが、腰痛の一要因として認識するべきであると考ええる。

脊柱起立筋付着部障害は老若男女問わずありふれた病態であり、今回の150名の中では最も多かった。腸骨稜部の疼痛の一つに脊柱起立筋付着部に生じる病態があると考えられる。体幹伸展時または屈曲時に腸骨稜部の腰痛を訴え、脊柱起立筋の収縮または伸張を伴う Kemp 手技によって腰痛が再現される。PHE test で同側の疼痛が再現され、圧痛を脊柱起立筋の腸骨稜付着部に限局的に認める。Liu らは後上腸骨棘(PSIS)部の脊柱起立筋付着部の疼痛を訴える36歳女性の一例報告をしている(Liu, Mathieu, Chang, & Hsiao, 2022)。腰椎の運動で疼痛はなかったが、長時間座位や立ち上がりでの疼痛を主訴とし、脊柱起立筋付着部障害の典型的な超音波画像所見(局所的な水腫による低エコー像)と、非特異的腰痛におけるその潜在性を示した。Ricci も1例の症例報告で、2年間におよぶ慢性腰痛を訴える40歳代の女性の例を報告した(Ricci & Özçakar, 2019)。局所的な圧痛と体幹側屈による伸張時痛、体幹伸展時痛を訴えた。脊柱起立筋に代表されるアウターマッスルの過剰な収縮および伸張は、自動運動や対側への側屈動作で生じる。腰痛患者においては、腰部の運動の際に脊柱起立筋の過剰な収縮が生じ(Neblett, Brede, Mayer, & Gatchel, 2013)、疼痛が増悪すると考えられる。詳細な身体所見は課題4-2で述べる。

1979年に Hirschberg が片側の腸骨稜の疼痛を主訴とし、同部への局所注射によって一時的に消失する、所見と原因が不明である iliolumbar syndrome を報告した(Hirschberg, Froetscher, & Naeim, 1979)。1991年には iliac crest pain syndrome (ICPS)腸骨稜疼痛症候群として報告され(Collée, Dijkmans, Vandenbroucke, & Cats, 1991a)、3施設の合計で204名の腰痛患者の中80名(41%)に本症候群が認められたとした。腸骨稜疼痛症候群41名に対してリグノカインと生理食塩水の効果を比較する無作為化対照試験が、リウマチクリニックで行われた(Collée, Dijkmans, Vandenbroucke, & Cats, 1991b)。ベースラインと比較し、2週間後の疼痛はリグノカインで52%、生理食塩水で30%の患者が改善した。このようにこれまでも腸骨稜部の疼痛を主訴とする疾患の報告はあるが、今後詳細に検討していく必要がある。

6. まとめ

150名の腰臀部痛および下肢痛症例の病態を推察した。脊柱起立筋付着部障害34名22.7%、仙腸関節障害30名20.0%、筋筋膜性腰痛21名14.0%、椎間関節障害18名12.0%、椎間板性腰痛14名9.3%、棘突起接触症11名7.3%、腰椎椎間板ヘルニア7名4.7%、腰椎分離症5名3.3%、不明10名6.7%であった。

II 【課題 4-2】 脊柱起立筋付着部症患者への motor control exercise の効果

1. 背景

腰痛患者に対する治療には保存療法が広く一般的に用いられている。慢性腰痛患者の治療に関する各国のガイドラインをまとめたレビューでは、NSAIDs や抗うつ薬の使用、運動療法、心理社会的介入を推奨している(Oliveira et al., 2018)。これらの中でも、運動療法は特に有効であることが示されている(Maher et al., 2017)。徒手療法も腰痛治療において有益であるが、エクササイズは徒手療法よりも効果的である可能性があることが Network meta-analysis によって報告された(Owen et al., 2020)。腰痛の治療に対しては、運動療法が有効であると考えられる。腰痛に対する運動療法にはヨガ(Zhu et al., 2020)、ピラティス(Yamato et al., 2015) (Yamato et al., 2016)、motor control exercise (MCEx)(Saragiotto, Maher, Yamato, Costa, Menezes Costa, et al., 2016)、スタビライゼーションエクササイズ(Coulombe et al., 2017)、ストレッチング(Hatefi, Babakhani, & Ashrafizadeh, 2021; Pourahmadi et al., 2019)、有酸素運動運動(Vanti et al., 2019)などが挙げられる。一方で、これらの方法の中である特定の方法が腰痛に対して効果的であるといった結論は得られておらず、いずれも一定の効果を示す(Grooten et al., 2022; Malfliet et al., 2019; Owen et al., 2020)。費用や嗜好、能力（実施可能かどうか）の点で対象者および治療者に選択が委ねられているのが現状である。

腰痛を訴える症例の中に、脊柱起立筋付着部症と考えられる病態が散見される。課題 4-1 では腰臀部痛・下肢痛を訴えた 150 名中 34 名(22.7%)が脊柱起立筋付着部症と推定された。脊柱所見、圧痛、ブロック注射によって病態を推察し、3 章および 4 章で検証した MCEx を症例に施行し、治療効果を検証した。

2. 目的

本研究の目的は脊柱起立筋付着部症の臨床所見を明らかにすることに加え、症状を有する症例に対し、MCEx を指導し、その効果を検討することである。

3. 方法

1) 対象

本研究はシングルアーム研究である。対象は3ヶ月以上におよぶ腰臀部痛を主訴に整形外科を受診し、初診時に腸骨稜の脊柱起立筋付着部に限局した圧痛、動作時痛を認めた33名（平均年齢54.2歳、男性17名、女性16名）であった。疼痛が強く、希望した者には消炎鎮痛剤または外用消炎鎮痛薬を処方した。ヘルシンキ宣言に基づき、本研究に参加する各個人に口頭で説明をした。本研究は、早稲田大学倫理審査委員会の承認を得て実施した。（承認番号: 2021-029）

2) 評価および介入内容

初診時には既往歴を聴取、問診、NRS、理学所見の評価を行い、ODI, RMDQの腰痛質問紙に回答し、その後にMCExを約20分間指導した。

問診内容は、利き手、疼痛側および部位、疼痛出現肢位であった。理学所見は立位での腰椎屈伸時痛の有無、Kempテスト、Prone Hip Extensionテスト(PHEテスト)、腰椎屈伸時痛およびPHEテストで陽性であった場合は、draw-inさせることでそれらの疼痛の軽減の有無を確認した。PHEテストもしくは前後屈での疼痛を0-10の10としてdraw-inしながら行った際の疼痛の変化量を評価した。初診時にNRSおよび腰痛質問紙Roland-Morris Disability Questionnaire(RMDQ), Oswestry Disability Index(ODI)を評価した。

MCExは腹横筋の単独収縮(draw-in)、draw-in下での自動下肢伸展挙上(ASLR)、四つ這い下肢挙上を指導し、自宅で5~10回1セットを毎日行うように指示した(図30)。初診時に理学療法士が運動指導を行い、1ヶ月後に再度運動の確認と指導を行った。NRSおよびODI, RMDQは1ヶ月後、3ヶ月後に再評価した。1ヶ月後、3ヶ月後に運動の実施頻度を自己申告した。1週間毎日実施した場合を100%として20%を下回った場合を運動未実施と判断し、解析対象から除外した。来院が困難な症例にはNRSおよび質問紙の内容を電話で聴取した(Martin, Yaszemski, Ledonio, Barrack, & Polly, 2019)。NRSは1週間に感じた疼痛の強さを0-10の数字で回答した。ODIは合計の得点を満点の50点で除して%表示した。回答が得られなかった項目に関しては合計から引いて算出した。RMDQは24点を満点とした。

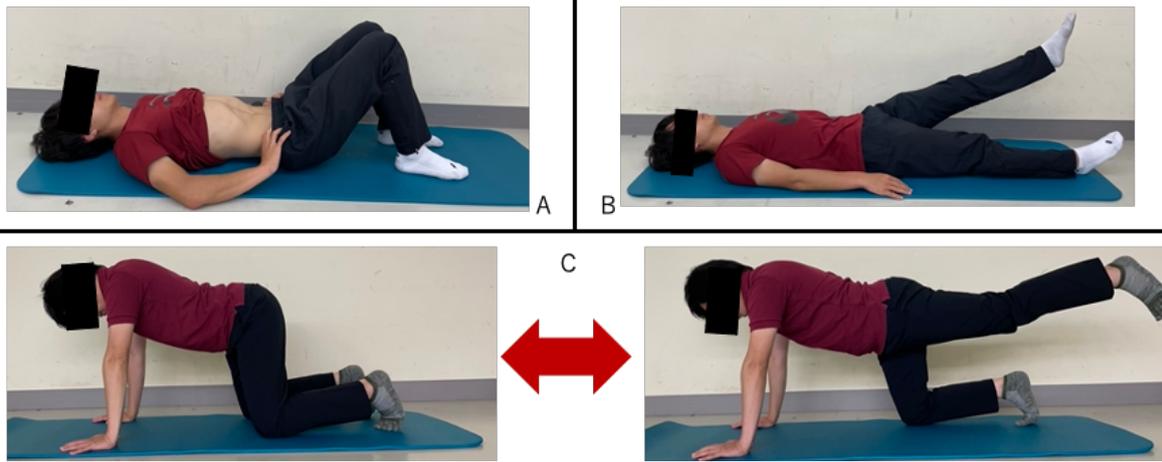


図 30. motor control exercise の内容

それぞれ 5~10 回 1 セットを毎日行うように指導

- A) draw-in (腹横筋(TrA)の単独収縮)
- B) draw-in しながら ASLR (自動下肢伸展挙上)
- C) 四つ這い下肢挙上 (骨盤が動かないように意識)

3) 統計解析

統計解析は SPSS Statistics 28.0 を用いて行った。データの正規性と等分散性は Shapiro-Wilk 検定と Levene 検定を用いて確認した。分布の正規性により、初診時、1 ヶ月後、3 ヶ月後の NRS, ODI, RMDQ の比較には、一元配置分散分析または Friedman 検定を、事後検定には Bonferroni 法を用いた。Cohen' d は NRS, ODI, RMDQ の初診時、1 ヶ月後、3 ヶ月後における比較の効果量として表され、基準は【課題 1】と同様であった。有意水準は 5%とした。

4. 結果

初診から 3 ヶ月後の評価を実施するまでに 33 例中 3 例が追跡困難、3 名は腰痛とは別の疾患の発症、2 名は運動未実施のため、8 例を除外し 25 例を解析対象とした (平均年齢 53.8 歳、男性 14 名、女性 11 名)。腰部除圧術後の症例 1 例、脊椎固定術後の症例が 2 例含まれていた。消炎鎮痛剤または外用消炎鎮痛薬を処方した症例はそれぞれ 6 例、7 例であり、ともに処方した症例は 5 例であった。

25 例中、片側罹患例 (右側 7 例、左側 15 例) が 22 例、両側罹患例が 3 例であった。全例が右利きであった。23 例が腰臀部痛を訴え、2 例は大腿外側部の疼痛も生じていた。16 例が座位痛を、17 例が立位時痛を、13 例が座位痛および立位時痛をともに訴えた。理学所見に関して、13

例は前屈時痛を、12例は後屈時痛を、ともに訴えた者は8例であった。Kempテストは19例が陽性となり16例は体幹側屈と同側に、3例は反対側に疼痛を訴えた。Prone Hip Extensionテスト(PHE)は16例に陽性所見を認め、2例は挙上側と反対側に疼痛を訴えた。25例中20例は屈伸時痛有りまたはPHEテストが陽性でそのうち16例はdraw-inをさせることで疼痛が3/10以上軽減した。

疼痛および機能障害の結果を図31に示す。NRSは初診時6.0[5.0-8.0](中央値[四分位範囲])、1ヶ月後2.0[1.0-4.5]、3ヶ月後0[0-1.5]であった。NRSは初診時に比べ1ヶ月後($P<0.001$; $d=1.86$)、1ヶ月後から3ヶ月後($P<0.001$; $d=0.81$)、初診時から3ヶ月後($P<0.001$; $d=2.87$)で有意に低値であった。ODIは初診時30.0[24.0-40.0]%, 1ヶ月後は12.0[8.0-19.0]%, 3ヶ月後は2.0[1.0-10.0]%であった。ODIは初診時に比べ1ヶ月後($P<0.001$; $d=1.41$)、1ヶ月後から3ヶ月後($P<0.001$; $d=0.79$)、初診時から3ヶ月後($P<0.001$; $d=2.45$)で有意に低値であった。RMDQは24点中、初診時8.0[2.5-11.5]点、1ヶ月後4.0[1.0-8.0]点、3ヶ月後0[0-2.0]点であった。RMDQは初診時に比べ1ヶ月後($P=0.01$; $d=0.58$)、1ヶ月後から3ヶ月後($P<0.001$; $d=0.89$)、初診時から3ヶ月後($P<0.001$; $d=1.43$)で有意に低値であった。

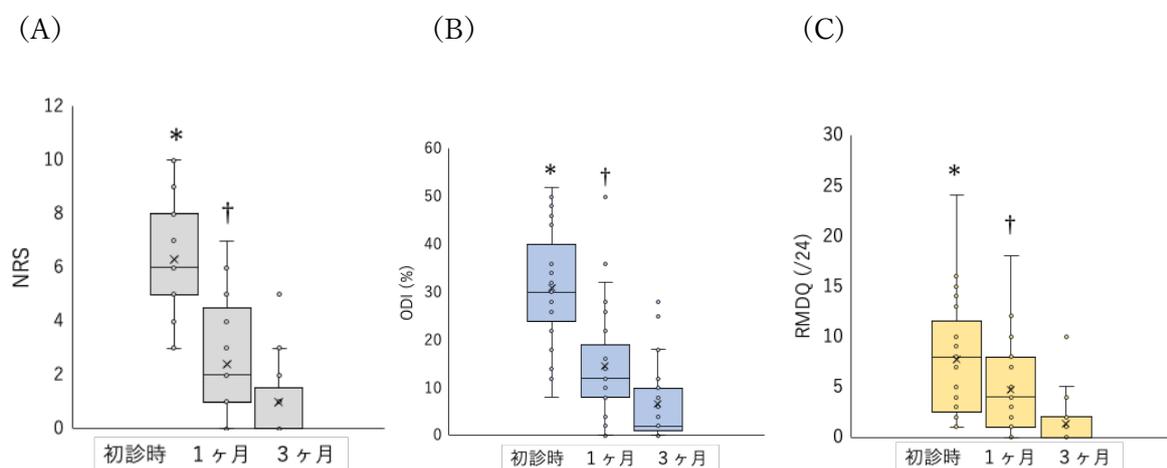


図31. 初診時, 1ヶ月後, 3ヶ月後のNRS, ODI, RMDQの比較

(A) * 初診時 vs 1ヶ月後 ($P<0.001$), vs 3ヶ月後 ($P<0.001$) † 初診時 vs 3ヶ月後 ($P<0.001$) (B) * 初診時 vs 1ヶ月後 ($P<0.001$), vs 3ヶ月後 ($P<0.001$), † 初診時 vs 3ヶ月後 ($P<0.001$) (C) * 初診時 vs 1ヶ月後 ($P=0.01$), vs 3ヶ月後 ($P<0.001$), † 初診時 vs 3ヶ月後 ($P<0.001$)

5. 考察

脊柱起立筋付着部障害は体幹伸展時または屈曲時に腸骨稜部の疼痛を訴え、脊柱起立筋の収縮または伸張を伴う Kemp 手技によって腰痛が再現される。PHE test で同側の疼痛が再現され、圧痛を脊柱起立筋の腸骨稜付着部に限局的に認める。draw-in をすることで脊柱起立筋の緊張が低下し(Oh, Cynn, Won, Kwon, & Yi, 2007)、体幹屈伸時または PHE test 時の疼痛が減弱する症例も多く、特徴的な所見と考えられた。腰部除圧術後の症例 1 例、脊椎固定術後の症例 3 例と腰部術後の症例も見られた。脊椎固定術後患者のインナーマッスル(多裂筋)およびアウターマッスル(腸筋)の筋活動の差をみた研究では、術後の患者ではインナーマッスルの筋活動が低下し、アウターマッスルの活動量が増加していた(Kramer et al., 2001)。術後患者はアウターマッスルの筋緊張が増加しており、筋付着部症を発症した可能性が考えられた。本症は体幹筋の筋活動の影響を受ける障害と考えられた。

本症例群は脊柱起立筋付着部症が疑われ、脊柱起立筋の過活動を是正する介入が求められると考えた。Panjabi は、脊椎の安定性には神経系・筋筋膜系・骨関節靭帯が密接に関わり合っており、神経系コントロールシステムが脊椎周囲の筋の力産生を調整すると提唱している(Panjabi, 1992)。体幹インナーマッスルが活動することでコントロールシステムは脊椎に対して安定性が供給されたと判断し、これに応じてアウターマッスルの筋活動量が減少する。また近年、腰部のアウターマッスルの過剰な収縮はインナーマッスルの機能不全、過度な恐怖感などによって生じることが報告された(Caneiro et al., 2021)。インナーマッスルである腹横筋の機能改善が必要と考えられた。

本研究の MCEx は draw-in, draw-in しながらの ASLR によって TrA の機能改善を図り、体幹の MC 改善およびそれに伴う脊柱起立筋の過緊張の軽減を図った。脊柱起立筋付着部障害の治療には以下の症例報告がある。Liu らは後上腸骨棘(PSIS)部の脊柱起立筋付着部の疼痛を訴える 36 歳女性の一例報告をしている(Liu et al., 2022)。腰椎の運動で疼痛はなかったが、長時間座位や立ち上がりでの疼痛を主訴とし、脊柱起立筋付着部の圧痛と脊柱起立筋付着部障害の典型的な超音波画像所見(局所的な水腫による低エコー像)を示した。3, 4 週間に一度の頻度で注射し 3 ヶ月ほどで症状は消失した。Ricci も 2 年間におよぶ慢性腰痛を訴える 40 歳代の女性の症例報告

を行った(Ricci & Özçakar, 2019). 局所的な圧痛と体幹側屈による伸張時痛, 体幹伸展時痛を訴えた. 週に1回の局所注射を2回と脊柱起立筋腱膜と脊柱起立筋に焦点をあてたストレッチングや徒手療法を実施し, 症状の消失に至っている.

6. まとめ

脊柱起立筋付着部障害の臨床所見をまとめた. 脊柱起立筋の過度な緊張に伴う病態と考えられた. 腹横筋の活動は脊柱起立筋の過剰な緊張を減少させ, 疼痛改善に繋がったと考える. 脊柱起立筋付着部症を呈する症例に対して MCEx は有効である可能性がある.

III. 【課題 4-3】 仙腸関節障害患者への motor control exercise の効果

1. 背景

仙腸関節障害（SIJD）は、腰痛の重要な要因である。13 篇の論文によるシステマティックレビューでは、腰痛および下肢痛を有する患者における SIJD の有病率は、10～38%と推定されると結論づけた(Rupert et al., 2009)。SIJD の問題による約 3 年間の保険請求額は、10 万人あたり 16 億ドルと算出された(Ackerman, Polly, Knight, Holt, & Cummings, 2014)。このように罹患者数、経済的損失が大きいことから、SIJD の病態の解明ならびに治療法の確立が必要である。

SIJD に対する治療には大きく観血的治療と保存的治療とに分けられる。前者は仙腸関節固定術(Murakami, Kurosawa, & Aizawa, 2018a)、最小侵襲仙腸関節固定術(Dengler et al., 2019)、熱凝固療法(Aydin, Gharibo, Mehnert, & Stitik, 2010; King et al., 2015)等が、後者には投薬療法、PRP 療法(Burnham et al., 2020)、徒手療法(Aghalar Javadov, 2021)、運動療法(Nejati, Safarcherati, & Karimi, 2019)が挙げられる。いずれも一定の治療効果が報告されているが、保存的治療を行い、効果が得られなかった場合に観血的治療を検討するという報告が多い(Murakami et al., 2018a)。保存的治療の精度を高める必要があると考えられる。

課題 4-1 では腰臀部痛・下肢痛を訴えた 150 名中 30 名(20.0%)が仙腸関節障害と診断された。脊柱所見、圧痛、ブロック注射によって診断し、3 章および 4 章で検証した motor control exercise(MCEx)を症例に施行し、治療効果を検証した。

2. 目的

SIJD 症例に対して TrA の単独収縮を基盤とした MCEx を指導し、その効果を検討すること。

3. 方法

1)対象

本研究はシングルアーム研究である。対象は 3 ヶ月以上におよぶ仙腸関節部に限局した疼痛や下肢痛、動作時痛を訴え、整形外科を受診した症例で、仙腸関節ストレステスト陽性所見(Laslett, Aprill, McDonald, & Young, 2005)を認め、仙腸関節ブロックにて疼痛が 70%以上減少した 26 名（平均年齢 39.9 歳、男性 7 名、女性 19 名）である。仙腸関節ブロックの効果判定を 1 週間後に行い、一時的であっても疼痛が軽減した場合、SIJD と診断し、運動療法を開始した。

疼痛が強く、希望した者には消炎鎮痛剤または外用消炎鎮痛薬を処方した。ヘルシンキ宣言に基づき、本研究に参加する各個人に口頭で説明をした。本研究は、早稲田大学倫理審査委員会の承認を得て実施した(承認番号: 2021-029)。

2) 評価および介入内容

初診時には既往歴を聴取、問診、NRS、理学所見の評価を行い、ODI, RMDQ の腰痛質問紙に回答した。NRS および ODI, RMDQ は1ヶ月後、3ヶ月後に再評価した。

運動療法は超音波画像診断装置（エコー）を用いて患者に画像を見せながら、内腹斜筋(IO)の収縮が生じないことに留意しながら腹横筋(TrA)をわずかに収縮させる（draw-in）バイオフィードバック練習を行った（図 32）。さらに draw-in 下での自動下肢伸展挙上(ASLR)、四つ這い下肢挙上を指導し、自宅で5~10回1セットを毎日行うように指示した(Monticone et al., 2004)。わずかに収縮させる draw-in は日常生活内で可能な限り常に意識するよう指導した。

エコー下の draw-in 指導は初診時のみ行った。1ヶ月後に運動の確認と再指導を行った。NRS および腰痛質問紙は1ヶ月後、3ヶ月後に再評価した。1ヶ月後、3ヶ月後に運動の実施頻度を自己申告し、1週間毎日実施した場合を100%として20%を下回った場合を運動未実施として解析対象から除外した。来院が困難な症例には、NRS および質問紙の内容を電話で聴取した(Martin et al., 2019)。NRS および RMDQ, ODI は課題 4-2 と同様であった。

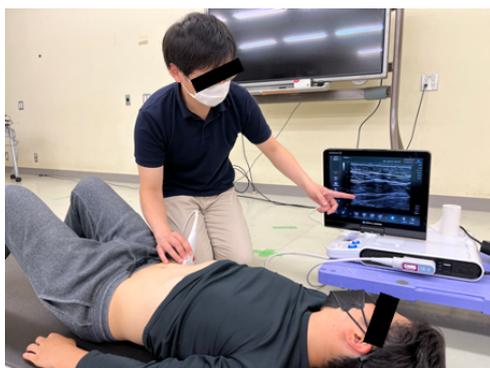


図 32. 超音波画像診断装置を用いた draw-in バイオフィードバック練習の様子

3) 統計解析

【課題 4-2】と同様であった。

4. 結果

初診から3ヶ月の評価を実施するまでに26例中2例が追跡困難となり、24例を解析対象とした（平均年齢 38.8 ± 17.9 歳、男性7名、女性17名）。腰部除圧術後の症例1例、脊椎固定術後の

症例が3例含まれていた。消炎鎮痛剤または外用消炎鎮痛薬を処方した症例はそれぞれ5例であり、ともに処方した者は3例であった。

疼痛および機能障害の結果を図32に示す。NRSは初診時6.0[5.0-8.0] (中央値[四分位範囲])、1ヶ月後2.0[1.0-4.0]、3ヶ月後2.0[0-2.0]であった。NRSは初診時に比べ1ヶ月後($P<0.001$; $d=2.15$)、1ヶ月後から3ヶ月後($P<0.001$; $d=0.74$)、初診時から3ヶ月後($P<0.001$; $d=3.26$)で有意に低値であった。ODIは初診時28.0[18.0-34.0]%, 1ヶ月後10.0[4.0-22.0]%, 3ヶ月後は2.0[2.0-6.0]%であった。ODIは初診時に比べ1ヶ月後($P<0.001$; $d=1.30$)、1ヶ月後から3ヶ月後($P<0.001$; $d=0.93$)、初診時から3ヶ月後($P<0.001$; $d=2.24$)で有意に低値であった。RMDQは24点中、初診時8.0[3.0-12.0]点、1ヶ月後2.0[1.0-5.0]点、3ヶ月後1.0[0-2.0]点であった。RMDQは初診時に比べ1ヶ月後($P<0.001$; $d=1.27$)、1ヶ月後から3ヶ月後($P=0.012$; $d=0.47$)、初診時から3ヶ月後($P<0.001$; $d=1.58$)で有意に低値であった。NRS、ODI およびRMDQは、それぞれ初診時に比べ1ヶ月後、3ヶ月後でいずれも有意に低値(機能改善)を示した。

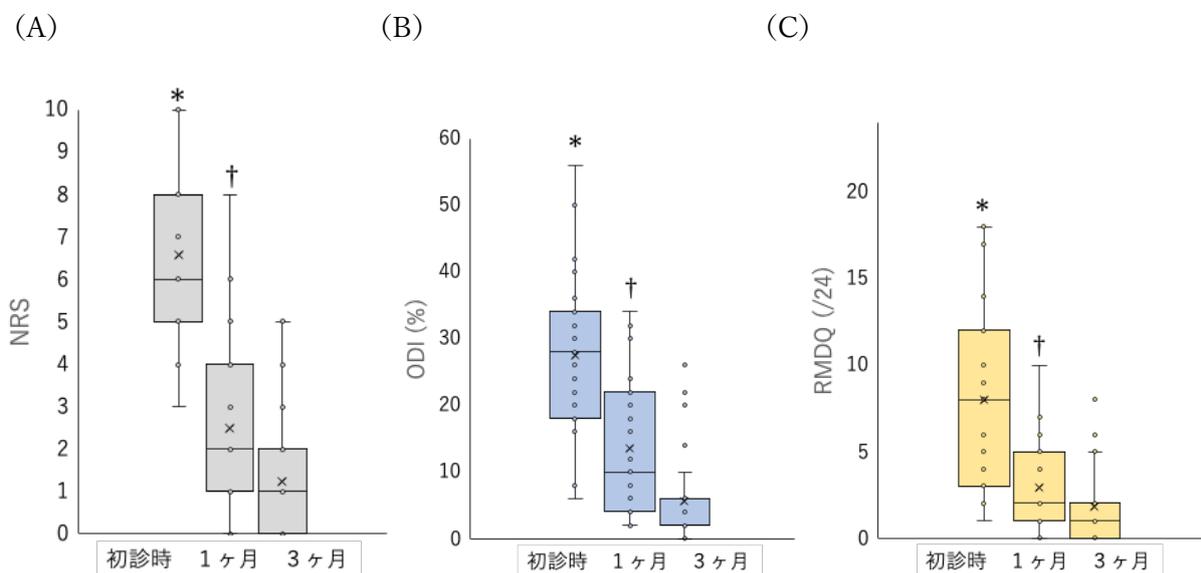


図33. 初診時, 1ヶ月後, 3ヶ月後のNRS, ODI, RMDQの比較

(A) * 初診時 vs 1ヶ月後 ($P<0.001$), vs 3ヶ月後 ($P<0.001$), † 初診時 vs 3ヶ月後 ($P<0.001$) (B) * 初診時 vs 1ヶ月後 ($P<0.001$), vs 3ヶ月後 ($P<0.001$), † 初診時 vs 3ヶ月後 ($P<0.001$) (C) * 初診時 vs 1ヶ月後 ($P<0.001$), vs 3ヶ月後 ($P=0.012$), † 初診時 vs 3ヶ月後 ($P<0.001$)

5. 考察

SIJD に対する治療は骨盤輪の安定化を図ることが優先的であると考えられ、SIJD 症例に対してエコーガイド下でのわずかな TrA の収縮を中心とした MCEx を指導し、疼痛と機能障害の経過を観察した。SIJ は IO や外腹斜筋(EO)の同時収縮である bracing よりも TrA の単独収縮である draw-in で安定性が増加する(Richardson et al., 2002)。临床上、IO や EO の収縮が強く生じることで SIJ の疼痛を生じ、draw-in させることで疼痛が減弱する症例を経験する。IO や EO の収縮を伴わずに TrA の単独収縮を得ようとした場合、わずかな時間ならびに滑走距離で十分である(Morito et al., 2022)。本 MCEx は IO の収縮が生じないことに留意しながらエコー下に TrA をわずかに収縮させるバイオフィードバック練習が奏功したと考えられる。draw-in をしながらの ASLR は正確なモーターコントロールの再獲得に、四つ這い下肢挙上は TrA の賦活に効果的であった可能性がある。結果は良好であり、これまでに実施された研究と疼痛(図 34)、機能障害(図 35)の程度を比較する。

SIJD 症例を対象として運動療法、マニピュレーション、両者の併用の 3 群に分けて単盲検無作為化比較試験が実施された(Nejati et al., 2019)。運動療法は、腸骨後方のセルフモビライゼーション、SIJ ストレッチング、脊椎安定化エクササイズが実施され、マニピュレーション群は、腸骨後方のモビライゼーション、SIJ のマニピュレーションが施行された。併用群はマニピュレーションの後に運動療法が実施された。運動療法群の VAS は初診時 5.5、6 週後 3.6、3 ヶ月後 0.3 であった。ODI は初診時 28.5、6 週後 23.5、3 ヶ月後 11.2 であった。RMDQ は初診時 9.5、6 週後 7.4、3 ヶ月後 1.4 であった。マニピュレーション群の VAS は初診時 4.0、6 週後 0.6、3 ヶ月後 2.5 であった。ODI は初診時 23.6、6 週後 11.9、3 ヶ月後 20.2 であった。RMDQ は初診時 6.6、6 週後 1.5、3 ヶ月後 5.3 であった。併用群の VAS は初診時 4.7、6 週後 2.4、3 ヶ月後 0.5 であった。ODI は初診時 28.5、6 週後 18.5、3 ヶ月後 12.2 であった。RMDQ は初診時 10.1、6 週後 4.2、3 ヶ月後 1.6 であった。3 群ともに疼痛の緩和と機能改善を達成したと結論づけた。マニピュレーションの効果は早期にみられ、運動療法の効果は 3 ヶ月後により効果的に機能障害を改善させた。

Kamali らが実施した単盲検無作為化比較試験では、SIJD と診断された 32 名の女性が、SIJ マニピュレーションの治療直後、48 時間後、1 ヶ月後に、VAS と ODI で評価された(Kamali & Shokri, 2012)。その結果、VAS は施行前 41.2 が 1 ヶ月後 9.0 に、ODI は施行前 24.6 が 1 ヶ月後 8.6 にそれぞれ改善し、痛みと機能障害が有意に改善されたことが報告された。

Aghalar らは、SIJD と診断された 69 名の女性を SIJ マニピュレーションと SIJ の運動療法を行った群、SIJ マニピュレーションと腰部の運動療法を行った群、腰部の運動療法のみを行った群の 3 群に分け、単盲検無作為化比較試験を実施した(Aghalar Javadov, 2021)。初診時から 1 ヶ月後と 3 ヶ月後に、VAS などを評価している。SIJ マニピュレーションと SIJ の運動療法を行った群の運動時痛は初診時 5.8、1 ヶ月後 1.2、3 ヶ月後 0.4 であった。SIJ マニピュレーションと腰部の運動療法を行った群の運動時痛は初診時 6.1、1 ヶ月後 3.3、3 ヶ月後 1.9 であった。腰部の運動療法のみを行った群の運動時痛は初診時 5.9、1 ヶ月後 4.4、3 ヶ月後 4.1 であった。いずれの群も 3 ヶ月後に有意に疼痛の軽減が図られた。SIJ マニピュレーションと SIJ の運動療法、SIJ マニピュレーションと腰椎の運動療法は、腰椎の運動療法に比べて良好な結果を得たと結論づけた。

Monticone らは SIJD 症例 22 名を対象とした無作為化対照研究において、レーザー治療と骨盤ベルトとエクササイズを組み合わせた治療を比較した結果、骨盤ベルトとエクササイズを組み合わせた治療において優れた効果が得られた(Monticone et al., 2004)。実施されたエクササイズは背臥位、腹臥位、四つ這い、坐位における体幹深部筋と多裂筋の同時収縮を行うものであった。

評価時期や評価項目などに違いはあるものの、徒手療法や運動療法またそれらの組み合わせの治療法と本結果を比較することができた。本研究の結果はこれまでの治療成績に劣らないものであった。

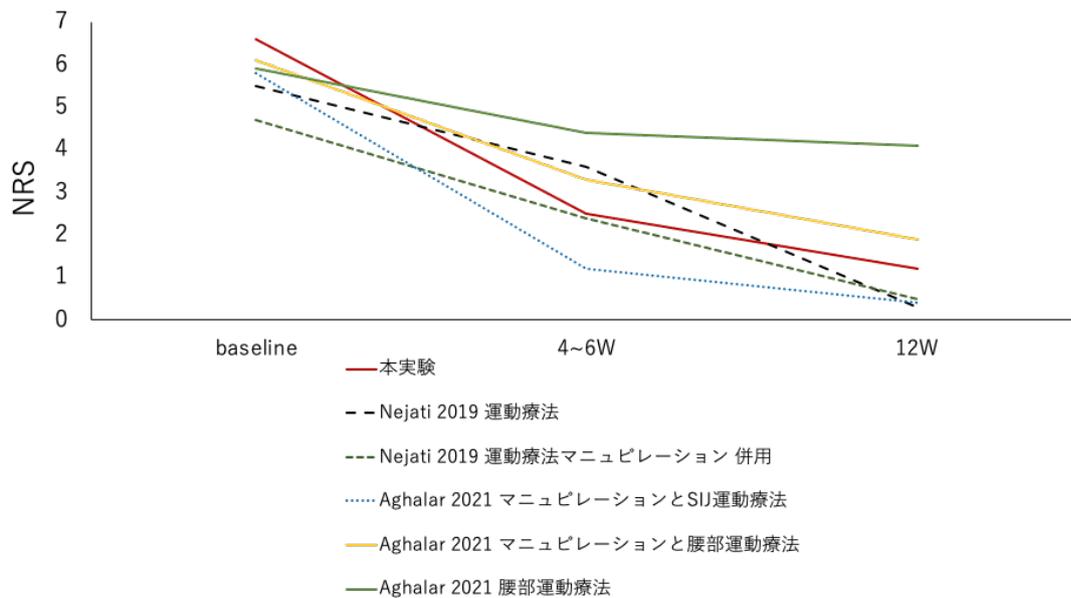


図 34. 本実験と過去の研究との NRS の比較

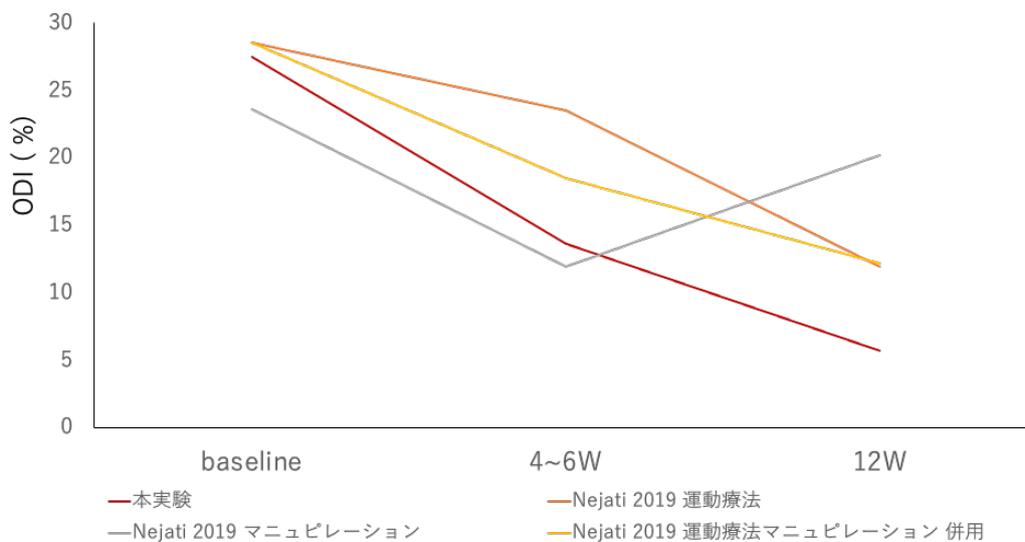


図 35. 本実験と過去の研究との ODI の比較

6. まとめ

エコーガイド下に腹横筋の先行収縮を練習することで骨盤輪の安定性が高まり、内外腹斜筋の過剰な収縮を抑制できた。SIJD 症例に対して、エコーガイド下でのわずかな腹横筋の収縮ならびに MCEx は有効である。

第7章 総括

I. 総合考察

本研究は、腹横筋(TrA)の単独収縮ならびに基礎的な体幹・下肢運動の際の体幹筋の筋活動を調査し、それらの運動を腰痛(LBP)患者の病態に応じて処方し、介入結果を検証することとした。有効な結果が得られれば、LBP患者に対する運動療法を処方する際の一助となると考えられる。そのため課題1ではTrAの単独収縮(draw-in)時のTrAの詳細な筋収縮様式を、課題2では基礎的な下肢・体幹運動の際のTrAを含めた体幹筋の筋活動を、課題3では腰痛の中でも仙腸関節障害(SIJD)に着目し、固有感覚の視点から評価を、課題4では課題1の知見をもとに腰痛の病態ごとに運動療法は有効であるか、といった研究的疑問を設定した。

第3章ではdraw-in時の腹筋群の筋活動onsetを明らかにし、draw-in時のTrAの筋活動onsetを計測することで、実際のTrAの単独収縮時間を算出した。結果はTrAの筋活動onsetの後、1.1秒後には他の腹筋群の活動が見られた。超音波画像診断装置(エコー)を用いてTrAの滑走距離ごとに筋活動量を算出すると、TrAが滑走距離全体の50%ほど滑走すると内腹斜筋(IO)の活動が顕著に高まった。事前にエコー下でdraw-inの練習を行った場合でもTrAの単独収縮は短い時間および滑走距離であった。TrAの単独収縮の方がIOや外腹斜筋(EO)との共同収縮であるbracingよりも仙腸関節の安定性を高めることが報告されており(Richardson et al., 2002)、TrAの実質の単独収縮時間を算出した本結果は重要である。さらに様々な口頭指示に対してTrA/IO、TrA/EOの筋活動比がどのように変化するかを検討したところ、口頭指示で差は認められなかった。個人差が大きく、臨床では様々な口頭指示を使い分けて、対象に合う指示を行うべきだと考えた。

第4章の課題は、自動下肢伸展挙上(ASLR)時の体幹筋・下肢筋の筋活動onset、筋活動量を明らかにすることを目的とした。また、エクササイズの一環として報告されている四つ這い肢位での下肢挙上の際の体幹筋の筋活動量を計測し、運動療法に示唆を与えることであった。利き手側のASLRの際に同側の大腰筋(PM)、対側のTrAの早期の筋活動onsetが認められた。PMは股関節の屈曲筋でありながら、脊椎深部に付着し体幹筋の安定化機能を有する。これらの深部筋が体幹を制御した上で下肢の運動を行っていると考えられる。一方で非利き手側のASLRの際には

同側の TrA が早期に活動を開始した。TrA には運動方向に依存しない体幹安定化機構が報告されているが、非利き手側の TrA の筋腹が利き手側に比べて厚いとの研究結果もあり、利き手・非利き手側に依存した TrA の機能も考えられた。適切な筋収縮の順番いわゆる適切なモーターコントロール(MC)を獲得するための一つの指標であると考え、臨床でも用いることが可能である。四つ這い下肢挙上では、draw-in をしながらの実施、骨盤固定しながら実施と条件を加えて筋活動量を比較した。条件間での差はなかったが、非利き手側の下肢挙上の際には、対側の TrA の筋活動量が高値であった。腰痛患者はアウターマッスの過剰な収縮が示されており(Neblett et al., 2013)、インナーマッスルである TrA が活動することでアウターマッスの過剰な収縮が抑制される。TrA の活動量を増加させることができる本運動は LBP 患者のリハビリテーション初期において有効であると考えられた。

第 5 章は SIJD 患者の repositioning error (RE)を LBP 群および健常群と比較し、さらに症状側と非症状側との差を検討することを目的として実施した。下肢を他動的に 45° 挙上し、対象はその位置を記憶し、設定された位置を目標として自動挙上した(ASLR-repositioning test(ASLR-Rt))。SIJD 群は LBP 群、健常群に比べて RE が大きく、特に症状側で顕著であった。SIJD 患者は固有受容器の存在する(Sakamoto, Yamashita, Takebayashi, Sekine, & Ishii, 2001)後方靱帯領域の障害であることが知られており(Murakami et al., 2018b)、同部位の障害が反映された結果と考えられた。一方で、第 4 章の通り、病態によって ASLR の際に体幹筋の MC の障害がみられる(Cowan et al., 2004) (Hungerford et al., 2003) (Beales, O'Sullivan, & Briffa, 2010; Capobianco et al., 2018)。SIJD 群の対象は体幹筋の MC 障害があったと考えられ、これらも RE の値に反映された可能性もある。

第 6 章では、腰臀部痛または下肢痛がある症例(150 名)を脊椎所見や圧痛所見、画像所見やブロック注射等を用いて病態ごとに分類した。その中から脊柱起立筋付着部障害と仙腸関節障害と推定された症例に対して第 3 章から第 5 章で得られた知見をもとに MC エクササイズ(MCEx)を処方し、経過を観察した。脊柱起立筋付着部障害はアウターマッスルである脊柱起立筋の過剰な収縮を抑制する必要がある、インナーマッスルである TrA の活動を高めることを目的に draw-in, draw-in 下での ASLR ならびに四つ這いでの下肢挙上を行った。SIJD には骨盤輪の安定性を

高める目的として、3章の結果から得られたIOの収縮が見られない程度のわずかな draw-in をエコー下で指導した。加えて draw-in 下の ASLR、四つ這いでの下肢挙上を行った。結果は良好であり、病態を考慮して指導した MCEx は効果的であった。

II. 本研究の限界

本研究の第3・4章における限界は5点ある。1点目は対象が健常成人男性のみであることである。本課題においてはワイヤの刺入や大幅な肌の露出を伴ったため、対象を男性に限定した。女性を対象とした場合、異なる結果が得られる可能性がある(Arokoski et al., 1999) (Arokoski, Valta, Airaksinen, & Kankaanpää, 2001)。また腰痛や下肢痛のある症例、女性の中でも経産婦を対象とした場合、得られる結果と意味合いが変化すると考えられる。2点目は、個人差が大きいことである。第1章の口頭指示別の draw-in においても標準偏差が大きく、意味のある差を見出すことができなかった。自動下肢伸展挙上(ASLR)では、下肢を挙上する速度や活動した筋の個人差が大きかった。また、四つ這い下肢挙上では、非利き手側下肢挙上の際に対側の TrA の活動が高かったが、1例は対側ではなく同側の TrA のみの活動が見られ、全く異なる運動戦略を示した。3点目は、超音波画像診断装置での観察部位である。3章の draw-in 時の TrA の収縮動態の評価では、臍の高位で上前腸骨棘と胸郭部を結んだ線との交点部にプローブを設置した。TrA は大きく上部、中部、下部線維に分けられ、本実験の観察部位は中部線維であった。他の部位で観察した場合は異なる結果が得られる可能性がある。4点目はクロストークの影響である。ただ、ワイヤの刺入や表面筋電図の貼付後に各筋の筋活動波形を評価したり、試技中に正常な筋活動データを得られていないと判断した場合はデータを除外したりするなど対処を行った。5点目は被験筋が限られていたことである。インナーマッスルも TrA の他に左右腰方形筋、骨盤底筋等が存在する。一方で、実験の実行可能性(feasible)を考慮すると現実的な数であり、同様の他の実験に比べても少なくはない。

第5章における限界は2点ある。1点目は、本章の ASLR Rt は疼痛が強く下肢挙上のできない症例では実施できない点である。ASLR は骨盤帯痛症例の疼痛の誘発テストとしても用いられる。さらに SIJD 例では立つことや座することもままならない症例が存在する。そのような症例に

は実施が難しく、今回の対象は比較的疼痛の弱い症例であったと考えられる。2点目は、股関節の位置覚を計測していない点である。ASLRは股関節の屈曲運動であるが、本実験は股関節単独での位置覚を計測していない。股関節の位置覚の障害が本結果を生じた可能性は否定しきれない。

第6章における限界は3点ある。1点目はシングルアーム研究であり、対照群が設定されていないことである。比較試験を行うことは実験環境からも現実的ではなかった。2点目は追跡期間の短さである。初診から3ヶ月までと短期間であった。長期的には6ヶ月から2年間の経過を観察している研究もあり、今後の課題である。3点目はその他の治療の混在である。疼痛が強く、服薬や貼付剤を希望した例には処方した。一方で、その例数は限られており、本研究の結果には大きな影響を及ぼさないと考えた。聴取した範囲では追跡期間中に接骨院や治療院などのその他の治療を行った者はいなかった。

III. 今後の展望

第3・4章は健常成人男性が対象であったため、対象の幅を広げることが望まれる。SIJD例を対象としてASLR時の体幹筋の筋活動 onset を評価した研究があるが(Hungerford et al., 2003)、SIJD例の骨盤輪の安定性に重要である TrA を計測していない。SIJD症例を対象として本実験と同様の計測を行う価値は十分ある。本実験の TrA のワイヤの刺入部位は中部線維であったが、骨盤輪の安定性に寄与するのは下部線維の占める割合が高い(Richardson et al., 2002)と考えられる。ワイヤの刺入部位を中部線維のみならず下部線維にも追加して draw-in の試技を行うとより骨盤輪との関連を考察することができる可能性がある。脊柱起立筋付着部障害、SIJD に対する治療法の報告は限られている。今回実施した MCEx を無作為化対照試験で実施する必要がある。

IV. まとめ

代表的な体幹筋エクササイズである draw-in や下肢運動時の筋活動・筋活動開始時間を解析し、腰痛症例に実施し結果を検証した。腹横筋の単独収縮である draw-in の詳細な筋活動計測を

行った結果、腹横筋の単独収縮時間は内腹斜筋、外腹斜筋、腹直筋よりも有意に早期に筋活動が開始したが、その差は 1.1 秒と僅かであった。利き手側自動下肢伸展挙上の際には、同側の大腰筋、対側の腹横筋が他の体幹筋群に比べて早い筋活動開始時間を示した。一方で、非利き手側自動下肢伸展挙上の際には、同側の腹横筋、対側の小殿筋が他の体幹筋群に比べて早い筋活動開始時間を示した。四つ這い下肢挙上において、非利き手側下肢挙上の際に対側の腹横筋の活動量が増加し、他の体幹筋に比べて高い活動量であった。

臨床研究を行っている際に、仙腸関節障害患者の「自分の脚がどこにあるかわからない」といった言葉に着目し、自動下肢伸展挙上での位置覚の評価を試みた。腰痛群、健常群に比べて repositioning error が大きく、症状側と非症状側を比較すると症状側の方が大きかった。仙腸関節障害患者の評価に有用であることを見出した。

運動療法を施行した 150 名の腰臀部痛・下肢痛症例を病態分類すると、脊柱起立筋付着部障害 (34 名 22.7%)、仙腸関節障害(30 名 20.0%)の割合が高かった。検証結果が得られたモーターコントロールエクササイズを脊柱起立筋付着部障害例、仙腸関節障害例の病態に応じて処方したところ、良好な成績を得た。

本論文は、腰痛の病態別運動療法の開発ならびにその効果を検証したものであり、腰痛治療に広く貢献する内容である。

参考文献

- Ackerman, S. J., Polly, D. W., Jr., Knight, T., Holt, T., & Cummings, J. (2014). Management of sacroiliac joint disruption and degenerative sacroiliitis with nonoperative care is medical resource-intensive and costly in a United States commercial payer population. *Clinicoecon Outcomes Res*, *6*, 63–74. doi:10.2147/CEOR.S54158
- Aghalar Javadov, M., Aysegül Ketenci, MD2, and Cihan Aksoy, MD2. (2021). The Efficiency of Manual Therapy and Sacroiliac and Lumbar Exercises in Patients with Sacroiliac Joint Dysfunction Syndrome. *Pain Physician* *24*; 223–233
- Ali, A. A., Jacobs, B. M., Gandhi, A., & Brooks, M. (2022). Baastrup's Disease in Pediatric Gymnasts. *Children (Basel)*, *9*(7). doi:10.3390/children9071018
- Aljuraifani, R., Stafford, R. E., Hall, L. M., & Hodges, P. W. (2019). Activity of Deep and Superficial Pelvic Floor Muscles in Women in Response to Different Verbal Instructions: A Preliminary Investigation Using a Novel Electromyography Electrode. *J Sex Med*, *16*(5), 673–679. doi:10.1016/j.jsxm.2019.02.008
- Allison, G. T. (2003). Trunk muscle onset detection technique for EMG signals with ECG artefact. *J Electromyogr Kinesiol*, *13*(3), 209–216. doi:10.1016/s1050-6411(03)00019-1
- Arokoski, J. P., Kankaanpää, M., Valta, T., Juvonen, I., Partanen, J., Taimela, S., . . . Airaksinen, O. (1999). Back and hip extensor muscle function during therapeutic exercises. *Arch Phys Med Rehabil*, *80*(7), 842–850. doi:10.1016/s0003-9993(99)90237-x
- Arokoski, J. P., Valta, T., Airaksinen, O., & Kankaanpää, M. (2001). Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Arch Phys Med Rehabil*, *82*(8), 1089–1098. doi:10.1053/apmr.2001.23819
- Aydin, S. M., Gharibo, C. G., Mehnert, M., & Stitik, T. P. (2010). The role of radiofrequency ablation for sacroiliac joint pain: a meta-analysis. *PM R*, *2*(9), 842–851. doi:10.1016/j.pmrj.2010.03.035
- Barker, P. J., Briggs, C. A., & Bogeski, G. (2004). Tensile transmission across the lumbar fasciae in unembalmed cadavers: effects of tension to various muscular attachments. *Spine*, *29*(2), 129–138.
- Beales, D. J., O'Sullivan, P. B., & Briffa, N. K. (2009). Motor control patterns during an active straight leg raise in chronic pelvic girdle pain subjects. *Spine (Phila Pa 1976)*, *34*(9), 861–870. doi:10.1097/BRS.0b013e318198d212
- Beales, D. J., O'Sullivan, P. B., & Briffa, N. K. (2010). The effects of manual pelvic compression on trunk motor control during an active straight leg raise in chronic pelvic girdle pain subjects. *Man Ther*, *15*(2), 190–199. doi:10.1016/j.math.2009.10.008

- Beith, I. D., Synnott, R. E., & Newman, S. A. (2001). Abdominal muscle activity during the abdominal hollowing manoeuvre in the four point kneeling and prone positions. *Man Ther*, 6(2), 82–87. doi:10.1054/math.2000.0376
- Ben Ami, N., & Dar, G. (2018). What is the most effective verbal instruction for correctly contracting the pelvic floor muscles? *NeuroUrol Urodyn*, 37(8), 2904–2910. doi:10.1002/nau.23810
- Bergmark, A. (1989). Stability of the lumbar spine. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 60(sup230), 1–54. doi:10.3109/17453678909154177
- Bjerkefors, A., Ekblom, M. M., Josefsson, K., & Thorstensson, A. (2010). Deep and superficial abdominal muscle activation during trunk stabilization exercises with and without instruction to hollow. *Manual Therapy*, 15(5), 502–507. doi:<https://doi.org/10.1016/j.math.2010.05.006>
- Bogduk, N. (2005). Clinical anatomy of the lumbar spine and sacrum fourth edition. *Churchill Livingstone, New York*.
- Bogduk, N., & Macintosh, J. E. (1984). The applied anatomy of the thoracolumbar fascia. *Spine (Phila Pa 1976)*, 9(2), 164–170. doi:10.1097/00007632-198403000-00006
- Brown, S. H., & McGill, S. M. (2009). Transmission of muscularly generated force and stiffness between layers of the rat abdominal wall. *Spine (Phila Pa 1976)*, 34(2), E70–75. doi:10.1097/BRS.0b013e31818bd6b1
- Brown, S. H. M., Ward, S. R., Cook, M. S., & Lieber, R. L. (2010). Architectural Analysis of Human Abdominal Wall Muscles. *SPINE*, 1. doi:10.1097/brs.0b013e3181d12ed7
- Brumagne, S., Cordo, P., Lysens, R., Verschueren, S., & Swinnen, S. (2000). The role of paraspinous muscle spindles in lumbosacral position sense in individuals with and without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 25(8), 989–994. doi:10.1097/00007632-200004150-00015
- Burnham, T., Sampson, J., Speckman, R. A., Conger, A., Cushman, D. M., & McCormick, Z. L. (2020). The Effectiveness of Platelet-Rich Plasma Injection for the Treatment of Suspected Sacroiliac Joint Complex Pain; a Systematic Review. *Pain Med*, 21(10), 2518–2528. doi:10.1093/pm/pnaa170
- Callaghan, J. P., Gunning, J. L., & McGill, S. M. (1998). The relationship between lumbar spine load and muscle activity during extensor exercises. *Phys Ther*, 78(1), 8–18. doi:10.1093/ptj/78.1.8
- Caneiro, J. P., Smith, A., Bunzli, S., Linton, S., Moseley, G. L., & O’ Sullivan, P. (2021). From Fear to Safety: A Roadmap to Recovery From Musculoskeletal Pain. *Physical Therapy*, 102(2). doi:10.1093/ptj/pzab271
- Capobianco, R. A., Feeney, D. F., Jeffers, J. R., Nelson-Wong, E., Morreale, J., Grabowski, A. M., & Enoka, R. M. (2018). Patients with sacroiliac joint dysfunction exhibit

- altered movement strategies when performing a sit-to-stand task. *Spine J*, *18*(8), 1434–1440. doi:10.1016/j.spinee.2018.03.008
- Cholewicki, J., & McGill, S. (1996). Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical Biomechanics*, *11*(1), 1–15. doi:10.1016/0268-0033(95)00035-6
- Chua, L. K., Jimenez-Diaz, J., Lewthwaite, R., Kim, T., & Wulf, G. (2021). Superiority of external attentional focus for motor performance and learning: Systematic reviews and meta-analyses. *Psychol Bull*, *147*(6), 618–645. doi:10.1037/bul0000335
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychol Bull*, *112*(1), 155–159. doi:10.1037//0033-2909.112.1.155
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. doi:10.4324/9780203771587
- Collée, G., Dijkmans, B. A., Vandenbroucke, J. P., & Gats, A. (1991a). Iliac crest pain syndrome in low back pain: frequency and features. *J Rheumatol*, *18*(7), 1064–1067.
- Collée, G., Dijkmans, B. A., Vandenbroucke, J. P., & Gats, A. (1991b). Iliac crest pain syndrome in low back pain. A double blind, randomized study of local injection therapy. *J Rheumatol*, *18*(7), 1060–1063.
- Coulombe, B. J., Games, K. E., Neil, E. R., & Eberman, L. E. (2017). Core Stability Exercise Versus General Exercise for Chronic Low Back Pain. *Journal of Athletic Training*, *52*(1), 71–72. doi:10.4085/1062-6050-51.11.16
- Cowan, S. M., Schache, A. G., Brukner, P., Bennell, K. L., Hodges, P. W., Coburn, P., & Crossley, K. M. (2004). Delayed onset of transversus abdominus in long-standing groin pain. *Med Sci Sports Exerc*, *36*(12), 2040–2045. doi:10.1249/01.mss.0000147587.81762.44
- Cresswell, A. G. (1993). Responses of intra-abdominal pressure and abdominal muscle activity during dynamic trunk loading in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *66*(4), 315–320. doi:10.1007/bf00237775
- Cresswell, A. G., Grundström, H., & Thorstensson, A. (1992). Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. *Acta Physiol Scand*, *144*(4), 409–418. doi:10.1111/j.1748-1716.1992.tb09314.x
- Crow, J., Pizzari, T., & Buttifant, D. (2011). Muscle onset can be improved by therapeutic exercise: a systematic review. *Phys Ther Sport*, *12*(4), 199–209. doi:10.1016/j.ptsp.2010.12.002
- Dagenais, S., Caro, J., & Haldeman, S. (2008). A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *Spine J*, *18*(1), 8–20. doi:10.1016/j.spinee.2007.10.005
- Dengler, J., Kools, D., Pflugmacher, R., Gasbarrini, A., Prestamburgo, D., Gaetani, P., . . . Stuesson, B. (2019). Randomized Trial of Sacroiliac Joint Arthrodesis Compared

- with Conservative Management for Chronic Low Back Pain Attributed to the Sacroiliac Joint. *J Bone Joint Surg Am*, 101(5), 400–411.
doi:10.2106/JBJS.18.00022
- Deyo, R. A., Rainville, J., & Kent, D. L. (1992). What can the history and physical examination tell us about low back pain? *Jama*, 268(6), 760–765.
- Dieterich, A., Petzke, F., Pickard, C., Davey, P., & Falla, D. (2015). Differentiation of gluteus medius and minimus activity in weight bearing and non-weight bearing exercises by M-mode ultrasound imaging. *Man Ther*, 20(5), 715–722.
doi:10.1016/j.math.2015.01.006
- Dieterich, A. V., Deshon, L., Strauss, G. R., McKay, J., & Pickard, C. M. (2016). M-Mode Ultrasound Reveals Earlier Gluteus Minimus Activity in Individuals With Chronic Hip Pain During a Step-down Task. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 46(4), 277–285. doi:10.2519/jospt.2016.6132
- Dieterich, A. V., Pickard, C. M., Deshon, L. E., Strauss, G. R., Gibson, W., Davey, P., & McKay, J. (2015). M-mode ultrasound used to detect the onset of deep muscle activity. *J Electromyogr Kinesiol*, 25(2), 224–231. doi:10.1016/j.jelekin.2014.12.006
- Edgerton, V. R., Wolf, S. L., Levendowski, D. J., & Roy, R. R. (1996). Theoretical basis for patterning EMG amplitudes to assess muscle dysfunction. *Med Sci Sports Exerc*, 28(6), 744–751. doi:10.1097/00005768-199606000-00013
- Ekstrom, R. A., Donatelli, R. A., & Carp, K. C. (2007). Electromyographic Analysis of Core Trunk, Hip, and Thigh Muscles During 9 Rehabilitation Exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 37(12), 754–762.
doi:10.2519/jospt.2007.2471
- Escamilla, R. F., Babb, E., DeWitt, R., Jew, P., Kelleher, P., Burnham, T., . . . Imamura, R. T. (2006). Electromyographic analysis of traditional and nontraditional abdominal exercises: implications for rehabilitation and training. *Phys Ther*, 86(5), 656–671.
- Escamilla, R. F., Lewis, C., Bell, D., Bramblett, G., Daffron, J., Lambert, S., . . . Andrews, J. R. (2010). Core Muscle Activation During Swiss Ball and Traditional Abdominal Exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(5), 265–276.
doi:10.2519/jospt.2010.3073
- Fairbank, J. C., Couper, J., Davies, J. B., & O'Brien, J. P. (1980). The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy*, 66(8), 271–273.
- Farinha, F., Raínho, C., Cunha, I., & Barcelos, A. (2015). Bastrup's Disease: a poorly recognised cause of back pain. *Acta Reumatol Port*, 40(3), 302–303.
- Filippiadis, D. K., Mazioti, A., Argentos, S., Anselmetti, G., Papakonstantinou, O., Kelekis, N., & Kelekis, A. (2015). Bastrup's disease (kissing spines syndrome): a pictorial review. *Insights Imaging*, 6(1), 123–128. doi:10.1007/s13244-014-0376-7

- García-Jaén, M., Cortell-Tormo, J. M., Hernández-Sánchez, S., & Tortosa-Martínez, J. (2020). Influence of Abdominal Hollowing Maneuver on the Core Musculature Activation during the Prone Plank Exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(20), 7410. doi:10.3390/ijerph17207410
- Gill, K. P., & Callaghan, M. J. (1998). The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, *23*(3), 371–377. doi:10.1097/00007632-199802010-00017
- Glazener, C., Boachie, C., Buckley, B., Cochran, C., Dorey, G., Grant, A., . . . N'Dow, J. (2011). Urinary incontinence in men after formal one-to-one pelvic-floor muscle training following radical prostatectomy or transurethral resection of the prostate (MAPS): two parallel randomised controlled trials. *The Lancet*, *378*(9788), 328–337. doi:10.1016/s0140-6736(11)60751-4
- Goode, P. S. (2011). Behavioral Therapy With or Without Biofeedback and Pelvic Floor Electrical Stimulation for Persistent Postprostatectomy Incontinence. *Jama*, *305*(2), 151. doi:10.1001/jama.2010.1972
- Gordon, A. M., Huxley, A. F., & Julian, F. J. (1966). The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *The Journal of Physiology*, *184*(1), 170–192. doi:10.1113/jphysiol.1966.sp007909
- Gray, H. (1918). *Anatomy of the Human Body* 20th. *Lea & Febiger*
- Grooten, W. J. A., Boström, C., Dederig, Å., Halvorsen, M., Kuster, R. P., Nilsson-Wikmar, L., . . . Rasmussen-Barr, E. (2022). Summarizing the effects of different exercise types in chronic low back pain – a systematic review of systematic reviews. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *23*(1). doi:10.1186/s12891-022-05722-x
- Hagen, K. B., Jamtvedt, G., Hilde, G., & Winnem, M. F. (2005). The updated cochrane review of bed rest for low back pain and sciatica. *Spine (Phila Pa 1976)*, *30*(5), 542–546. doi:10.1097/01.brs.0000154625.02586.95
- Hahne, A. J., Ford, J. J., Surkitt, L. D., Richards, M. C., Chan, A. Y., Thompson, S. L., . . . Taylor, N. F. (2011). Specific treatment of problems of the spine (STOPS): design of a randomised controlled trial comparing specific physiotherapy versus advice for people with subacute low back disorders. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *12*(1), 104. doi:10.1186/1471-2474-12-104
- Hatefi, M., Babakhani, F., & Ashrafizadeh, M. (2021). The effect of static stretching exercises on hip range of motion, pain, and disability in patients with non-specific low back pain. *Journal of Experimental Orthopaedics*, *8*(1). doi:10.1186/s40634-021-00371-w
- Hides, J., & Richardson, C. (2000). A clinical palpation test to check the activation of the deep stabilizing muscles of the lumbar spine. *1*.

- Hides, J., Stanton, W., McMahon, S., Sims, K., & Richardson, C. (2008). Effect of Stabilization Training On Multifidus Muscle Cross-sectional Area Among Young Elite Cricketers With Low Back Pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *38*(3), 101–108. doi:10.2519/jospt.2008.2658
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *J Sports Sci*, *20*(4), 301–310. doi:10.1080/026404102753576071
- Hirschberg, G. G., Froetscher, L., & Naeim, F. (1979). Iliolumbar syndrome as a common cause of low back pain: diagnosis and prognosis. *Arch Phys Med Rehabil*, *60*(9), 415–419.
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine (Phila Pa 1976)*, *21*(22), 2640–2650. doi:10.1097/00007632-199611150-00014
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997a). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther*, *77*(2), 132–142; discussion 142–134. doi:10.1093/ptj/77.2.132
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997b). Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res*, *114*(2), 362–370. doi:10.1007/pl00005644
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997). Relationship between limb movement speed and associated contraction of the trunk muscles. *Ergonomics*, *40*(11), 1220–1230. doi:10.1080/001401397187469
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1998). Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *Journal of spinal disorders*, *11*(1), 46–56. Retrieved from <http://europepmc.org/abstract/MED/9493770>
- Hogervorst, T., & Brand, R. A. (1998). Mechanoreceptors in joint function. *J Bone Joint Surg Am*, *80*(9), 1365–1378. doi:10.2106/00004623-199809000-00018
- Hu, H., Meijer, O. G., Hodges, P. W., Bruijn, S. M., Strijers, R. L., Nanayakkara, P. W., . . . van Dieen, J. H. (2012). Understanding the Active Straight Leg Raise (ASLR): an electromyographic study in healthy subjects. *Man Ther*, *17*(6), 531–537. doi:10.1016/j.math.2012.05.010
- Hu, H., Meijer, O. G., van Dieen, J. H., Hodges, P. W., Bruijn, S. M., Strijers, R. L., . . . Xia, C. (2010). Muscle activity during the active straight leg raise (ASLR), and the effects of a pelvic belt on the ASLR and on treadmill walking. *J Biomech*, *43*(3), 532–539. doi:10.1016/j.jbiomech.2009.09.035

- Hu, H., Meijer, O. G., Van Dieën, J. H., Hodges, P. W., Bruijn, S. M., Strijers, R. L., . . . Xia, C. (2011). Is the psoas a hip flexor in the active straight leg raise? *European Spine Journal*, *20*(5), 759–765. doi:10.1007/s00586-010-1508-5
- Hukins, D., Aspden, R., & Hickey, D. (1990). Thorecolumlbar fascia can increase the efficiency of the erector spinae muscles. *Clinical Biomechanics*, *5*(1), 30–34.
- Hungerford, B., Gilleard, W., & Hodges, P. (2003). Evidence of altered lumbopelvic muscle recruitment in the presence of sacroiliac joint pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, *28*(14), 1593–1600. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12865851>
- Imai, A., Kaneoka, K., Okubo, Y., Shiina, I., Tatsumura, M., Izumi, S., & Shiraki, H. (2010). Trunk muscle activity during lumbar stabilization exercises on both a stable and unstable surface. *J Orthop Sports Phys Ther*, *40*(6), 369–375. doi:10.2519/jospt.2010.3211
- Jang, E. C., Song, K. S., Lee, H. J., Kim, J. Y., & Yang, J. J. (2010). Posterior epidural fibrotic mass associated with Bastrup's disease. *Eur Spine J*, *19 Suppl 2*(Suppl 2), S165–168. doi:10.1007/s00586-009-1262-8
- Jo, S., Park, S.-B., Kim, M. J., Kim, T., Park, K. I., Sung, J., . . . Lee, K. H. (2016). Comparison of Balance, Proprioception and Skeletal Muscle Mass in Total Hip Replacement Patients With and Without Fracture: A Pilot Study. *Annals of Rehabilitation Medicine*, *40*(6), 1064. doi:10.5535/arm.2016.40.6.1064
- Kamali, F., & Shokri, E. (2012). The effect of two manipulative therapy techniques and their outcome in patients with sacroiliac joint syndrome. *J Bodyw Mov Ther*, *16*(1), 29–35. doi:10.1016/j.jbmt.2011.02.002
- Karst, G. M., & Willett, G. M. (2004). Effects of Specific Exercise Instructions on Abdominal Muscle Activity During Trunk Curl Exercises. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *34*(1), 4–12. doi:10.2519/jospt.2004.34.1.4
- Kibsgard, T. J., Rohrl, S. M., Roise, O., Stuesson, B., & Stuge, B. (2017). Movement of the sacroiliac joint during the Active Straight Leg Raise test in patients with long-lasting severe sacroiliac joint pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, *47*, 40–45. doi:10.1016/j.clinbiomech.2017.05.014
- King, W., Ahmed, S. U., Baisden, J., Patel, N., Kennedy, D. J., Duszynski, B., & MacVicar, J. (2015). Diagnosis and treatment of posterior sacroiliac complex pain: a systematic review with comprehensive analysis of the published data. *Pain Med*, *16*(2), 257–265. doi:10.1111/pme.12630
- Kovacs, A. J., Miles, G. F., & Baweja, H. S. (2018). Thinking Outside the Block: External Focus of Attention Improves Reaction Times and Movement Preparation Times in Collegiate Track Sprinters. *Sports (Basel)*, *6*(4). doi:10.3390/sports6040120
- Kramer, M., Katzmaier, P., Eisele, R., Ebert, V., Kinzl, L., & Hartwig, E. (2001). Surface electromyography-verified muscular damage associated with the open dorsal

- approach to the lumbar spine. *Eur Spine J*, 10(5), 414–420.
doi:10.1007/s005860100294
- Laslett, M., Aprill, C. N., McDonald, B., & Young, S. B. (2005). Diagnosis of sacroiliac joint pain: validity of individual provocation tests and composites of tests. *Man Ther*, 10(3), 207–218. doi:10.1016/j.math.2005.01.003
- Lee, D. H., Hong, S. K., Lee, Y. S., Kim, C. H., Hwang, J. M., Lee, Z., . . . Park, D. (2018). Is abdominal hollowing exercise using real-time ultrasound imaging feedback helpful for selective strengthening of the transversus abdominis muscle?: A prospective, randomized, parallel-group, comparative study. *Medicine (Baltimore)*, 97(27), e11369. doi:10.1097/md.00000000000011369
- Liu, I. C., Mathieu, B. R., Chang, M. C., & Hsiao, M. Y. (2022). Ultrasonographic diagnosis and guided treatment of erector spinae aponeurosis enthesopathy. *Med Ultrason*, 24(1), 120–121. doi:10.11152/mu-3596
- Maher, C., Underwood, M., & Buchbinder, R. (2017). Non-specific low back pain. *Lancet*, 389(10070), 736–747. doi:10.1016/s0140-6736(16)30970-9
- Malfliet, A., Ickmans, K., Huysmans, E., Coppieters, I., Willaert, W., Van Bogaert, W., . . . Nijs, J. (2019). Best Evidence Rehabilitation for Chronic Pain Part 3: Low Back Pain. *Journal of Clinical Medicine*, 8(7), 1063. doi:10.3390/jcm8071063
- Martin, C. T., Yaszemski, A. K., Ledonio, C. G. T., Barrack, T. C., & Polly, D. W., Jr. (2019). Oswestry Disability Index: Is Telephone Administration Valid? *Iowa Orthop J*, 39(2), 92–94.
- Mens, J., Vleeming, A., Snijders, C. J., Stam, H. J., & Ginai, A. Z. (1999). The active straight leg raising test and mobility of the pelvic joints. *European Spine Journal*, 8(6), 468–473.
- Mens, J. M., Vleeming, A., Snijders, C. J., Koes, B. W., & Stam, H. J. (2001). Reliability and validity of the active straight leg raise test in posterior pelvic pain since pregnancy. *Spine (Phila Pa 1976)*, 26(10), 1167–1171. doi:10.1097/00007632-200105150-00015
- Mens, J. M., Vleeming, A., Snijders, C. J., Stam, H. J., & Ginai, A. Z. (1999). The active straight leg raising test and mobility of the pelvic joints. *Eur Spine J*, 8(6), 468–473. doi:10.1007/s005860050206
- Monticone, M., Barbarino, A., Testi, C., Arzano, S., Moschi, A., & Negrini, S. (2004). Symptomatic efficacy of stabilizing treatment versus laser therapy for sub-acute low back pain with positive tests for sacroiliac dysfunction: a randomised clinical controlled trial with 1 year follow-up. *Eura Medicophys*, 40(4), 263–268.
- Morito, T., Akuzawa, H., Okubo, Y., Adachi, G., Oshikawa, T., & Kaneoka, K. (2022). Comparison of abdominal muscle activity with various verbal instructions and onset activity analysis during draw-in maneuver. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 18(4), 264–271. doi:10.12965/jer.2244254.127

- Murakami, E., Kurosawa, D., & Aizawa, T. (2018a). Sacroiliac joint arthrodesis for chronic sacroiliac joint pain: an anterior approach and clinical outcomes with a minimum 5-year follow-up. *J Neurosurg Spine*, *29*(3), 279–285. doi:10.3171/2018.1.SPINE17115
- Murakami, E., Kurosawa, D., & Aizawa, T. (2018b). Treatment strategy for sacroiliac joint-related pain at or around the posterior superior iliac spine. *Clin Neurol Neurosurg*, *165*, 43–46. doi:10.1016/j.clineuro.2017.12.017
- Nachemson, A. (1968). The Possible Importance of the Psoas Muscle for Stabilization of the Lumbar Spine. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, *39*(1–3), 47–57. doi:10.3109/17453676808989438
- Neblett, R., Brede, E., Mayer, T. G., & Gatchel, R. J. (2013). What is the Best Surface EMG Measure of Lumbar Flexion–Relaxation for Distinguishing Chronic Low Back Pain Patients From Pain-free Controls? *The Clinical Journal of Pain*, *29*(4), 334–340. doi:10.1097/ajp.0b013e318267252d
- Nejati, P., Safarcherati, A., & Karimi, F. (2019). Effectiveness of Exercise Therapy and Manipulation on Sacroiliac Joint Dysfunction: A Randomized Controlled Trial. *Pain Physician*, *22*(1), 53–61. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30700068>
- Ng, J. K., Kippers, V., & Richardson, C. A. (1998). Muscle fibre orientation of abdominal muscles and suggested surface EMG electrode positions. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, *38*(1), 51–58.
- O’Sullivan, K., Verschueren, S., Van Hoof, W., Ertanir, F., Martens, L., & Dankaerts, W. (2013). Lumbar repositioning error in sitting: healthy controls versus people with sitting-related non-specific chronic low back pain (flexion pattern). *Man Ther*, *18*(6), 526–532. doi:10.1016/j.math.2013.05.005
- O’Sullivan, P. B., Beales, D. J., Beetham, J. A., Cripps, J., Graf, F., Lin, I. B., . . . Avery, A. (2002). Altered motor control strategies in subjects with sacroiliac joint pain during the active straight-leg-raise test. *Spine (Phila Pa 1976)*, *27*(1), E1–8. doi:10.1097/00007632-200201010-00015
- O’Sullivan, P. B., Burnett, A., Floyd, A. N., Gadsdon, K., Logiudice, J., Miller, D., & Quirke, H. (2003). Lumbar repositioning deficit in a specific low back pain population. *Spine (Phila Pa 1976)*, *28*(10), 1074–1079. doi:10.1097/01.Brs.0000061990.56113.6f
- Oh, J. S., Cynn, H. S., Won, J. H., Kwon, O. Y., & Yi, C. H. (2007). Effects of performing an abdominal drawing-in maneuver during prone hip extension exercises on hip and back extensor muscle activity and amount of anterior pelvic tilt. *J Orthop Sports Phys Ther*, *37*(6), 320–324. doi:10.2519/jospt.2007.2435
- Okubo, Y., Kaneoka, K., Hasebe, K., Matsunaga, N., Imai, A., & Hodges, P. W. (2021). Differential activation of psoas major and rectus femoris during active straight leg

- raise to end range. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *60*, 102588.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2021.102588>
- Okubo, Y., Kaneoka, K., Shiina, I., Tatsumura, M., & Miyakawa, S. (2013). Abdominal muscle activity during a standing long jump. *J Orthop Sports Phys Ther*, *43*(8), 577–582.
doi:10.2519/jospt.2013.4420
- Oliveira, C. B., Maher, C. G., Pinto, R. Z., Traeger, A. C., Lin, C. C., Chenot, J. F., . . . Koes, B. W. (2018). Clinical practice guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care: an updated overview. *Eur Spine J*, *27*(11), 2791–2803.
doi:10.1007/s00586-018-5673-2
- Oshikawa, T., Adachi, G., Akuzawa, H., Okubo, Y., & Kaneoka, K. (2020). Electromyographic analysis of abdominal muscles during abdominal bracing and hollowing among six different positions. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, *9*(4), 157–163. doi:10.7600/jpfsm.9.157
- Owen, P. J., Miller, C. T., Mundell, N. L., Verswijveren, S. J. J. M., Tagliaferri, S. D., Brisby, H., . . . Belavy, D. L. (2020). Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *54*(21), 1279–1287. doi:10.1136/bjsports-2019-100886
- Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord*, *5*(4), 383–389; discussion 397.
Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1490034>
- Park, R. J., Tsao, H., Claus, A., Cresswell, A. G., & Hodges, P. W. (2013). Changes in Regional Activity of the Psoas Major and Quadratus Lumborum With Voluntary Trunk and Hip Tasks and Different Spinal Curvatures in Sitting. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, *43*(2), 74–82. doi:10.2519/jospt.2013.4292
- Penning, L. (2000). Psoas muscle and lumbar spine stability: a concept uniting existing controversies. Critical review and hypothesis. *Eur Spine J*, *9*(6), 577–585.
doi:10.1007/s005860000184
- Perkins-Ceccato, N., Passmore, S., & Lee, T. (2003). Effects of focus of attention depend on golfers' skill. *Journal of sports sciences*, *21*, 593–600.
doi:10.1080/0264041031000101980
- Pourahmadi, M., Hesarikia, H., Keshtkar, A., Zamani, H., Bagheri, R., Ghanjal, A., & Shamsoddini, A. (2019). Effectiveness of Slump Stretching on Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Pain Medicine*, *20*(2), 378–396.
doi:10.1093/pm/pny208
- Rainville, J., Hartigan, C., Jouve, C., & Martinez, E. (2004). The influence of intense exercise-based physical therapy program on back pain anticipated before and induced by physical activities. *Spine J*, *14*(2), 176–183.
doi:10.1016/j.spinee.2003.08.031

- Rankin, G., Stokes, M., & Newham, D. J. (2006). Abdominal muscle size and symmetry in normal subjects. *Muscle Nerve*, *34*(3), 320–326. doi:10.1002/mus.20589
- Reddy, R. S., Tedla, J. S., Alshahrani, M. S., Asiri, F., Kakaraparthi, V. N., Samuel, P. S., & Kandakurti, P. K. (2022). Reliability of hip joint position sense tests using a clinically applicable measurement tool in elderly participants with unilateral hip osteoarthritis. *Scientific Reports*, *12*(1). doi:10.1038/s41598-021-04288-3
- Reiman, M. P., Bolgla, L. A., & Loudon, J. K. (2012). A literature review of studies evaluating gluteus maximus and gluteus medius activation during rehabilitation exercises. *Physiother Theory Pract*, *28*(4), 257–268. doi:10.3109/09593985.2011.604981
- Relph, N., Herrington, L., & Tyson, S. (2014). The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. *Physiotherapy*, *100*(3), 187–195. doi:10.1016/j.physio.2013.11.002
- Ricci, V., & Özçakar, L. (2019). Ultrasound-guided injection of the erector spinae enthesis for iliac crest pain syndrome. *J Res Med Sci*, *24*, 69. doi:10.4103/jrms.JRMS_1034_18
- Richardson, C. A., Snijders, C. J., Hides, J. A., Damen, L., Pas, M. S., & Storm, J. (2002). The relation between the transversus abdominis muscles, sacroiliac joint mechanics, and low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, *27*(4), 399–405. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11840107>
- ROLAND, M., & MORRIS, R. (1983). A Study of the Natural History of Back Pain: Part I: Development of a Reliable and Sensitive Measure of Disability in Low-Back Pain. *SPINE*, *8*(2), 141–144. Retrieved from https://journals.lww.com/spinejournal/Fulltext/1983/03000/A_Study_of_the_Natural_History_of_Back_Pain_Part.4.aspx
- Rupert, M. P., Lee, M., Manchikanti, L., Datta, S., & Cohen, S. P. (2009). Evaluation of sacroiliac joint interventions: a systematic appraisal of the literature. *Pain Physician*, *12*(2), 399–418. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19305487>
- Sakamoto, N., Yamashita, T., Takebayashi, T., Sekine, M., & Ishii, S. (2001). An electrophysiologic study of mechanoreceptors in the sacroiliac joint and adjacent tissues. *Spine (Phila Pa 1976)*, *26*(20), E468–471. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11598526>
- Sapsford, R. R., Hodges, P. W., Richardson, C. A., Cooper, D. H., Markwell, S. J., & Jull, G. A. (2001). Co-activation of the abdominal and pelvic floor muscles during voluntary exercises. *Neurorol Urodyn*, *20*(1), 31–42. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11135380>

- Saragiotto, B. T., Maher, C. G., Yamato, T. P., Costa, L. O., Menezes Costa, L. C., Ostelo, R. W., & Macedo, L. G. (2016). Motor control exercise for chronic non-specific low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev*, *2016*(1), Cd012004. doi:10.1002/14651858.Cd012004
- Saragiotto, B. T., Maher, C. G., Yamato, T. P., Costa, L. O. P., Costa, L. C. M., Ostelo, R., & Macedo, L. G. (2016). Motor Control Exercise for Nonspecific Low Back Pain: A Cochrane Review. *Spine (Phila Pa 1976)*, *41*(16), 1284–1295. doi:10.1097/brs.0000000000001645
- Schoenfeld, B. J., Vigotsky, A., Contreras, B., Golden, S., Alto, A., Larson, R., . . . Paoli, A. (2018). Differential effects of attentional focus strategies during long-term resistance training. *Eur J Sport Sci*, *18*(5), 705–712. doi:10.1080/17461391.2018.1447020
- Semciw, A. I., Pizzari, T., & Green, R. A. (2013). Technical application and the level of discomfort associated with an intramuscular electromyographic investigation into gluteus minimus and gluteus medius. *Gait Posture*, *38*(1), 157–160. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.10.010
- Sheeran, L., Sparkes, V., Catterson, B., Busse-Morris, M., & van Deursen, R. (2012). Spinal position sense and trunk muscle activity during sitting and standing in nonspecific chronic low back pain: classification analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*, *37*(8), E486–495. doi:10.1097/BRS.0b013e31823b00ce
- Sjödahl, J., Gutke, A., Ghaffari, G., Strömberg, T., & Öberg, B. (2016). Response of the muscles in the pelvic floor and the lower lateral abdominal wall during the Active Straight Leg Raise in women with and without pelvic girdle pain: An experimental study. *Clinical Biomechanics*, *35*, 49–55. doi:10.1016/j.clinbiomech.2016.04.007
- Sjödahl, J., Kvist, J., Gutke, A., & Öberg, B. (2009). The postural response of the pelvic floor muscles during limb movements: A methodological electromyography study in parous women without lumbopelvic pain. *Clinical Biomechanics*, *24*(2), 183–189. doi:10.1016/j.clinbiomech.2008.11.004
- Snijders, C., Vleeming, A., & Stoeckart, R. (1993). Transfer of lumbosacral load to iliac bones and legs:: Part 2: Loading of the sacroiliac joints when lifting in a stooped posture. *Clinical biomechanics*, *8*(6), 295–301.
- Stevens, V. K., Vleeming, A., Bouche, K. G., Mahieu, N. N., Vanderstraeten, G. G., & Danneels, L. A. (2007). Electromyographic activity of trunk and hip muscles during stabilization exercises in four-point kneeling in healthy volunteers. *European Spine Journal*, *16*(5), 711–718. doi:10.1007/s00586-006-0181-1
- Stoate, I. (2011). Does the Attentional Focus Adopted by Swimmers Affect Their Performance? *International Journal of Sports Science and Coaching*, *6*, 99–108. doi:10.1260/1747-9541.6.1.99

- Suka, M., & Yoshida, K. (2009). The national burden of musculoskeletal pain in Japan: Projections to the year 2055. *Clin J Pain, 25*(4), 313–319.
doi:10.1097/AJP.0b013e31818c00c5
- Suzuki, H., Kanchiku, T., Imajo, Y., Yoshida, Y., Nishida, N., & Taguchi, T. (2016). Diagnosis and Characters of Non-Specific Low Back Pain in Japan: The Yamaguchi Low Back Pain Study. *PLoS One, 11*(8), e0160454. doi:10.1371/journal.pone.0160454
- Tayashiki, K., Takai, Y., Maeo, S., & Kanehisa, H. (2015). Intra-abdominal Pressure and Trunk Muscular Activities during Abdominal Bracing and Hollowing. *International Journal of Sports Medicine, 37*(02), 134–143. doi:10.1055/s-0035-1559771
- Tesh, K. M., Dunn, J. S., & Evans, J. H. (1987). The abdominal muscles and vertebral stability. *Spine (Phila Pa 1976), 12*(5), 501–508. doi:10.1097/00007632-198706000-00014
- Teyhen, D. S., Williamson, J. N., Carlson, N. H., Suttles, S. T., O’Laughlin, S. J., Whittaker, J. L., . . . Childs, J. D. (2009). Ultrasound characteristics of the deep abdominal muscles during the active straight leg raise test. *Arch Phys Med Rehabil, 90*(5), 761–767. doi:10.1016/j.apmr.2008.11.011
- Tong, M. H., Mousavi, S. J., Kiers, H., Ferreira, P., Refshauge, K., & van Dieen, J. (2017). Is There a Relationship Between Lumbar Proprioception and Low Back Pain? A Systematic Review With Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil, 98*(1), 120–136 e122. doi:10.1016/j.apmr.2016.05.016
- Tsao, H., Galea, M. P., & Hodges, P. W. (2010). Driving plasticity in the motor cortex in recurrent low back pain. *Eur J Pain, 14*(8), 832–839.
doi:10.1016/j.ejpain.2010.01.001
- Tsao, H., & Hodges, P. W. (2007). Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training. *Experimental Brain Research, 181*(4), 537–546. doi:10.1007/s00221-007-0950-z
- Tsao, H., & Hodges, P. W. (2008). Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain. *J Electromyogr Kinesiol, 18*(4), 559–567. doi:10.1016/j.jelekin.2006.10.012
- Urquhart, D. M., Barker, P. J., Hodges, P. W., Story, I. H., & Briggs, C. A. (2005). Regional morphology of the transversus abdominis and obliquus internus and externus abdominis muscles. *Clin Biomech (Bristol, Avon), 20*(3), 233–241.
doi:10.1016/j.clinbiomech.2004.11.007
- Urquhart, D. M., Hodges, P. W., Allen, T. J., & Story, I. H. (2005). Abdominal muscle recruitment during a range of voluntary exercises. *Man Ther, 10*(2), 144–153. doi:10.1016/j.math.2004.08.011
- Vanti, C., Andreatta, S., Borghi, S., Guccione, A. A., Pillastrini, P., & Bertozzi, L. (2019). The effectiveness of walking versus exercise on pain and function in chronic low back

- pain: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Disabil Rehabil*, 47(6), 622–632. doi:10.1080/09638288.2017.1410730
- Vilensky, J. A., O'Connor, B. L., Fortin, J. D., Merkel, G. J., Jimenez, A. M., Scofield, B. A., & Kleiner, J. B. (2002). Histologic analysis of neural elements in the human sacroiliac joint. *Spine (Phila Pa 1976)*, 27(11), 1202–1207. doi:10.1097/00007632-200206010-00012
- Vleeming, A., Pool-Goudzwaard, A. L., Hammudoghlu, D., Stoeckart, R., Snijders, C. J., & Mens, J. M. (1996). The function of the long dorsal sacroiliac ligament: its implication for understanding low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*, 21(5), 556–562. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8852309>
- Vleeming, A., Pool-Goudzwaard, A. L., Stoeckart, R., van Wingerden, J. P., & Snijders, C. J. (1995). The posterior layer of the thoracolumbar fascia. Its function in load transfer from spine to legs. *Spine (Phila Pa 1976)*, 20(7), 753–758. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7701385>
- Willard, F. H., Vleeming, A., Schuenke, M. D., Danneels, L., & Schleip, R. (2012). The thoracolumbar fascia: anatomy, function and clinical considerations. *J Anat*, 221(6), 507–536. doi:10.1111/j.1469-7580.2012.01511.x
- Wulf, G., Dufek, J. S., Lozano, L., & Pettigrew, C. (2010). Increased jump height and reduced EMG activity with an external focus. *Hum Mov Sci*, 29(3), 440–448. doi:10.1016/j.humov.2009.11.008
- Yamato, T. P., Maher, C. G., Saragiotto, B. T., Hancock, M. J., Ostelo, R., Cabral, C. M. N., . . . Costa, L. O. P. (2016). Pilates for Low Back Pain: Complete Republication of a Cochrane Review. *Spine (Phila Pa 1976)*, 41(12), 1013–1021. doi:10.1097/brs.0000000000001398
- Yamato, T. P., Maher, C. G., Saragiotto, B. T., Hancock, M. J., Ostelo, R. W., Cabral, C. M., . . . Costa, L. O. (2015). Pilates for low back pain. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015(7), Cd010265. doi:10.1002/14651858.CD010265.pub2
- Yoo, H. I., Hwang, U. J., Ahn, S. H., Gwak, G. T., & Kwon, O. Y. (2021). Comparison of pelvic rotation angle in the transverse plane in the supine position and during active straight leg raise between people with and without nonspecific low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 83, 105310. doi:10.1016/j.clinbiomech.2021.105310
- Yoshio, M., Murakami, G., Sato, T., Sato, S., & Noriyasu, S. (2002). The function of the psoas major muscle: passive kinetics and morphological studies using donated cadavers. *Journal of Orthopaedic Science*, 7(2), 199–207. doi:<https://doi.org/10.1007/s007760200034>
- Zhu, F., Zhang, M., Wang, D., Hong, Q., Zeng, C., & Chen, W. (2020). Yoga compared to non-exercise or physical therapy exercise on pain, disability, and quality of life for patients with chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis of

randomized controlled trials. *PLoS One*, 15(9), e0238544.

doi:10.1371/journal.pone.0238544

厚生労働省. (2018). 令和元年国民生活基礎調査.

成田崇矢, 金岡恒治. (2017). 徒手療法を用いた腰痛の病態評価の試み. *日本整形外科学会雑誌*, 37

(1), 22-26.

日本整形外科学会. (2019). 腰痛診療ガイドライン 2019 改訂第2版 日本整形外科学会
診療ガイドライン委員会. 南江堂

謝辞

博士論文執筆にあたり、多くの方々のご指導・ご支援いただいたこと、心から感謝申し上げます。

金岡恒治教授には病院、早稲田大学所沢保健センター、東伏見クリニックと、先生の診療につきながら一緒にデータの収集をさせていただいたことは医療者として、研究者として一生の財産です。目の前の患者さんの声に耳を傾け、現象を考察する。人生の道標となる恩師に出会えたことをご縁を大切にしたいと思います。引き続きどうぞよろしくお願いいたします。

早稲田大学スポーツ科学学術院教授 熊井司先生、鳥居俊先生には本論文の審査を引き受けていただきまして、まことにありがとうございます。先生方の本質をつくご意見は、本論文のみならず、今後の研究課題・臨床に活かして参りたいと思います。今後ともご指導賜りますようお願いいたします。

助教の押川先生には実験の設定や解析、執筆に至るまで大変お世話になりました。押川先生なしには修了できていなかったと思います。今後とも様々な事業を一緒に行えたらと思います。今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

新潟医療福祉大学の阿久澤弘先生、埼玉医科大学の大久保雄先生、卒業生の安達玄先生には一緒にワイヤ実験を行っていただきました。先生方無しには実験は実施することもできなかったと思います。理学療法士の視点も踏まえて筋活動の意義、治療への示唆等、様々な考えを伺うことができました。今後とも一緒に理学療法士界を盛り上げられたらと思います。

金岡研究室の皆様には毎週のゼミ活動や博論、修論、卒論の実験など大変お世話になりました。一緒に授業を受けたり実験を行えたりしたこと、有意義な時間でした。

広島国際大学元教授、現(株)GLAB 蒲田和芳先生、広島国際大学蒲田研究室の皆様にも様々なご助言をいただきました。研究室は解散となってしまいましたが、引き続き、一緒に研究等を行えたら幸いです。

中部学院大学元教授・現運動器機能解剖学研究所 林典雄先生、林研究室、同期の皆にも常に励まされました。友人でありながら良きライバルでもある皆の存在が、いつも背中を押してくれました。ありがとうございます。

東広島整形外科クリニックの皆さん、東広島記念病院の皆さん、霞ヶ浦リハビリテーション整形外科クリニックの皆さんには、非常勤という立場でいつも甘えさせていただいておりました。皆様のご支援がなければ生活も成り立たず、本論文を書き終えることはできなかったと思っています。心より感謝申し上げます。

最後になりますが、大学院進学にあたり支援してくれた両親や親族、わがままばかりの私を見守りいつも笑顔を見せてくれる妻と3人の子どもたちに、心より感謝いたします。

2022年10月24日

森戸 剛史