



Title	慢性非特異的腰痛症例に対する腹部引き込み運動が体幹筋活動に与える影響
Author(s)	大須賀, 聡
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(保健科学)
Dissertation Number	甲第13984号
Issue Date	2020-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k13984
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/80570
Type	doctoral thesis
File Information	Satoshi_Osuka.pdf



学 位 論 文

慢性非特異的腰痛症例に対する
腹部引き込み運動が体幹筋筋活動に与える影響

大須賀 聡

北海道大学大学院保健科学院
保健科学専攻 保健科学コース

2019 年度

目次

要約	1
1. 諸言	3
1.1. 慢性非特異的腰痛症	3
1.2. 体幹筋と腰痛	5
1.3. 慢性非特異的腰痛症症例の有する体幹筋機能障害	6
1.4. 腹部引き込み運動	8
1.5. 本研究の目的	8
2. 方法	9
2.1. 対象	9
2.2. 介入方法	9
2.3. 外乱動揺課題	10
2.3.1. 計測手順	10
2.3.2. データ計測	12
2.3.3. データ解析	13
2.3.4. 統計学的解析	14
2.4. 上肢挙上課題	15
2.4.1. 計測手順	15
2.4.2. データ計測	15
2.4.3. データ解析	16
2.4.4. 統計学的解析	18
3. 結果	19
3.1. 外乱動揺課題における体幹筋筋活動への影響	19
3.2. 上肢挙上課題	23
3.2.1. 体幹筋筋活動への影響	23
3.2.2. 条件設定	24
3.3. 腰痛および日常生活動作障害に対する介入効果	25
4. 考察	26
4.1. 外乱動揺課題での体幹筋筋活動に関して	26
4.2. 上肢挙上課題	29
4.2.1. 体幹筋筋活動に関して	29
4.2.2. 条件設定	30

4.3. 腰痛および日常生活動作障害への介入効果に関して	30
4.4. 本研究の限界	31
5. 総括論議	32
6. 結論	33
7. 謝辞	34
8. 引用文献	35
9. 業績一覧	41

要約

1. 緒言

慢性非特異的腰痛 (Non-specific low back pain: NS-CLBP)症例は外乱動揺課題において、体幹筋群の反応が遅延し、この体幹筋群の機能障害は非特異的腰痛症の慢性化に寄与すると報告されている。NS-CLBP 症例に対して推奨される保存療法の一つに運動療法が挙げられており、中でも腹部引き込み運動 (Abdominal draw-in maneuver: ADIM)は体幹深層筋の機能障害を改善することが、多くの先行研究において報告されている。しかしながら、NS-CLBP の症状の改善、慢性化予防には深層筋のみならず表層筋群を含めた体幹筋群の機能改善が重要である。NS-CLBP 症例を対象に ADIM が体幹表層筋群を含めた体幹筋群の活動性に与える影響を検討した先行研究は少なく、外乱動揺課題に対する体幹筋群の活動性を検討した先行研究はない。また、ADIM による介入が体幹深層筋の活動性に変化を生じさせたか検討することは、ADIM の効果発現機序を解明する上で必須と考えられる。本研究の目的は 1)外乱動揺課題における体幹筋群の活動性への ADIM による介入効果を検討すること、2)上肢挙上課題における体幹深層筋の活動性への ADIM による介入効果を検討することである。

2. 方法

対象は NS-CLBP 症例 17 例とし、ADIM による介入を 4 週間実施した。介入前後にて被験者は下肢と骨盤を固定した Semi-seated position をとり、体幹屈曲方向および体幹伸展方向への外乱動揺課題と上肢挙上課題を実施した。筋活動の測定には表面筋電計を使用し、外乱動揺課題においては右側の内腹斜筋/腹横筋、外腹斜筋、腹直筋、腰部脊柱起立筋、胸部脊柱起立筋、広背筋の 6 筋を被検筋とした。上肢挙上課題においては左右の内腹斜筋/腹横筋、右側三角筋前部線維の 3 筋を被検筋とした。外乱動揺課題においては活動開始時点 (onset)、活動停止時点 (offset)、体幹屈曲筋群と体幹伸展筋群が同時に活動していた時間である co-contraction time を算出した。また、上肢挙上課題においては内腹斜筋/腹横筋の onset、筋活動量を算出した。統計解析においては検討項目の正規性を確認した後に、介入前後での比較を行った。

3. 結果

ADIM による介入後、体幹伸展方向への外乱動揺課題では体幹屈曲筋群の onset が、体幹屈曲方向への外乱動揺課題では体幹屈曲筋群の offset が、介入後、有意に早期に生じた。また、外乱動揺課題における co-contraction time は ADIM による介入後、有意に低値を示した。上肢挙上課題においては、左側の内腹斜筋/腹横筋の onset が介入前と比較して有意に早期に生じた。また、右側の内腹斜筋/腹横筋の筋活動量に有意な増加が認められた。

4. 考察および結論

本研究は ADIM による介入が、NS-CLBP 症例の外乱動揺に対する体幹筋群の筋活動に変化を生じさせることを初めて明らかにした。ADIM の介入後、外乱動揺に対する体幹屈曲

筋群の筋活動が介入前と比較して早期に生じたが、体幹伸展筋群の活動性に変化は認められなかった。また、上肢挙上課題では、内腹斜筋/腹横筋の活動性に変化が認められた。したがって、本研究に認められた腹部の体幹表層筋群に認められた変化は、ADIMの介入を通して体幹深層筋の活動性が賦活されたため生じた変化である可能性がある。

1. 諸言

1.1. 慢性非特異的腰痛症

厚生労働省が公表する「国民生活基礎調査の概況」において、人口 1000 人に対する有訴者率では「腰痛症」が男性で最も多く、女性においては「肩こり」に次いで 2 番目に多かったと報告されている¹⁾。また、平成 30 年における業務上疾病発生状況等調査²⁾によると全業務上疾病のおよそ約 58%を腰痛症が占めていた。さらに Fujii³⁾らは本邦における 20-79 歳の男女 65,495 名から腰痛症の生涯有病率を調査し、男性 82.4 %、女性 84.5 %と共に 80 %を超える値であったことを報告している。したがって、本邦において腰痛症は非常に身近な健康問題であるが、これは国際的にも同様である。国際的な疾病負担研究⁴⁾ (Global Burden of Disease study) によると、328 の疾患や障害の中で障害生存年数 (Years Lived with Disability) を最も高めるものの一つに、腰痛症が挙げられている。またヨーロッパのガイドラインでは腰痛症の生涯有病率は 84%に上ると報告されており⁵⁾、これは本邦で実施された調査結果³⁾と類似した値であった。さらに米国においては、腰痛症による経済的損失は年間に約 1000 億ドル～2000 億ドルとされており⁶⁾、これらの先行研究結果から腰痛症は本邦のみに止まらず世界的にも有訴者数が多く、社会的損失の大きい健康問題であることが伺える。

腰痛症を引き起こす原因は多岐にわたり、脊椎性、神経性、内臓性、血管性、心因性の 5 つに大別される⁷⁾。この中において更に、腰痛症は理学所見や画像所見から病態が明確化できる特異的腰痛症と、理学所見や画像所見との関連が認められず原因を明らかにできない非特異的腰痛症とに分類され、米国のプライマリケアにおいては腰背部痛を愁訴とする患者の約 85%が非特異的腰痛症であったことが報告されている⁸⁾。一方、Suzuki ら⁹⁾は 320 名の腰痛症例に対して、山口県内の整形外科クリニックにて整形外科専門医による問診、理学所見、X 線画像診断、および診断的ブロックを実施し、疼痛を誘発する局所的な要因が明らかである腰痛症は全体の 78%であり、非特異的腰痛症に分類されたのは 22 %であったことを報告している。したがって、本邦では Deyo ら⁸⁾の報告と比較して割合は少ないものの、非特異的腰痛症と診断される患者が一定数存在すると考えられる。

腰痛症は病期別にも分類されており、発症から 6 週までを急性期、6 週から 12 週までを亜急性期、12 週以降を慢性期と定義されている¹⁰⁾。腰痛症は 6 週までの間に改善するものもあるが、6 週以降持続した腰痛症は改善に時間を要し、6 週から 52 週までの間にわずかな改善しか認められなかったとの報告がある¹¹⁾。また、急性腰痛の約 4 割が慢性腰痛へ発展するとも報告されている¹²⁾。本邦における疫学調査では、50 歳以上の日本人を対象として慢性特異的腰痛症は 9.3%、慢性非特異的腰痛症(Non-specific chronic low back pain: NS-CLBP)は 15.4%であったことが報告されている¹³⁾。

以上より腰痛症の有症率は高く、NS-CLBP と診断される患者も一定の割合にて存在する。NS-CLBP 症例に対して手術療法が適応となるケースは少なく、その多くに保存療法が処方される。過去に報告されたシステマティックレビューおよび 2019 年に発行された「腰痛診療ガイドライン 2019 改定第 2 版」において、NS-CLBP を含めた慢性腰痛症に対して推奨

される保存療法の一つに運動療法が挙げられているが¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾、現在効果的な運動療法の種類を明確に示す報告はなく、NS-CLBP 症例に対するリハビリテーション訓練を計画する上で、具体的な運動療法の効果を明らかにすることは重要である。

1.2. 体幹筋と腰痛

脊柱は筋組織以外の支持組織のみでは剛性はきわめて小さく、約 88 N の外力で脊椎分節間に座屈が生じる¹⁷⁾。したがって、脊椎が重力に抗しその配列を保持するには、体幹筋による制御が重要である。脊柱周囲には多数の筋が存在するが、Bergmark¹⁸⁾は各筋の構造的な特徴から、それらを体幹表層筋群、体幹深層筋群の 2 つに分類した。体幹表層筋群は内腹斜筋、外腹斜筋、腹直筋、腰方形筋、脊柱起立筋などにより構成されている。これらは表在部に位置し、多分節を横断し付着することで脊椎運動のトルク産生に重要である。そのため、これらの筋群は脊椎の方向性をコントロールし、また体幹に加わる外的な負荷に対して脊椎の運動を調節し、日常生活上での様々な外的負荷は体幹グローバル筋群により制御されている。一方、体幹深層筋群は体幹の深部に位置し、脊椎分節間の位置変化をコントロールする機能を有する小さな筋群であり、腹横筋や多裂筋などから構成される。また、内腹斜筋の後部線維は腹横筋と連続し¹⁹⁾、下腹部において腹横筋と走行が類似しているため²⁰⁾、部分的に腹横筋と同様な機能を有すると考えられ、体幹深層筋群に一部属する筋とみなされている¹⁸⁾²¹⁾。これら小さな筋群が産生する力は小さく、また体幹深層筋群は体幹の運動軸の近くに位置しているために関節へのトルク産生という観点からは非効率のだが、起始と停止が直接脊椎に付着しているため、脊椎分節間運動をコントロールする機能を有するものと考えられている。一方、体幹深層筋の筋力は小さいため、効率的に脊椎の剛性を高めることのできる体幹表層筋の活動性も重要である²²⁾。脊柱の分節的な安定性を獲得する上では体幹筋群全体が適切に活動することが重要であると考えられる。

脊柱の安定性について、Panjabi²³⁾は生理学的負荷でのニュートラルゾーン付近における分節間運動のコントロールが主要なパラメータになることを提唱した。ニュートラルゾーンとは椎間運動の内部抵抗が最少となる領域のことを指し、彼は臨床的な脊椎の不安定性を、「ニュートラルゾーンを生理学的制限内に維持する安定化システムの機能破綻」と定義している²³⁾。また、脊椎分節的な安定化に対して受動的構成体と能動的構成体の相互作用が重要であり、受動組織による受動サブシステム、筋による自動サブシステム、自動サブシステムの働きを調整する神経筋制御サブシステムの 3 つのサブシステムが正常に機能することで脊椎分節的な安定化が達成され、ニュートラルゾーンの拡大を防ぐとしている²³⁾。受動的サブシステムは受動組織の張力による制御であり、最終可動域における支持に貢献するのみであるため、ニュートラルゾーン内での分節的制御には自動サブシステムと神経筋制御サブシステムが関与する。神経筋制御サブシステムは感覚系からの情報を統合して、自動サブシステムのはたらきを調整する役割を有する。つまり、神経筋制御サブシステムの機能障害は自動サブシステムの機能に異常をきたし、脊椎の分節的な不安定性や周辺組織への反復的な微細損傷と疼痛をもたらす可能性がある²³⁾²⁴⁾。

1.3. 慢性非特異的腰痛症症例の有する体幹筋機能障害

前述のように体幹筋群全体が適切に活動することで脊柱の安定性が獲得される。これは感覚系からの情報を統合してなされるフィードバック制御と、今後の運動や負荷を予測してなされるフィードフォワード制御により構成される。フィードバック制御は感覚系からの情報を統合して適切な筋活動を調整する筋活動パターンのことであり、フィードフォワード制御は神経系により前もってプランニングされ、あらかじめ準備的に活動を開始する筋活動パターンのことである。

NS-CLBP 症例において、体幹筋群の活動性に機能障害が生じていることが多くの先行研究にて報告されている。通常、急速な上肢挙上運動時には脊椎分節間の安定性に寄与する腹横筋が他の体幹筋群や主動作筋よりも先行的に活動を開始し²⁵⁾²⁶⁾、フィードフォワード制御により脊椎分節間の安定性を高めることが報告されている。しかしながら NS-CLBP 症例は腰痛を有さない者と比較して、活動開始時点 (onset) が遅延することが報告されている²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾。この上肢挙上課題における腹横筋の onset の遅延は腰背部痛の自覚的疼痛強度を測定した VAS の値と有意な相関関係が認められており³¹⁾、疼痛強度と体幹筋の機能障害は関連することが報告されている。また、NS-CLBP 症例の体幹筋機能障害は体幹表層筋を含めた体幹筋群においても確認されている。電磁石を使用した外乱動揺課題において、体幹屈曲筋群、体幹伸展筋群の onset、活動停止時点 (offset) の遅延が生じることが報告され、フィードバック制御による体幹筋の活動性にも変化が認められた³²⁾³³⁾。また Radebold らはこの報告³²⁾の中で、NS-CLBP 症例は体幹屈曲筋群と体幹伸展筋群の同時収縮を伴う筋活動パターンを呈していたと述べている。Magnusson らは³⁴⁾体幹部に対して急速に負荷を生じさせ、外乱動揺を与えた際の脊柱起立筋の筋活動を測定し、脊柱起立筋の筋活動タイミングが腰痛を有さない対照群と比較して遅延が生じていることを報告した。さらに NS-CLBP 症例において体幹自動運動中に体幹表層筋の筋活動量が対照群と比較して有意に高値を示したことも報告されている³⁵⁾。以上のように NS-CLBP 症例の体幹筋機能障害として、多くの研究において体幹深層筋の活動性低下と、体幹表層筋群の活動性増加が報告されている。神経筋制御サブシステムの異常による体幹筋の機能障害は腰痛症につながる有害なストレスを周辺他動組織に与えるとされており²⁴⁾、非特異的腰痛症の慢性化に寄与するものと考えられる。

体幹筋機能障害が疼痛の原因であるのか、結果であるのか、現在その点に関して一致した見解は得られていない。しかしながら、高調食塩水により実験的に腰痛を誘発させた被験者において、上肢挙上課題における腹横筋の onset が NS-CLBP 症例と同様に遅延することが報告されている³⁶⁾³⁷⁾。したがって、このような体幹筋機能障害は痛みの原因ではなく、痛みが生ずることによる結果であると考えられる³⁸⁾。一方、Cholewicki ら³⁹⁾は大学生アスリートを対象に、シーズン前において外乱動揺に対する体幹筋群の筋活動を測定し、シーズン中の腰痛症の発症をモニタリングした結果、外乱動揺に対する offset の遅延が腰痛症の発症を予測したことを報告した。これは腰痛症発症の原因が体幹筋機能障害である可能性を示唆する結果であるが、彼らは同時に「急性腰痛症の経験の有無」も腰痛症の発

症を予測したと報告し、全体の 20.5 %に 3 日以上持続する急性腰痛の既往歴があったことを報告している。先行研究において、急性腰痛症が改善した後にも体幹筋の機能障害が残存したことが報告されており⁴⁰⁾、Cholewicki らの報告³⁹⁾においても過去の急性腰痛の発症以降、体幹筋機能障害が残存し、これがシーズン中の腰痛症の再発に影響した可能性も考えられる。体幹筋の機能障害と腰背部痛との関連に関しては更なる検討が必要であるが、体幹筋機能障害は非特異的腰痛症の慢性化、再発化に寄与する可能性があり、この改善は重要である。

1.4. 腹部引き込み運動

「腰痛診療ガイドライン 2019 改定第 2 版」において、慢性腰痛症例に対する運動療法は推奨される保存療法の一つとされており¹⁶⁾、NS-CLBP 症例にリハビリテーション訓練を実施する上で体幹筋機能障害の改善を目的とした訓練プログラムの構築は重要である。腹部引き込み運動（Abdominal draw-in maneuver: ADIM）は腹横筋の単独収縮を通して、体幹深層筋群の活動性を向上させることを目的とする運動療法である⁴¹⁾。ADIM による介入効果を検討した先行研究では上肢挙上課題における腹横筋の onset が有意に早期化したことが報告されている⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾。また Hides ら⁴⁵⁾は ADIM を含めたエクササイズを実施したことで体幹深層筋の横断面積が増加し、NS-CLBP の疼痛強度に改善が認められたことを報告している。さらに ADIM を含む Motor Control Exercise は、NS-CLBP に対する保存療法のガイドラインにおいても推奨されている運動療法の一つとされている¹⁴⁾。腰痛症の症状の改善、およびさらなる慢性化の予防には体幹深層筋のみならず体幹表層筋を含めた筋活動の機能障害の改善が重要であるが、体幹筋群全体の活動性に対する ADIM の介入効果を検討した先行研究は少なく、NS-CLBP 症例を対象に外乱動揺課題において体幹筋群全体の活動性に ADIM が与える影響を検討した先行研究はない。

1.5. 本研究の目的

外乱動揺課題における体幹筋機能障害への介入効果を明らかにすることは、NS-CLBP 症例へのリハビリテーション訓練を計画する上で重要であると考えられる。また、ADIM の介入効果を検討する上で、体幹深層筋の活動性に変化を生じさせたかを検討することは、ADIM の効果発現機序を解明する上で必須と考えられる。本研究の目的は（1）NS-CLBP 症例を対象に外乱動揺課題における体幹筋筋動に対する ADIM の介入効果を検討すること、（2）上肢挙上運動における体幹深層筋筋活動に与える影響を検討することである。

2. 方法

2.1. 対象

本研究には本学に所属する学生 17 名が参加し、被験者の年齢、身長、体重の平均値はそれぞれ 21.8 ± 1.1 歳、 172.0 ± 8.1 cm、 66.9 ± 10.5 kg であった。腰背部痛の定義としては第 12 肋骨の下縁から臀溝までの背部痛とした⁴⁶⁾。被験者の取り込み基準は、12 週間以上持続する腰背部痛を有する者とした。除外基準は、脊柱に重篤な疾患を有する者、脊柱に異常な画像所見の確認された者、神経症状を有する者、過去に体幹深層筋に特異的なエクササイズの実験のある者とした¹⁰⁾。本研究は北海道大学大学院保健科学院倫理審査委員会に申請し承認を得た (18-35)。本研究における被験者は事前に研究について十分な説明を受け、理解と同意を得られた者のみ同意書に署名し、研究に参加した。

2.2. 介入方法

各被験者には以下の ADIM による介入を 4 週間行った。各被験者らは検者より「脊椎や骨盤の動きを伴わないようにして、自然に呼吸をしながらゆっくり下腹部を引き込み 10 秒保持してください⁴¹⁾」との指導を受け、10 回×3 セットを 1 日 2 回実施するように指示された⁴²⁾。ADIM は体幹深層筋である腹横筋の単独収縮を目的とする。運動が適切になされているか確認するために、超音波画像診断装置を使用して腹横筋の筋厚の変化を測定することにより腹横筋の活動を確証した⁴¹⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾。McMeeken ら⁴⁹⁾は ADIM 実施中の腹横筋の筋厚変化率と筋活動量に有意な相関関係が認められることを報告している。超音波画像診断装置を用いた確認および練習は、初回実験日と介入開始 2 週間後に実施し、ADIM が適切に実施できているか確認した。ADIM の順守率は各被験者自身の記録を通して確認し、順守率が 30%に満たない被験者は本研究の解析対象から除外することとした。

2.3. 外乱動揺課題

2.3.1. 計測手順

計測手順として、まず初めに過去 2 週間の疼痛および日常生活動作障害を Visual Analogue Scale (VAS) および Oswestry Disability Index 2.0 (ODI)にて評価した。VAS は痛み の程度を水平な直線上に印をつける主観的な疼痛評価尺度である。測定には標準的な 100 mm の直線を使用し、0 mm を「疼痛なし」、100 mm を「耐えられない痛み」と定義した。ODI は慢性腰痛患者の日常生活動作に関する障害の程度を評価するために開発された質問紙である⁵⁰⁾。10 のセクションから構成され、それぞれのセクションは 6 段階の質問からなり重症度が増すほど高い点数が与えられている。得られた得点を 50 点満点で除し、それを % で表示する。

各質問紙への回答後、外乱動揺課題を行った。各被験者は脊椎の動きを制限しない範囲で骨盤、股関節の運動を制限し、体幹が正中位となる semi-seated position をとった (図 1)³⁹⁾。その際、脊椎以外の関節による姿勢制御が行われないように、上肢は胸の前で組んだ。被験者の第 9 胸椎の高位にケーブルを設置し、ケーブルには force sensor (PCB Piezotronics, Depew, NY, USA) と電磁石を介して重量物を連結し、胸部に牽引力を生じさせた。牽引方向は体幹屈曲、体幹伸展の 2 方向とし、各被験者の体重の 20 % に相当する重量を重量物の重量として設定した⁵¹⁾。連結された重量物は、電磁石に対する通電停止後に落下し、被験者は胸部に与えられていた牽引力から急速に放出され外乱動揺が加えられた¹⁰⁾¹¹⁾。牽引力を放出するタイミングは、被験者に提示せずランダムに行われた。練習回数は先行研究を参考に 8 回とし⁵²⁾、試行回数は 5 回とした。外乱動揺課題測定後に表面筋電計により測定した被検筋の最大等尺性収縮 (Maximum voluntary isometric contraction: MVIC) の計測を行った。表面筋電計による筋活動測定の詳細は次項に記述する。各筋における MVIC の測定には以下の方法を用いた。内腹斜筋/腹横筋 (IO/TrA) : 最大努力下での ADIM⁵³⁾、外腹斜筋 : 徒手筋力テスト (Manual muscle test: MMT) の体幹左回旋 段階 5 の方法に準ずる、腹直筋 : MMT の体幹屈曲 段階 5 の方法に準ずる、腰部脊柱起立筋 : MMT の体幹伸展 段階 5 の方法に準ずる、胸部脊柱起立筋 : MMT の体幹伸展 段階 5 の方法に準ずる、広背筋 : 腹臥位をとり右側肩関節内転 0°および肩関節内旋位にて肩関節を伸展する。検者は被験者の挙上された上肢を肩関節屈曲方向へ徒手抵抗を加える⁵⁴⁾。

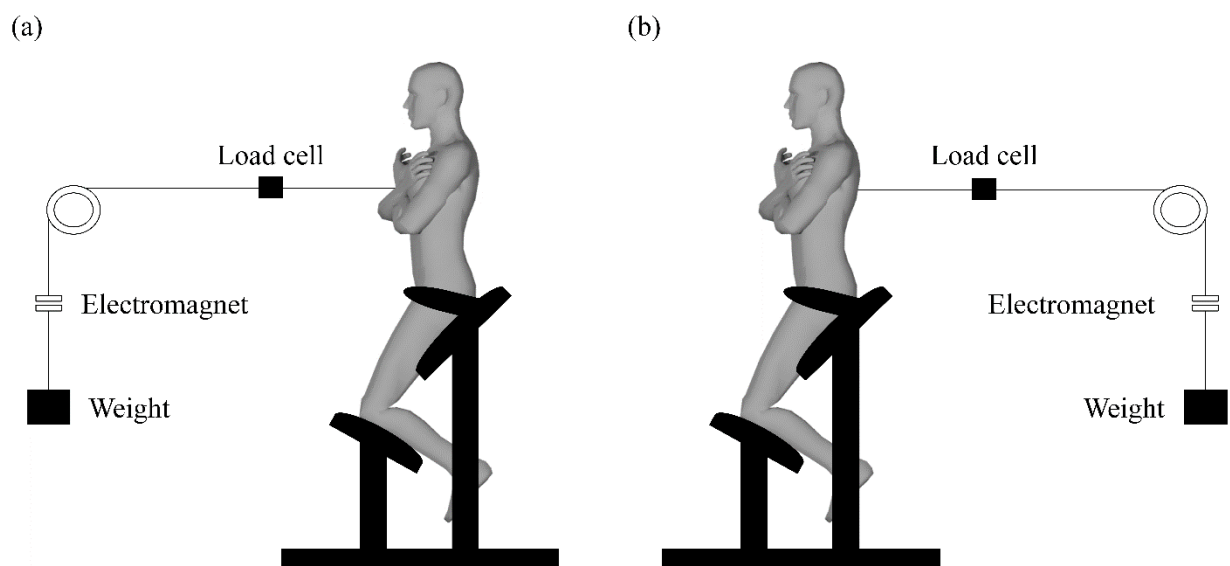


図 1 実験装置と動作課題．体幹屈曲方向に牽引した後に体幹伸展方向への外乱動揺を与える課題 (a)，体幹伸展方向へ胸部を牽引した後に体幹屈曲方向への外乱動揺を与える課題 (b)を実施した．

2.3.2. データ計測

計測は全て北海道大学大学院保健科学院にて実施した。データ計測にはワイヤレス表面筋電計(WEB-1000, Nihon Kohden Corporation, Tokyo, Japan)を使用し、サンプリング周波数は1000 Hz に設定した。被験筋は、右側の IO/TrA, 外腹斜筋, 腹直筋, 腰部脊柱起立筋, 胸部脊柱起立筋, 広背筋とした。ワイヤレス表面筋電計電極の貼付位置は次のように定義した²⁴⁾⁵⁵⁾; IO/TrA: 上前腸骨棘より 2 cm 内下方, 外腹斜筋: 臍より 15 cm 外側, 腹直筋: 臍より 3 cm 外側, 腰部脊柱起立筋: 第 3 腰椎棘突起から 3 cm 外側, 胸部脊柱起立筋: 第 9 胸椎棘突起から 5 cm 外側, 広背筋: 第 9 胸椎高位の筋腹上 (図 2)。電極の貼付前に皮膚抵抗を減ずるため, アルコールによる脱脂, 研磨剤による皮膚の角質処理を行った。皮膚処理後, 電極を各筋の走行に並行になるよう貼付した。電極貼付後に各筋が特異的に活動する動作を行い, 正確に筋活動が記録されることをモニター上にて確認した。

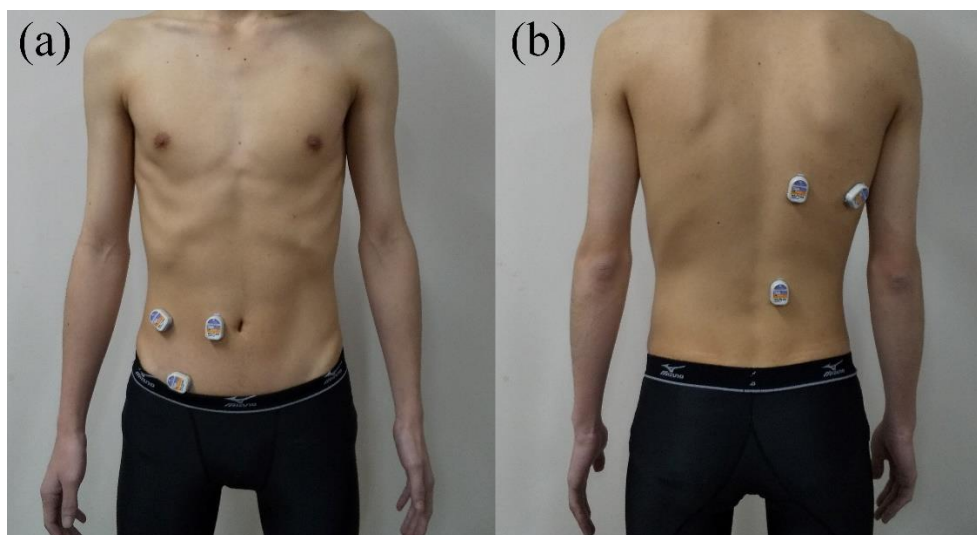


図 2. ワイヤレス表面筋電計電極貼付位置. (a) 内腹斜筋/腹横筋, 外腹斜筋, 腹直筋の電極貼付位置を示す. (b) 腰部脊柱起立筋, 胸部脊柱起立筋, 広背筋の電極貼付位置を示す.

2.3.3. データ解析

得られた筋活動データは zero lag fourth order butterworth band-pass filter (20-500 Hz) で処理した後、全波整流処理を行い、zero lag fourth order butterworth low-pass filter (10 Hz) により平滑化した³⁵⁾。外乱動揺に対する各筋の onset および offset を MATLAB 2018b (MathWorks Inc., Natick, MA, USA)を使用して算出した。被験者への牽引力の放出 80 msec 前をベースラインとして、ベースラインの筋活動を 2SD 上回り 25 msec 以上持続した初めの時点を onset と定義した²⁹⁾。また、ベースラインの筋活動を 2SD 下回り 25 msec 以上持続した初めの時点を offset と定義した²⁹⁾。基準 (t=0) には牽引力が放出された時点を使用し、基準に対する潜時として onset, offset は算出された。また、筋活動の波形上で解析結果が妥当なものであるか、検者により視覚的にも確認された⁵⁶⁾。体幹伸展方向への外乱動揺課題には、主動作筋群となる体幹屈曲筋群の onset, 拮抗筋群となる体幹伸展筋群の offset を算出し、体幹屈曲方向への外乱動揺課題には、主動作筋群となる体幹伸展筋群の onset, 拮抗筋群となる体幹屈曲筋群の offset を算出した。また、体幹屈曲筋群の筋活動として、IO/TrA, 外腹斜筋, 腹直筋の onset, offset の平均値を算出した。同様に体幹伸展筋群の筋活動として、胸部脊柱起立筋, 腰部脊柱起立筋, 広背筋の onset, offset の平均値を算出した。さらに、拮抗筋群の onset から主動作筋群の offset までの時間を co-contraction time として算出した。

外乱動揺前のベースラインと規定した牽引力の放出前 80 msec の Root mean square (RMS) を算出した。得られた値の正規化のため、MVIC 中の各筋の最大筋電図振幅を 100 msec の moving window algorithm を用いて特定し⁵⁷⁾、各動作時の RMS の最大値を算出し正規化に用いた。算出されたそれぞれのデータは各牽引方向それぞれに 5 試行の平均値を算出し、以後の解析に使用した。

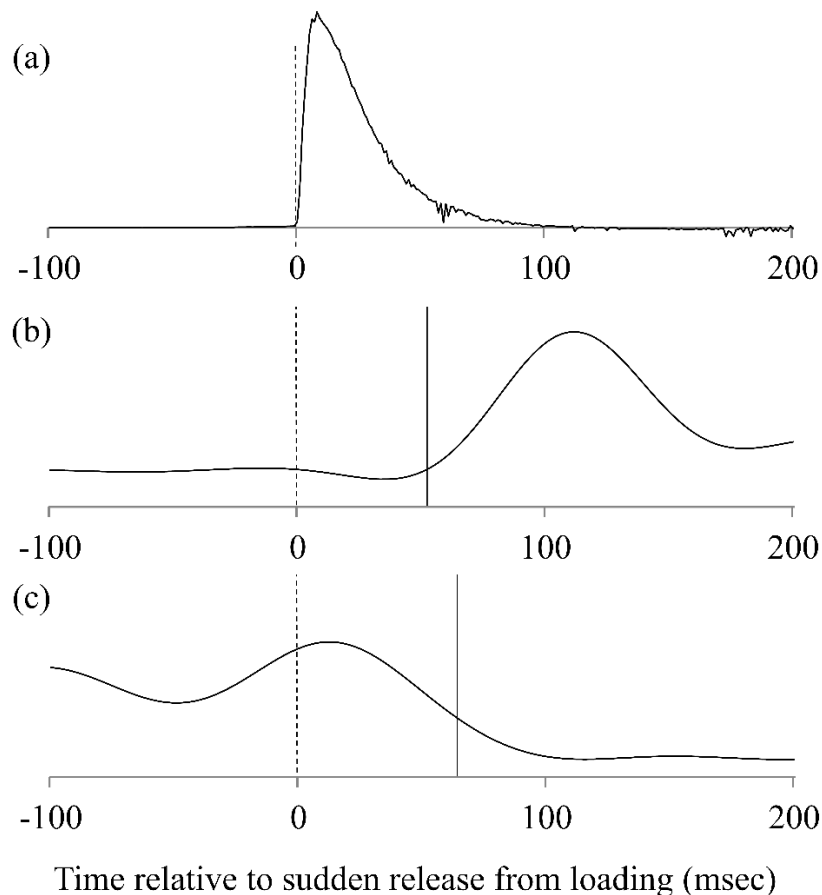


図 3 体幹伸展方向への外乱動揺課題における代表的な(a) force sensor, (b) 内腹斜筋/腹横筋の筋活動, (c) 腰部脊柱起立筋の筋活動の波形. 点線は基準と設定した重量物が放出された時点を示し, 実線はそれぞれ内腹斜筋/腹横筋の onset, 腰部脊柱起立筋の offset の時点を示す.

2.3.4. 統計学的解析

測定に先立ち予備実験を行い, G* power 3.1 (University of Dusseldorf, Dusseldorf, Germany) を用いて⁵⁸⁾, a priori power analysis を行った. 4 名の被験者から得られた予備実験結果から, 体幹伸展方向への外乱動揺課題における体幹屈曲筋群の offset を検討する上で, 検出力 80 %に達するための必要サンプル数を算出した. その結果, 必要なサンプル数は 15 名であった (Cohen's $d = 0.798$).

統計解析には IBM SPSS Statistics 17 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA)を使用した. 筋活動データから得られた結果, および質問紙から得られた結果に対して Shapiro-Wilk test による正規性検定を行った. 正規性が認められた場合は Paired t-test を, 正規性が認められなかった場合は Wilcoxon signed-rank test を使用し介入前後での比較を行った. 統計学的有意水準は 5%未満とした.

2.4. 上肢挙上課題

2.4.1. 計測手順

動作課題には多くの先行研究で体幹深層筋の活動性の評価に用いられている上肢挙上課題を使用した²⁷⁾²⁸⁾²⁹⁾。被験者は両足部の位置を肩幅と同間隔とした安静立位をとり、聴覚刺激に反応して最大速度で右側肩関節屈曲運動を行った。上肢挙上の運動範囲は肩関節屈曲 0°から 60°までと設定した²⁷⁾。測定する際に、被験者には角度の正確さよりも最高速度で上肢を挙上することを意識するように伝え測定を行った²⁷⁾。練習回数は先行研究を参考に 3-5 回に設定し、練習を行った後に 5 回の測定を行った³⁰⁾。上肢挙上課題測定後に IO/TrA の MVIC の計測を行った。MVIC の測定には最大努力下での ADIM を使用した⁵³⁾。

2.4.2. データ計測

計測は全て北海道大学大学院保健科学院にて実施した。データ計測にはワイヤレス表面筋電計、三次元動作解析装置 (Cortex-64 5.5.0.1579, Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA, USA)、7 台の高速度デジタルカメラ (Hawk camera; Motion Analysis Corporation) を使用した。サンプリング周波数は筋活動データを 1000 Hz、座標データを 200 Hz に設定した。被験者には赤外線反射マーカを 10 個貼付した (図 4)。赤外線反射マーカの貼付位置は先行研究⁵⁹⁾を参考に、左右両側の肩峰、上腕骨外側上顆、上腕骨内側上顆、橈骨茎状突起、尺骨茎状突起とした。被検筋は右側三角筋前部線維と左右両側の IO/TrA とした。表面筋電計電極の貼付位置は次のように定義した⁵⁵⁾⁶⁰⁾；IO/TrA：上前腸骨棘より 2 cm 内下方、三角筋前部線維：肩峰より 1 横指前下方 (図 4)。電極の貼付前に皮膚抵抗を減ずるため、アルコールによる脱脂、研磨剤による皮膚の角質処理を行った。皮膚処理後、電極を各筋の走行に並行になるよう貼付した。電極貼付後に各筋が特異的に活動する動作を行い、正確に筋活動が記録されることをモニター上にて確認した。

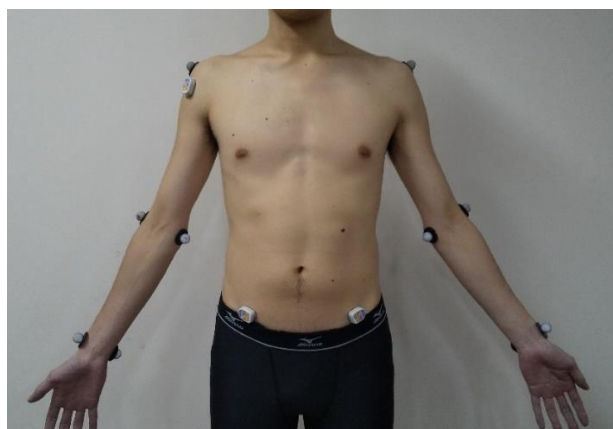


図 4. 表面筋電計電極と赤外線反射マーカの貼付位置。左右の内腹斜筋/腹横筋，右側三角筋前部線維の電極と 10 個の赤外線反射マーカの貼付位置を示す。

2.4.3. データ解析

表面筋電計より得られた筋活動データは zero lag fourth order butterworth band-pass filter (20-500 Hz) で処理した後、全波整流処理を行い、zero lag fourth order butterworth low-pass filter (10 Hz) により平滑化した³⁰⁾。ベースラインは聴覚刺激前 80 msec の区間と定義し、ベースラインの筋活動より 2SD 上回り 25 msec 以上持続した初めの時点を各筋の onset と定義した³³⁾。右側三角筋前部線維の onset を基準 ($t=0$) として設定し、左右両側の IO/TrA の onset を算出した。さらに上肢挙上運動に対する筋活動量として、三角筋前部線維の onset を基準に -100 msec から +100 msec までの区間を 50 msec 毎の区間に分け RMS を算出した (Epoch 1: -100 msec から -50 msec, Epoch 2: -50 msec から 0 msec, Epoch 3: 0 msec から +50 msec, Epoch 4: +50 msec から +100 msec)³⁶⁾。得られた値の正規化のため、MVIC 中の各筋の最大筋電図振幅を 100 msec の moving window algorithm を用いて特定し⁵⁷⁾、RMS の最大値を算出し正規化に用いた。

三次元動作解析装置より得られた座標データは、12 Hz の zero lag fourth order butterworth band-pass filter を用いて平滑化した³⁰⁾。得られた橈骨茎状突起、尺骨茎状突起、上腕骨内側上顆、上腕骨外側上顆の座標データから「前腕+手」セグメントを定義し、上腕骨内側上顆、上腕骨外側上顆、肩峰の座標データから「上腕」セグメントを定義した。Dempster ら⁶¹⁾の身体部分慣性係数に基づき各セグメントの質量中心を算出し肩関節屈曲角度、角速度、角加速度を算出した。動作課題の動作開始は角加速度がベースラインを 2SD 上回り、20 msec 以上持続した初めの時点とし、動作終了の定義は角加速度が減速のために負の値をとった後に再度 0 をとった時点とした⁵⁹⁾。ベースラインは聴覚刺激前 500 msec と定義した。これらの定義に基づき、動作開始から動作終了までの肩関節屈曲角度最大値、肩関節屈曲角速度平均値、肩関節屈曲角速度最大値を算出した。

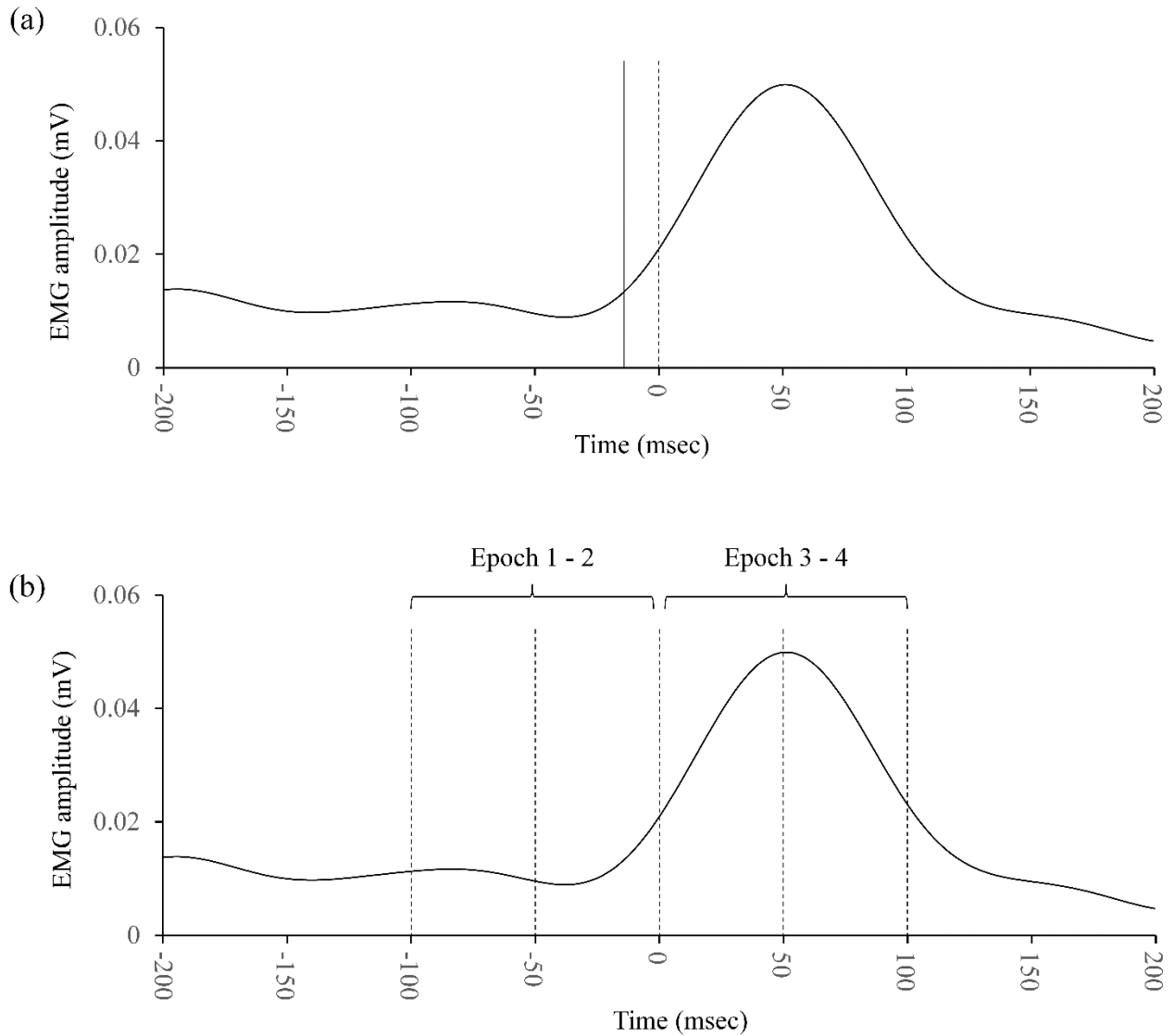


図 5. 代表的な左側内腹斜筋/腹横筋筋活動の波形の一例. (a) 点線は三角筋前部線維の onset を示し, 実線は内腹斜筋/腹横筋の onset を示す. (b) 内腹斜筋/腹横筋の筋活動量の解析区間 (Epoch 1-Epoch 4) を示す. 三角筋前部線維の onset を基準 ($t=0$) として -100 msec から -50 msec を Epoch 1, -50 msec から 0 msec を Epoch 2, 0 msec から +50 msec を Epoch 3, +50 msec から +100 msec を Epoch 4 として筋活動量を算出した.

2.4.4. 統計学的解析

統計解析には IBM SPSS Statistics 17 を使用した。IO/TrA の onset, および座標データから得られた結果に対して, Shapiro-Wilk test による正規性検定を行った。正規性が認められた場合は Paired t-test を, 正規性が認められなかった場合は Wilcoxon signed-rank test を使用し介入前後での比較を行った。また, IO/TrA の筋活動量を表す RMS の値に関して, 介入前後と解析区間の 2 要因による反復測定二元配置分散分析を実施した。Post-hoc test には Bonferroni 法を使用した。上肢挙上課題における IO/TrA の onset および RMS の値の変化量の相関関係の検討のために, 正規性が認められた場合は Pearson correlation coefficient を, 正規性が認められなかった場合は Spearman's rank correlation coefficient を使用した。統計学的有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

3.1. 外乱動揺課題における体幹筋筋活動への影響

本研究に参加した被験者の ADIM の順守率は平均 $75.9 \% \pm 13.5 \%$ であった。全ての被験者の順守率が 30 % を上回っており、全被験者のデータを解析に使用した。

体幹伸展方向、体幹屈曲方向それぞれの外乱動揺に対する体幹屈曲筋群、体幹伸展筋群の onset, offset の結果を図 6-7、表 1-2 に示す。体幹伸展方向への外乱動揺に対する体幹屈曲筋全体の onset は、介入前と比較して介入後に有意に早期に生じていたが ($P = 0.028$)、体幹伸展筋群の offset には有意差が認められなかった ($P = 0.620$) (図 6、表 1)。筋別の検討においては、外腹斜筋の onset と、胸部脊柱起立筋の offset が有意に早期に生じていた (外腹斜筋: $P = 0.022$, 胸部脊柱起立筋: $P = 0.024$) (表 1)。

体幹屈曲方向への外乱動揺に対する体幹屈曲筋全体の offset は介入前と比較して、介入後に早期に生じていた ($P = 0.001$) (図 7、表 2)。しかしながら体幹伸展筋全体の offset には有意差が認められなかった ($P = 0.163$)。各筋別の検討においては、腹直筋の offset が介入前と比較して早期に生じていた ($P = 0.029$) (表 2)。

co-contraction time においては、体幹屈曲方向への外乱動揺課題に有意差が認められ、介入前と比較して介入後に有意に低下した ($P = 0.016$) (表 3)。体幹伸展方向への外乱動揺課題にて介入前後で有意差は認められなかった ($P = 0.266$)。

外乱動揺前の筋活動量に関して、体幹伸展方向への外乱動揺課題では体幹伸展筋全体の筋活動量に有意差が認められ、介入前と比較して介入後の値が有意に低値を示したが ($P = 0.021$)、体幹屈曲筋全体の筋活動量には有意差が認められなかった ($P = 0.062$) (表 4)。筋別の検討においては、腹直筋、胸部脊柱起立筋、広背筋の筋活動量に有意差が認められ、介入前よりも介入後の値が有意に低値を示した (腹直筋: $P = 0.004$, 胸部脊柱起立筋: $P = 0.049$, 広背筋: $P < 0.001$) (表 4)。体幹屈曲方向への外乱動揺課題においては、体幹伸展筋全体の筋活動量に有意差が認められ、介入前と比較して介入後の値が有意に低値を示した ($P = 0.007$) (表 4)。しかしながら、体幹屈曲筋全体の筋活動量に有意差は認められなかった ($P = 0.266$)。筋別の検討においては、胸部脊柱起立筋の筋活動量に有意差が認められ、介入前と比較して介入後の値が有意に低値を示した ($P = 0.022$)。

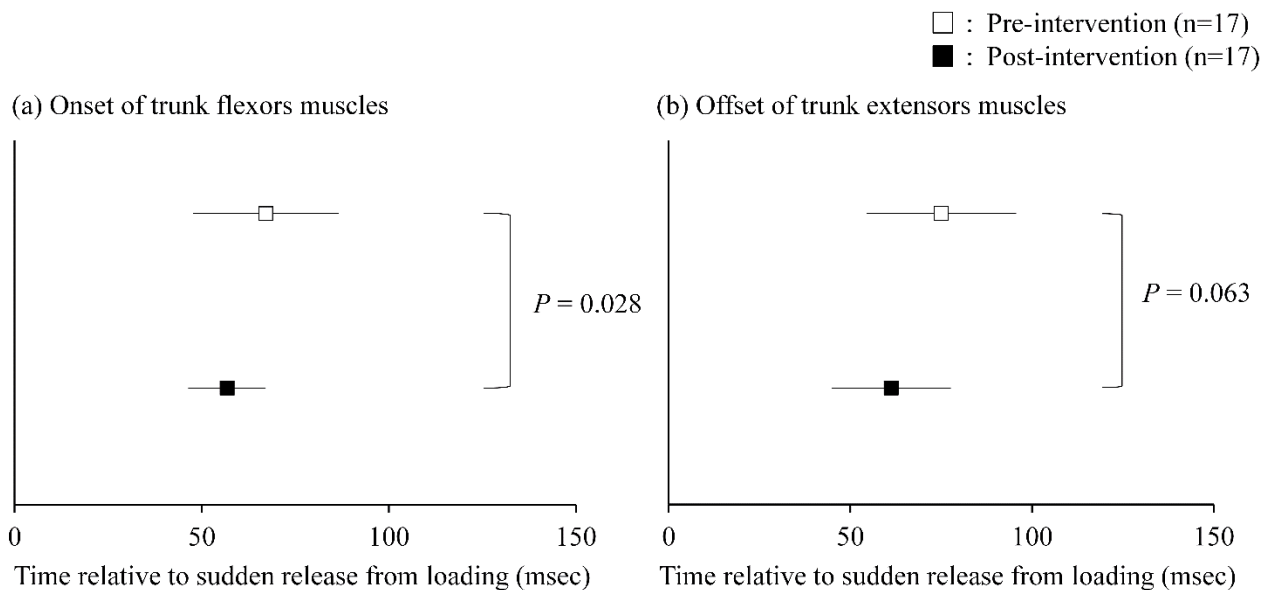


図 6. 体幹伸展方向への外乱動揺課題における体幹筋活動タイミングの介入前後での比較. (a) 体幹屈曲筋全体の onset の結果, (b) 体幹伸展筋全体の offset の結果を示す.

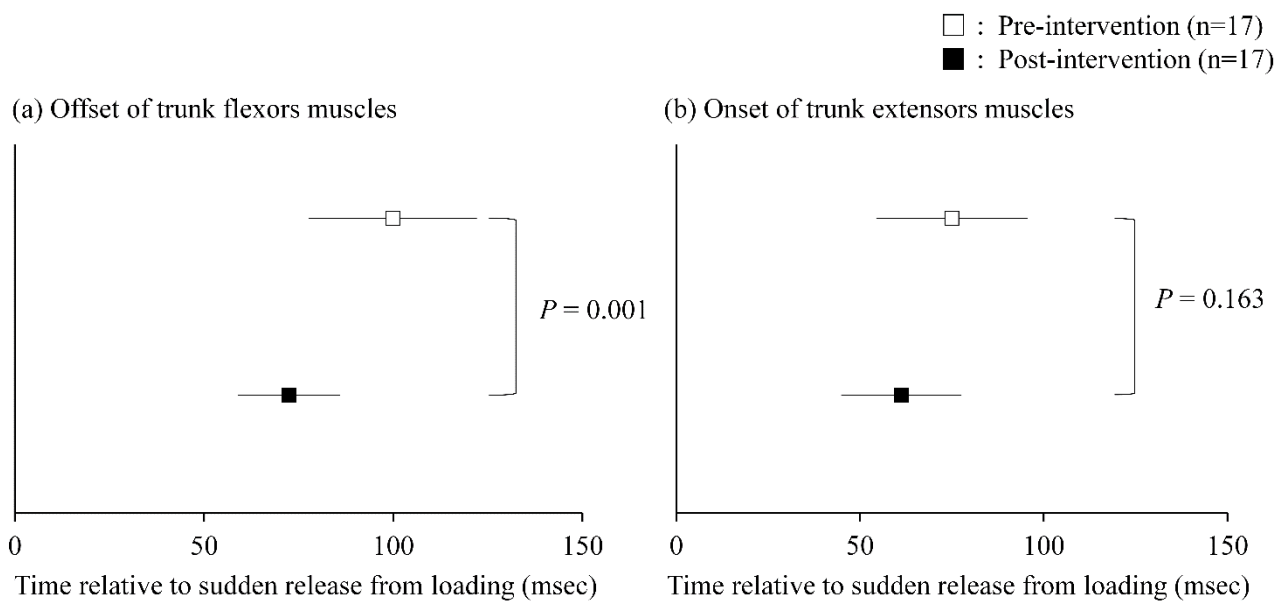


図 7. 体幹屈曲方向への外乱動揺課題における体幹筋活動タイミングの介入前後での比較. (a) 体幹屈曲筋全体の offset の結果, (b) 体幹伸展筋全体の onset の結果を示す.

表 1. 体幹伸展方向への外乱動揺に対する体幹筋筋活動タイミングの介入前後の比較

		介入前	介入後	P 値
活動開始時点 (msec)	体幹屈曲筋全体	67.1 (19.3)	56.8 (10.2)	0.028
	内腹斜筋/腹横筋	71.7 (25.0)	64.0 (16.5)	0.356
	外腹斜筋	63.9 (19.6)	52.0 (8.0)	0.022
	腹直筋	64.2 (22.4)	56.9 (13.9)	0.332
活動停止時点 (msec)	体幹伸展筋全体	75.0 (20.4)	61.3 (16.2)	0.063
	腰部脊柱起立筋	57.4 (20.5)	56.0 (17.0)	1.000
	胸部脊柱起立筋	86.6 (32.8)	58.4 (23.7)	0.024
	広背筋	98.8 (56.5)	103.3 (57.4)	0.868

平均値 (標準偏差)

表 2. 体幹屈曲方向への外乱動揺に対する体幹筋筋活動タイミングの介入前後の比較

		介入前	介入後	P 値
活動停止時点 (msec)	体幹屈曲筋全体	99.8 (22.1)	72.3 (10.2)	0.028
	内腹斜筋/腹横筋	116.7 (37.6)	88.4 (43.0)	0.050
	外腹斜筋	85.3 (46.7)	66.1 (11.8)	0.092
	腹直筋	92.9 (39.0)	63.2 (22.0)	0.029
活動開始時点 (msec)	体幹伸展筋全体	66.7 (28.2)	56.8 (10.1)	0.163
	腰部脊柱起立筋	64.7 (32.5)	64.9 (23.3)	0.507
	胸部脊柱起立筋	66.4 (52.2)	50.8 (10.8)	0.642
	広背筋	67.1 (35.6)	55.8 (29.0)	0.228

平均値 (標準偏差)

表 3. co-contraction time の介入前後の比較

	介入前	介入後	P 値
体幹伸展方向への外乱動揺課題における co-contraction time (msec)	16.8 (22.1)	3.9 (20.2)	0.266
体幹屈曲方向への外乱動揺課題における co-contraction time (msec)	33.8 (21.3)	15.6 (18.6)	0.016

平均値 (標準偏差)

表 4. 外乱動揺前の筋活動量の介入前後の比較

		介入前	介入後	<i>P</i> 値
体幹伸展方向への外乱動揺前 の筋活動量 (%MVIC)	体幹屈曲筋全体	8.1 (5.2)	5.5 (3.4)	0.062
	内腹斜筋/腹横筋	15.5 (14.6)	9.6 (10.0)	0.136
	外腹斜筋	4.0 (2.6)	3.3 (1.9)	0.266
	腹直筋	4.9 (2.0)	3.7 (1.9)	0.004
	体幹伸展筋全体	8.3 (2.5)	6.6 (1.9)	0.021
	腰部脊柱起立筋	11.8 (5.4)	10.0 (4.4)	0.329
	胸部脊柱起立筋	7.7 (3.3)	5.9 (2.1)	0.041
	広背筋	5.6 (1.7)	3.9 (1.9)	0.001
体幹屈曲方向への外乱動揺前 の筋活動量 (%MVIC)	体幹屈曲筋全体	12.3 (5.1)	10.1 (5.6)	0.266
	内腹斜筋/腹横筋	18.4 (13.8)	13.1 (10.8)	0.287
	外腹斜筋	10.2 (6.0)	9.1 (4.5)	0.309
	腹直筋	8.1 (3.5)	8.2 (9.3)	0.463
	体幹伸展筋全体	4.5 (1.6)	3.7 (1.4)	0.007
	腰部脊柱起立筋	3.9 (2.3)	3.7 (1.6)	0.795
	胸部脊柱起立筋	5.0 (2.6)	3.7 (1.6)	0.022
	広背筋	4.7 (1.9)	3.8 (2.0)	0.084
平均値 (標準偏差)				

3.2. 上肢挙上課題

3.2.1. 体幹筋筋活動への影響

左右の IO/TrA の onset を介入前後にて比較した結果、右側の onset は介入前後にて有意差は認められなかったが ($P = 0.206$) (図 8a)，左側の IO/TrA の onset が介入前と比較して介入後に有意に早期に生じていた ($P = 0.032$) (図 8b)。

IO/TrA の筋活動量に関しては、右側の筋活動量において交互作用が認められ ($P < 0.001$)，Epoch 3 にて介入後の値が介入前よりも有意に高値を示した ($P = 0.001$) (図 9)。左側の筋活動量においても右側と同様に交互作用が認められ ($P = 0.001$)，Epoch 4 にて介入前の値が介入後よりも有意に高値を示した ($P = 0.026$) (図 9)。

介入前後における onset と筋活動量の変化量において、左右いずれも有意な相関関係は認められなかった。

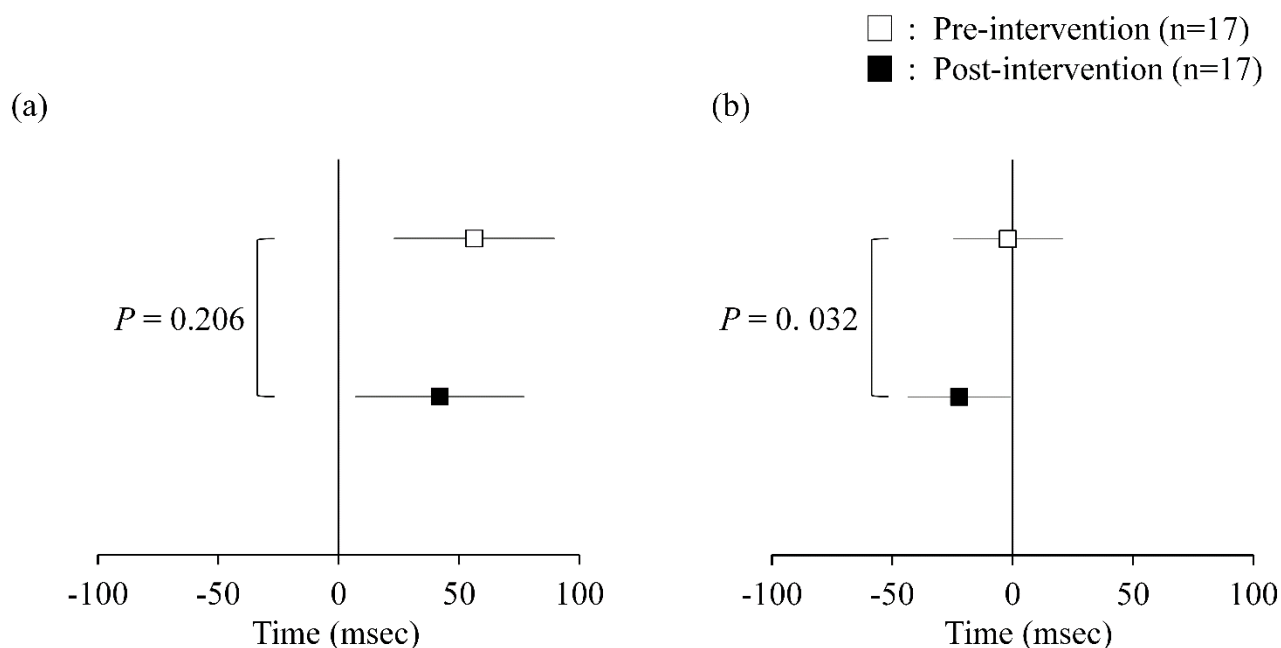


図 8. 上肢挙上運動における内腹斜筋/腹横筋の onset の結果. (a) 右側内腹斜筋/腹横筋, (b) 左側内腹斜筋/腹横筋.

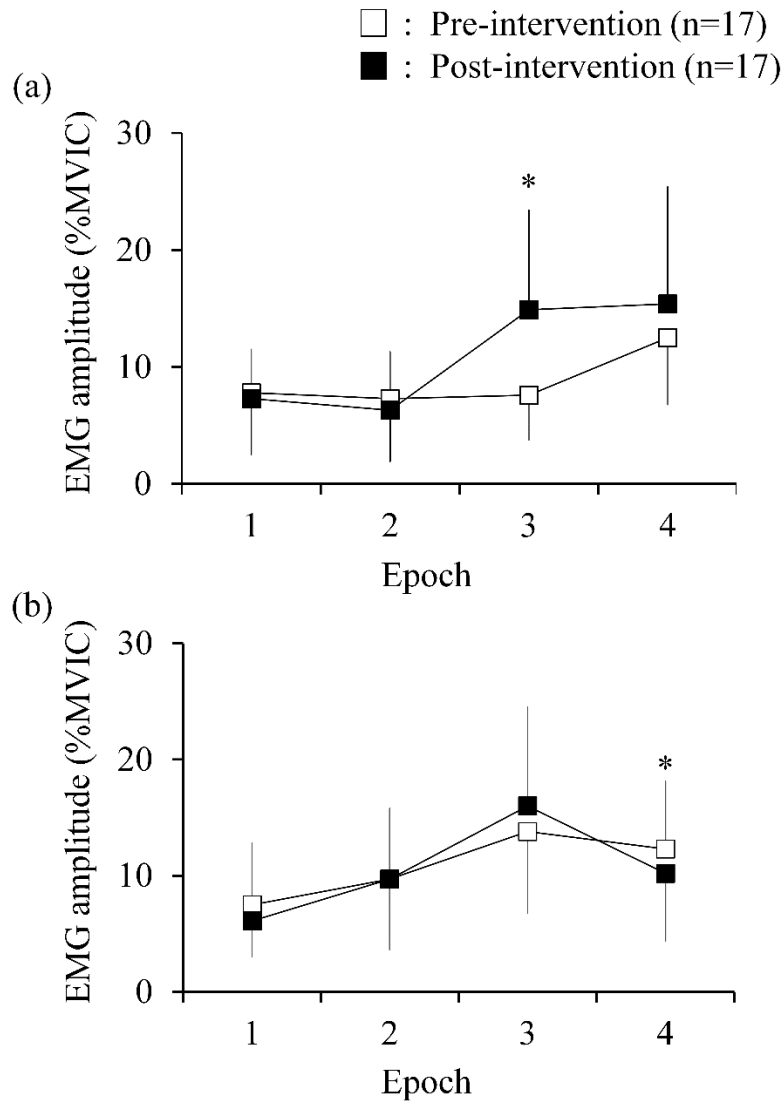


図 9. 上肢挙上課題における内腹斜筋/腹横筋の筋活動量の結果. (a) 右側内腹斜筋/腹横筋, (b) 左側内腹斜筋/腹横筋.

3.2.2. 条件設定

介入前の測定時における肩関節屈曲角度最大値は $57.9 \pm 9.4^\circ$, 介入後は $54.5 \pm 8.3^\circ$ であった. 肩関節屈曲角速度最大値は介入前 $295.1 \pm 44.7^\circ/\text{sec}$, 介入後は $290.2 \pm 47.5^\circ/\text{sec}$ であった. 動作課題中の肩関節屈曲角速度平均値は介入前 $124.0 \pm 17.4^\circ/\text{sec}$, 介入後は $119.0 \pm 19.2^\circ/\text{sec}$ であった. 肩関節屈曲角度最大値, 角速度最大値, 角速度平均値いずれも介入前後にて有意差は認められなかった(角度最大値: $P = 0.105$, 角速度最大値: $P = 0.504$, 角速度平均値: $P = 0.282$).

3.3. 腰痛および日常生活動作障害に対する介入効果

ODI, VAS の各質問紙の結果においては, ODI は介入前よりも介入後が有意に低下した ($P = 0.034$) (表 5). ODI の下位項目別にて介入前後の比較を行った結果, Section 9_Social life の項目にて有意差が認められ介入後が有意に低値を示した ($P = 0.009$) (表 5). VAS の値には有意差が認められなかった ($P = 0.209$).

表 5. 介入前後における Oswestry disability index の比較

	介入前	介入後	P 値
Total score (%)	14.5 (5.8)	11.5 (5.9)	0.034
Section 1_Pain intensity (/10)	2.35 (1.1)	2.00(1.0)	0.366
Section 2_Personal care (/10)	0.7 (1.0)	0.9 (1.0)	0.317
Section 3_Lifting (/10)	0.7 (1.0)	1.5 (0.9)	1.000
Section 4_Walking (/10)	1.5 (0.9)	0.5 (0.9)	1.000
Section 5_Sitting (/10)	0.5 (0.9)	2.1 (1.1)	0.180
Section 6_Standing (/10)	2.5 (0.9)	1.8 (1.4)	0.739
Section 7_Sleeping (/10)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	1.000
Section 8_Sex life (/10)	0.2 (0.7)	0.1 (0.5)	0.317
Section 9_Social life (/10)	2.6 (1.7)	1.1 (1.8)	0.009
Section 10_Traveling (/10)	2.2 (1.6)	1.5 (1.8)	0.084

平均値 (標準偏差)

4. 考察

4.1. 外乱動揺課題での体幹筋活動に関して

本研究は ADIM の介入効果を、外乱動揺課題における体幹表層筋を含めた体幹筋群の活動性にて検討した。その結果、体幹屈曲筋群の onset および offset が早期化することが認められた。また、ADIM による介入は日常生活動作障害を改善させたものの、VAS による腰痛の程度には有意の効果は認められなかった。

ADIM の介入後、体幹屈曲筋全体の onset, offset が介入前と比較して早期に生じていた。一方で、体幹伸展筋全体の onset, offset には有意差が認められなかった。これらは ADIM による介入が、外乱動揺課題に対する体幹屈曲筋群の活動性を変化させることを示唆するものである。しかしながら、筋別での検討においては胸部脊柱起立筋にも介入前後にて有意差が認められており、Lee ら⁶²⁾は ADIM の介入後体幹の自動運動中における腰部脊柱起立筋の筋活動量が介入前よりも低下したことを報告している。これらの結果から、ADIM による介入は体幹伸展筋群の活動性にも一定の影響は与えるが、ADIM は腹部の体幹深層筋である腹横筋の単独収縮を促すものであるため⁴¹⁾、特に体幹屈曲筋群の活動性に影響を与える可能性があると考えられる。Richardson ら⁴¹⁾は腹横筋の単独収縮を促す運動として ADIM を提案すると同時に、背部の体幹深層筋である多裂筋の単独収縮を促す運動も提案している。よって、本研究結果においては Richardson ら⁴⁰⁾の提案する多裂筋単独の収縮を促す運動も加えることで、より体幹伸展筋群の活動性に変化を生じさせることができたかもしれない。

本研究において offset の値と onset の値の差を co-contraction time として算出し、介入前後にて比較した。その結果、体幹屈曲方向への外乱動揺課題において介入後有意に低下し、体幹伸展方向への外乱動揺課題においては介入前後で有意差が認められなかった。co-contraction time を低下させるには offset の値が早期に生じることが重要である。本研究では体幹伸展方向への外乱動揺課題において体幹伸展筋群の offset に有意差が認められず、体幹屈曲筋群に認められたような早期化は生じなかった。このことが同課題における co-contraction time の結果にも影響し、有意な差の検出に至らなかった可能性がある。したがって、co-contraction time においても、多裂筋に着目した運動療法⁴¹⁾など他の運動療法を追加することで、体幹伸展方向への外乱動揺時における co-contraction time にも改善が得られたかもしれない。

ADIM を通した体幹深層筋の賦活が体幹筋全体の活動性にどのような影響を与えるか、その詳細な機序は現在明らかにされていない。しかしながら、Tsao ら⁶³⁾は経頭蓋磁気刺激装置とワイヤー筋電計を用いて腹横筋の最も大きな筋活動を得ることのできる、1 次運動野の刺激位置を検討し、腰痛を有さない対照群と比較して再発性非特異的腰痛症例群は最も大きな筋活動を得ることのできる刺激位置が対照群よりも後外側に位置することを示した。これと同時に、彼らは上肢挙上課題中の腹横筋の onset の遅延がこの 1 次運動野のボディマップの転位と有意な相関関係にあることを報告した⁶³⁾。さらに Tsao ら⁴⁴⁾は、ADIM による介入を通して、後外側に転位した 1 次運動野のボディマップの正常化が得られたこ

と、および上肢挙上課題における腹横筋の onset の早期化が得られたこと、ADIM ではなく歩行訓練による介入を行った群では筋活動や 1 次運動野のボディマップに変化が認められなかったことを報告した。これらの報告は、体幹深層筋の機能障害が 1 次運動野の活動性の変化に関連すること、および ADIM による介入を通して 1 次運動野の活動性の変化を是正し、体幹深層筋の活動性にも変化をもたらす可能性を示唆するものである。先行研究において皮質の活動性の変化には、一定の注意を要する課題や技術を要する課題が必要であり⁶⁴⁾⁶⁵⁾、注意や技術を必要としない単純な反復課題ではこのような皮質の活動性に変化が生じないことが報告されている⁶⁶⁾。ADIM は腹横筋単独での収縮を促す動作課題であり、正確に行うためには一定の注意や技術が必要とされる。したがって、本研究において ADIM による体幹深層筋の活動性の賦活が体幹屈曲筋全体の活動性に変化を与えたことは、運動皮質と関連した変化が生じたことによるかもしれない。しかしながらこれらの関連性に関しては不明な点も多く、今後の詳細な調査が必要とされるだろう。

NS-CLBP 群は不意な外乱動揺課題において対照群と比較して体幹筋群の反応が遅延することが認められている³²⁾³³⁾³⁴⁾。さらに大学生アスリートを対象とした先行研究では、外乱動揺課題における onset, offset の遅延は将来的な腰痛症の発症を予測したことが報告されている³⁹⁾。したがって本研究に認められた体幹屈曲筋群の onset, offset の早期化は NS-CLBP 群に特徴的な体幹筋機能障害を改善するものであり、NS-CLBP 群のさらなる慢性化の予防、症状の改善に寄与する可能性がある。また、Radebold らは³²⁾、NS-CLBP 群の被験者は体幹屈曲筋群と体幹伸展筋群の同時収縮を呈する傾向があったことを報告している。これに加えて、van Dieën ら⁶⁶⁾は NS-CLBP 症例の特徴として体幹自動運動中に拮抗筋の役割を有する筋群の同時収縮が増加することを報告し、このような運動戦略が体幹部の剛性を高めていることに寄与することを明らかにした。このように NS-CLBP 症例は体幹運動の際に主動筋群と拮抗筋群とを同時収縮させるという特徴を有し、これは体幹運動により生じる疼痛を回避するために、体幹部の剛性を増大させる筋活動戦略をとっているためである可能性がある⁶⁷⁾。このような筋活動戦略は短期的には利点のある戦略であるかもしれないが、長期的には体幹部に悪影響を及ぼす可能性がある。先行研究では再発性非特異的腰痛症例ではリフティング課題における広背筋、腹直筋、外腹斜筋、内腹斜筋の筋活動量が対照群よりも有意に高値を示し、主動筋群と拮抗筋群が同時収縮の様相を呈していたことを報告し、これにより第 5 腰椎-第 1 仙椎間への負荷 (compression force, shear force) が増加していたことが報告されている⁶⁸⁾。また NS-CLBP 症例において体幹筋群が安静時においても低強度に同時収縮していると指摘されており⁶⁹⁾、これは安静時においても脊椎に負荷が生じている可能性を示唆するものである。動物モデルを用いた先行研究では、持続的で低強度の圧迫が椎間板変性の一因になると指摘されており、これは椎間板への流体の流入が阻害されるためだとされている⁷⁰⁾⁷¹⁾⁷²⁾。持続的な圧迫による流体の流入制限は、組織の変性や疼痛に寄与するものと考えられる。また、このような持続的な筋活動は疲労も伴いやすく、最大筋活動の 2 %程度の体幹伸展筋の収縮を持続した場合、30 分で疲労を呈することが報告されている⁷³⁾。さらに体幹筋の活動が持続的に生じている場合、筋性の背部痛が生じる可能性もある⁷⁴⁾。したがって、体幹筋の主動筋、拮抗筋の同

時収縮は NS-CLBP の慢性化に寄与する可能性があると考えられ、本研究において認められた **co-contraction time** の低下は NS-CLBP の症状の改善および慢性化予防に寄与する可能性があると考えられる。

また、**onset**, **offset** の結果に対して外乱動揺前の筋活動量が影響した可能性を考慮し、介入前後にて外乱動揺前の筋活動量を比較した。結果として、介入後に低値を示す筋が認められたが、この多くは体幹伸展筋群であった。これは ADIM による介入効果に加え、介入 4 週間後において 2 度目の測定を行った外乱動揺課題の練習効果が影響した可能性がある。しかしながら、**onset**, **offset** の検討では体幹伸展筋群全体の **onset**, **offset** に有意差は認められず、主に体幹屈曲筋群にて有意差が認められた。これより、外乱動揺前の筋活動量の変化が **onset**, **offset** の介入効果の結果に与える影響はわずかなものとする。よって、本研究において介入前よりも介入後の外乱動揺前の筋活動量が低値を示したが、外乱動揺前の筋活動量の変化が、外乱動揺に対する **onset** や **offset** の結果に与えた影響は小さいものとする。

4.2. 上肢挙上課題

4.2.1. 体幹筋筋活動に関して

ADIM の介入後、左側の IO/TrA に関しては onset が介入前と比較して早期に生じ、Epoch 4 における筋活動量の低下が認められた。また右側 IO/TrA に関しては onset に有意差は認められず、Epoch 3 における筋活動量の増加が認められた。

先行研究において ADIM の介入、あるいは ADIM を含めた運動療法による介入を行い、上肢挙上課題時の腹横筋の onset が有意に早期化したことが報告されており⁴²⁾⁴³⁾、本研究結果は先行研究の結果を支持するものである。これに加えて本研究では、右側 IO/TrA の筋活動量の増加が認められた。腹横筋や内腹斜筋は体幹深層に位置し、腹横筋の機能として、胸腰筋膜の中部線維、後部線維に付着し胸腰筋膜へ外側方向への張力を与えることで脊椎分節間の剛性に寄与すること、腹腔内圧を高め脊椎分節間の剛性に寄与することが報告されている⁷⁵⁾⁷⁶⁾⁷⁷⁾。内腹斜筋は腹横筋と同様の役割を果たし、同様に脊椎分節間の剛性に寄与する可能性が示唆されている¹⁸⁾²¹⁾⁷⁸⁾。よって IO/TrA の onset が早期化し、筋活動量が増加したことは NS-CLBP の症状の改善およびさらなる慢性化の予防に寄与する可能性がある。また、有意差は認められなかったものの上記結果と同様な傾向として、Epoch 3 における左側 IO/TrA の筋活動量増加、右側 IO/TrA の onset が早期化する傾向が認められた。しかしながら、本研究における IO/TrA の onset と筋活動量の変化量に有意な相関関係は認められなかった。そのため、本研究に認められた onset と筋活動量の変化はそれぞれ関連したものではない可能性が示唆された。

一方、左側の IO/TrA の Epoch 4 における筋活動量は介入前と比較して有意に低下した。Epoch 4 における IO/TrA の筋活動は、波形を確認する限り活動終了時点を含む筋活動量を反映するものである。介入後、左側 IO/TrA の onset は早期化したため、同時に筋活動の終了時点も早期化し介入前よりも筋活動量が低値を示した可能性がある。先行研究において、上肢挙上課題での IO/TrA の先行的な活動は体幹部への回旋モーメントに対する制御や脊椎分節間の安定性に寄与する可能性が指摘されている⁴²⁾。本研究結果においては、介入前に三角筋の onset 付近に生じていた左側 IO/TrA の onset が介入後、より早期に生じている。このような変化は上肢挙上運動により生じる体幹回旋モーメントに対して先行的に活動することで体幹回旋モーメントの制御、および脊椎分節間の安定性を獲得することが可能であることを示唆するものである。

4.2.2. 条件設定に関して

本研究では三次元動作解析装置を使用し、上肢挙上課題中の上肢挙上角度、角速度を測定した。上肢挙上課題における腹横筋の onset は上肢挙上角度に依存し、挙上角度が増加するに従い早期化することが報告されている⁵⁹⁾。また、Hodges ら²⁹⁾⁷⁹⁾は異なる角速度での肩関節屈曲運動において腹横筋の onset を検討し、slow speed 時の onset と比較して intermediate speed 時、及び fast speed 時の腹横筋のオンセットが早期に生じたと報告している。したがって、上肢挙上運動時の体幹深層筋の onset に対しては、肩関節屈曲角度や肩関節屈曲角速度が影響を与える可能性がある。しかしながら、本研究においては、介入前後で肩関節屈曲角度と肩関節屈曲角速度に有意な差は認められなかった。そのため、本研究における筋活動データの結果に対して、動作課題の遂行条件が与える影響はわずかなものであったと考える。

4.3. 腰痛および日常生活動作障害への効果に関して

ODI の値に関して、介入前と比較して介入後の値が有意に低下し改善が認められた。ODI は 10 の Section から構成されており、様々な日常生活動作における腰痛症による障害度を定量化する評価指標である。Section 別にて行った介入前後の比較では、介入後において Section 9_Social life の値が有意に低下していた。よって本研究に参加した被験者においては、特に社会生活における障害度が改善したことが明らかとなった。本研究結果は先行研究の結果を支持するものである⁴²⁾⁴³⁾⁵⁵⁾⁸⁰⁾。Brooks ら⁸⁰⁾は NS-CLBP を有する被験者を対象に、ADIM を含めた Specific exercise を実施した群と全身性の有酸素運動を中心とした General exercise を実施した群とでその介入効果を比較し、Specific exercise を実施した群にて ODI 値の低下が認められたことで、体幹筋の機能障害に着目した Specific exercise が腰痛症による日常生活動作への影響の軽減に有効であると報告している。よって、本研究結果より ADIM は、腰痛症による日常生活動作の障害度を軽減させ得る可能性が示唆された。

4.4. 本研究の限界

本研究において4つの考慮すべき限界がある。第1に、本研究ではADIMを実施したNS-CLBP群のみが設けられており、他の運動療法や運動療法を実施していない対照群の設定がなされていないことが挙げられる。そのため、今後は他の運動療法や運動療法を実施しなかったNS-CLBP群との比較を実施することで、より体幹筋の機能障害に対して効果的な運動療法の検討が可能であると考えられる。第2に、本研究に参加した被験者は20代の若年男女であった点が挙げられる。そのため、本研究結果は限定された年齢層のNS-CLBP症例の特徴を反映したものである可能性がある。第3に、本研究の被験者が、実験に参加する上で医療機関の診断を得ていないことが挙げられる。本来は医療機関にて診断された上で実験が行われることが望ましいが、本研究は学内にて被験者を公募しており医療機関を受診することが困難であった。そのため、日本整形外科学会、日本腰痛学会監修の腰痛診療ガイドライン¹⁶⁾に引用されている論文¹⁰⁾を参考にNS-CLBPの基準を定め、除外基準を設定し、疼痛部位の確認、神経症状の有無、過去に医療機関にて画像上指摘された点を確認して実験を行った。第4に、ADIMはNS-CLBPのさらなる慢性化を予防することが目的であるが、本研究においてはあくまで介入4週間の検討にとどまることが挙げられる。今後は、ADIMの介入によりNS-CLBPの慢性化が実際に予防されたのか検討される必要があるだろう。Tsaoら⁴¹⁾は4週間のADIMによる介入を実施し、上肢挙上課題における腹横筋の筋活動 onset が有意に早期化したことを報告している。そのため、本研究では介入期間を4週間と設定した。しかしながら、本研究結果としてVASの値に介入前後で有意差は認められなかった。Brooksら⁸⁰⁾は8週間のADIMを含めた介入を通して、VASの値が有意に低下したことを報告しているため、より長期的な介入によりVASの値にも改善が認められる可能性がある。

5. 総括論議

本研究では非特異的腰痛症の改善，慢性化予防の観点から NS-CLBP 症例の体幹筋群の活動性に対する ADIM による介入効果を 2 つの動作課題にて検討した．NS-CLBP 症例へのリハビリテーション訓練を計画する上で，体幹筋機能障害である体幹深層筋の活動性の低下，体幹表層筋の過剰な活動を改善することが重要である．ADIM は体幹深層筋である腹横筋の活動性を賦活させる目的で行う運動療法であり，本研究においても ADIM を通じて上肢挙上課題における体幹深層筋の活動性に変化が認められた．また ADIM の介入後，外乱動揺課題における体幹表層筋群を含めた体幹屈曲筋群の活動性に変化が生じ，**co-contraction time** にも介入前と比較して有意差が認められた．よって，本研究における体幹屈曲筋群の活動性の変化は，体幹深層筋の活動性の向上に付随して生じた変化である可能性がある．本研究結果は ADIM による体幹深層筋の活動性の賦活が，外乱動揺課題における体幹表層筋群の活動性にも変化をもたらす可能性を示唆するものである．

6. 結論

本研究では、NS-CLBP 症例を対象に外乱動揺課題と上肢挙上課題における体幹筋筋活動を測定し、ADIM の介入前後で比較した。また、疼痛の自覚的強度および日常生活動作への影響を VAS、ODI の質問紙を用いて測定し、ADIM の介入前後で比較した。これらの検討結果より、以下の結論を得た。

1. 体幹伸展方向への外乱動揺課題における体幹屈曲筋群の offset、体幹伸展方向への外乱動揺課題における体幹屈曲筋群の onset が介入後早期に生じた。体幹屈曲方向への外乱動揺課題における co-contraction time は介入後有意に低値を示した。よって、ADIM による介入は外乱動揺課題における体幹表層筋を含めた体幹筋筋活動に変化を生じさせ、特に体幹屈曲筋群の活動性に強く影響する可能性が示唆された。
2. 上肢挙上課題において IO/TrA の onset が介入後有意に早期化し、筋活動量に増加が認められた。左右それぞれの IO/TrA の onset の変化量と筋活動量の変化量に有意な相関関係は認められなかった。よって ADIM の介入により体幹深層筋の活動性が賦活されたこと、onset の変化と筋活動量の変化には関連が認められないことが示唆された。
3. VAS による腰痛の程度は、介入前後で有意差が認められなかった。しかし、ODI による日常生活動作障害には有意の改善効果が認められた。

7. 謝辞

本研究は筆者が北海道大学大学院保健科学院博士後期課程在学中に、同大学院保健科学研究院機能回復学分野 遠山晴一教授に御指導頂き行われたものです。本研究を遂行するにあたり、遠山晴一教授には研究計画の立案から、国内外での発表、論文作成に至るまで幾多の御指導を賜りました。また、学術活動の幅を広げるような機会を多数与えて頂き、多くの貴重な経験を積ませて頂きました。至らぬ点ばかりの私に、熱心に御指導くださいました遠山晴一教授には、心からの敬意と感謝の意を表します。

北海道千歳リハビリテーション大学健康科学部リハビリテーション学科 山中正紀教授には研究計画の方向性に関して御教示頂くとともに、実験を実施する上で多大な援助を賜りました。心より感謝申し上げます。

北海道大学大学院保健科学研究院機能回復学分野 寒川美奈准教授、笠原敏史助教には、研究内容に関して御指導を賜り深く感謝申し上げます。また寒川美奈准教授には御多忙の中、本論文の審査員として親身な御指導、御指摘を賜りましたことを心より感謝申し上げます。

北海道大学大学院保健科学院機能回復学分野 石田知也助教、NTT 東日本札幌病院 越野裕太氏には論文投稿に際し、細部に渡る御指導、御指摘を賜りました。深く感謝申し上げます。

北海道大学病院リハビリテーション科 生駒一憲教授、リハビリテーション部 大澤恵留美技師長、千葉健副技師長、由利真副技師長、堀弘明主任をはじめ同病院に所属される医師、理学療法士の皆様には、臨床的な側面も含め多くの御指導、御助言を賜りました。深く感謝申し上げます。また、生駒一憲教授には、御多忙の中、本論文の審査員として親身な御指導、御指摘を賜りましたことを、心より感謝申し上げます。同病院リハビリテーション科、リハビリテーション部の皆様には、社会人学生として御理解、御協力をいただきましたことを重ねて御礼申し上げます。

北海道大学大学院保健科学院機能回復学分野 萬井太規助教には実験を実施するにあたり多大な御助力を賜りました。深く感謝申し上げます。

福島県立医科大学会津医療センター 三浦拓也氏には、これまでの研究課程において数多くの御助言、実験方法の御指導を賜りました。なにより、本研究は非特異的腰痛症に関して三浦氏より御教授頂いた内容から着想を得たものです。多大な御指導を賜り、深く感謝申し上げます。

北海道大学大学院保健学科院 運動器障害学研究室の関係者の皆様には、本研究を進める上で貴重な御指摘、御協力を賜りましたことを深く感謝致します。特に実験を行う上で御協力頂きました、佐渡皓匡君、小形凌大君、中田光海さん、不動桃子さんには感謝の念に堪えません。厚く御礼申し上げます。

8. 引用文献

1. 厚生労働省. 平成 28 年国民生活基礎調査の概況. 2016.
2. 厚生労働省. 平成 30 年業務上疾病発生状況等調査. 2018.
3. Fujii T, Matsudaira K. Prevalence of low back pain and factors associated with chronic disabling back pain in Japan. *Eur Spine J*. 2013; 22(2): 432-438.
4. GBD 2016 Disease and Injury Incidence and Prevalence Collaborators. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 328 diseases and injuries for 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*. 2017; 16;390(10100):1211-1259.
5. Airaksinen O, Brox JI, Cedraschi C, Hildebrandt J, Klaber-Moffett J, Kovacs F, Mannion AF, Reis S, Staal JB, Ursin H, Zanolli G. Chapter 4 European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine J*. 2006; 15(suppl 2): S192-S300.
6. Katz JN. Lumbar disc disorders and low-back pain: socioeconomic factors and consequences. *J Bone Joint Surg Am*. 2006; 88(suppl 2): 21-24.
7. McCulloch JA, Transfeldt E (著). 鈴木信治 (監訳). 名古屋市立大学医学部整形外科脊椎グループ, 坪内俊二, 福岡宗良, 荻久保修, 佐多和仁 (訳). *Macnab 腰痛 原著第 3 版*. 医歯薬出版株式会社. 2001.
8. Deyo RA, Phillips WR. Low back pain. A primary care challenge. *Spine*. 1996; 21(24): 2826-2832.
9. Suzuki H, Kanchiku T, Imajo Y, Yoshida Y, Nishida N, Taguchi T. Diagnosis and Characters of Non-Specific Low Back Pain in Japan: The Yamaguchi Low Back Pain Study. *PLoS One*. 2016 22;11(8):e0160454.
10. Chou R, Qaseem A, Snow V, Casey D, Cross JT Jr, Shekelle P, Owens DK. Diagnosis and treatment of low back pain a joint clinical practice guideline from the American College of Physicians and the American Pain Society. *Ann Intern Med*. 2007; 147(7): 478-491.
11. Furlan AD, Malmivaara A, Chou R, Maher CG, Deyo RA, Schoene M, Bronfort G, van Tulder MW. 2015 Updated Method Guideline for Systematic Reviews in the Cochrane Back and Neck Group.. *Spine*. 2015; 40(21): 1660-1673.
12. da C Menezes Costa L, Maher CG, Hancock MJ, McAuley JH, Herbert RD, Costa LO. The prognosis of acute and persistent low-back pain: a meta-analysis. *CMAJ*. 2012; 184(11): E613-E624.
13. Iizuka Y, Iizuka H, Mieda T, Tsunoda D, Sasaki T, Tajika T, Yamamoto A, Takagishi K. Prevalence of Chronic Nonspecific Low Back Pain and Its Associated Factors among Middle-Aged and Elderly People: An Analysis Based on Data from a Musculoskeletal Examination in Japan. *Asian Spine J*. 2017 ;11(6):989-997.
14. Qaseem A, Wilt TJ, McLean RM, Forciea MA; Clinical Guidelines Committee of the American College of Physicians. Noninvasive Treatments for Acute, Subacute, and Chronic Low Back

- Pain: A Clinical Practice Guideline From the American College of Physicians. *Ann Intern Med.* 2017 4;166(7):514-530.
15. Oliveira CB, Maher CG, Pinto RZ, Traeger AC, Lin CC, Chenot JF, van Tulder M, Koes BW. Clinical practice guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care: an updated overview. *Eur Spine J.* 2018;27(11):2791-2803.
 16. 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会・腰痛診療ガイドライン策定委員会 (編) . 日本整形外科学会・日本腰痛学会 (監). 腰痛診療ガイドライン 2019. 南江堂. 2019.
 17. Crisco JJ, Panjabi MM, Yamamoto I, Oxland TR. Euler stability of the human ligamentous lumbar spine. Part II: Experiment. *Clin Biomech.* 1992; 7(1): 27-32.
 18. Bergmark A. Stability of the lumbar spine: A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1989; 230: 1-54.
 19. Askar OM. Surgical anatomy of the aponeurotic expansions of the anterior abdominal wall. *Ann R Coll Surg Engl.* 1977; 59(4): 313-321.
 20. Urquhart DM, Barker PJ, Hodges PW, Story IH, Briggs CA. Regional morphology of the transversus abdominis and obliquus internus and externus abdominis muscles. *Clin Biomech.* 2005; 20(3): 233-241.
 21. Snijders CJ, Ribbers MT, de Bakker HV, Stoeckart R, Stam HJ. EMG recordings of abdominal and back muscles in various standing postures: validation of a biomechanical model on
 22. Kavcic N, Grenier S, McGill SM. Determining the stabilizing role of individual torso muscles during rehabilitation exercises. *Spine.* 2004 1;29(11):1254-65.
 23. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord.* 1992; 5(4): 390-396.
 24. Farfan HF. Muscular mechanism of the lumbar spine and the position of power and efficiency. *Orthop Clin North Am.* 1975; 6(1): 135-144.
 25. Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res.* 1997; 114(2): 362-370.
 26. Moseley GL, Hodges PW, Gandevia SC. Deep and superficial fibers of the lumbar multifidus muscle are differentially active during voluntary arm movements. *Spine.* 2002; 27(2): E29-E36.
 27. Hodges PW, Richardson CA. Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine.* 1996; 21(22): 2640-2650.
 28. Hodges PW, Richardson CA. Delayed postural contraction of transversus abdominis in low back pain associated with movement of the lower limb. *J Spinal Disord.* 1998 Feb;11(1):46-56.
 29. Hodges PW, Richardson CA. Altered trunk muscle recruitment in people with low back pain with upper limb movement at different speeds. *Arch Phys Med Rehabil.* 1999; 80(9): 1005-1012.
 30. Osuka S, Koshino Y, Yamanaka M, Miura T, Saito Y, Ueno R, Ishida T, Samukawa M, Tohyama H. The onset of deep abdominal muscles activity during tasks with different trunk rotational

- torques in subjects with non-specific chronic low back pain. *J Orthop Sci.* 2019;24(5):770-775.
31. Marshall P, Murphy B. Delayed abdominal muscle onsets and self-report measures of pain and disability in chronic low back pain. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010 Oct;20(5):833-9.
 32. Radebold A, Cholewicki J, Panjabi MM, Patel TC. Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine.* 2000 15;25(8):947-54.
 33. Radebold A, Cholewicki J, Polzhofer GK, Greene HS. Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine* 2001 1;26(7):724e30.
 34. Magnusson ML, Aleksiev A, Wilder DG, Pope MH, Spratt K, Lee SH, Goel VK, Weinstein JN. European Spine Society--the AcroMed Prize for Spinal Research 1995. Unexpected load and asymmetric posture as etiologic factors in low back pain. *Eur Spine J.* 1996;5(1):23-35.
 35. Ng JK, Richardson CA, Parnianpour M, Kippers V. EMG activity of trunk muscles and torque output during isometric axial rotation exertion: a comparison between back pain patients and matched controls. *J Orthop Res.* 2002 Jan;20(1):112-21.
 36. Hodges PW, Moseley GL, Gabrielsson A, Gandevia SC. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Exp Brain Res.* 2003 Jul;151(2):262-71.
 37. Moseley GL, Nicholas MK, Hodges PW. Pain differs from non-painful attention-demanding or stressful tasks in its effect on postural control patterns of trunk muscles. *Exp Brain Res.* 2004;156(1):64-71.
 38. Hodges PW, Moseley GL. Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(4):361-70.
 39. Cholewicki J, Silfies SP, Shah RA, Greene HS, Reeves NP, Alvi K, Goldberg B. Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *J Orthop Spine.* 2005 1;30(23):2614-20.
 40. Cholewicki J, Greene HS, Polzhofer GK, Galloway MT, Shah RA, Radebold A. Neuromuscular function in athletes following recovery from a recent acute low back injury. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2002;32(11):568-75.
 41. Richardson CA, Jull G, Hodges PW, Hides JA. *Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain.* London: Churchill Livingstone; 1998.
 42. Tsao H, Hodges PW. Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2008 Aug;18(4):559e67.
 43. Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Driving plasticity in the motor cortex in recurrent low back pain. *Eur J Pain* 2010 Sep;14(8):832e9.
 44. Tsao H, Hodges PW. Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training. *Exp Brain Res.* 2007;181(4):537-46.
 45. Hides JA, Stanton WR, McMahon S, Sims K, Richardson CA. Effect of stabilization training on multifidus muscle cross-sectional area among young elite cricketers with low back pain. *J Orthop*

Sports Phys Ther. 2008;38(3):101-8.

46. Hoy D, March L, Brooks P, Woolf A, Blyth F, Vos T, Buchbinder R. Measuring the global burden of low back pain. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2010;24(2):155-65.
47. Miura T, Yamanaka M, Ukishiro K, Tohyama H, Saito H, Samukawa M, Kobayashi T, Ino T, Takeda N. Individuals with chronic low back pain do not modulate the level of transversus abdominis muscle contraction across different postures. *Man Ther*. 2014;19(6):534-40.
48. Hodges PW, Pengel LH, Herbert RD, Gandevia SC. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle Nerve*. 2013;27(6):682-92.
49. McMeeken JM, Beith ID, Newham DJ, Milligan P, Critchley DJ. The relationship between EMG and change in thickness of transversus abdominis. *Clin Biomech*. 2004;19(4):337-42.
50. 藤原 淳, 野原 裕. Oswestry Disability Index –日本語版について-. *日本腰痛学会誌*. 2009, 15 卷 1 号, 11-16.
51. Claus AP, Verrel J, Pounds PEI, Shaw RC, Brady N, Chew MT, Dekkers TA, Hodges PW. A new method for sudden mechanical perturbation with axial load, to assess postural control in sitting and standing. *J Biomech*. 2016;49(7):1141-1148.
52. Santos BR, Lariviere C, Delisle A, McFadden D, Plamondon A, Imbeau D. Sudden loading perturbation to determine the reflex response of different back muscles: a reliability study. *Muscle Nerve*. 2011;43(3):349-59.
53. Vera-Garcia FJ, Brown SH, Gray JR, McGill SM. Effects of different levels of torso coactivation on trunk muscular and kinematic responses to posteriorly applied sudden loads. *Clin Biomech*. 2006;21(5):443-55.
54. Escamilla RF, Lewis C, Bell D, Bramblett G, Daffron J, Lambert S, Pecson A, Imamura R, Paulos L, Andrews JR. Core Muscle Activation During Swiss Ball and Traditional Abdominal Exercises. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(5):265-76.
55. Knox MF, Chipchase LS, Schabrun SM, Marshall PWM. Improved compensatory postural adjustments of the deep abdominals following exercise in people with chronic low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2017;37:117-24.
56. Hodges PW, Bui BH. A comparison of computer-based methods for the determination of onset of muscle contraction using electromyography. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1996;101(6):511-9.
57. Escamilla RF, Lewis C, Bell D, Bramblett G, Daffron J, Lambert S, Pecson A, Imamura R, Paulos L, Andrews JR. Neuromuscular alterations during walking in persons with moderate knee osteoarthritis. *J Electromyogr Kinesiol*. 2006;16(4):365-78.
58. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods* 2007 May;39(2):175-91.

59. Eriksson Crommert M, Halvorsen K, Ekblom MM. Trunk Muscle Activation at the Initiation and Braking of Bilateral Shoulder Flexion Movements of Different Amplitudes. *PLoS One*. 2015;10(11): e0141777.
60. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol* 2000 Oct;10(5):361e74.
61. Dempster WT (1955) Space requirements of the seated operator. WADC-TR-55-159, Wright-Patterson Air Force Base.1955.
62. Lee NG, Jung JH, You JS, Kang SK, Lee DR, Kwon OY, Jeon HS. Novel augmented ADIM training using ultrasound imaging an electromyography in adults with core instability. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2011;24(4):233e40.
63. Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Reorganization of the motor cortex is associated with postural control deficits in recurrent low back pain. *Brain* 2008;131(Pt 8):2161e71.
64. Karni A, Meyer G, Jezard P, Adams MM, Turner R, Ungerleider LG. Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature* 1995 Sep 14;377(6545):155e8.
65. Tsao H, Galea MP, Hodges PW. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem* 2000;74(1):27e55.
66. van Dieën JH, Cholewicki J, Radebold A. Trunk muscle recruitment patterns in patients with low back pain enhance the stability of the lumbar spine. *Spine*. 2003 15;28(8):834-41.
67. Hodges PW, Cholewicki J, van Dieën JH. *Spinal Control: The Rehabilitation of Back Pain: State of the art and science*. London: Churchill Livingstone; 2013.
68. Marras WS, Ferguson SA, Burr D, Davis KG, Gupta P. Spine loading in patients with low back pain during asymmetric lifting exertions. *Spine J*. 2004;4(1):64-75.
69. van Dieën JH, Selen LP, Cholewicki J. Trunk muscle activation in low-back pain patients, an analysis of the literature. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003 ; 13(4):333-51.
70. Hutton WC, Ganey TM, Elmer WA, Kozlowska E, Ugbo JL, Doh ES, Whitesides TE Jr. Does long-term compressive loading on the intervertebral disc cause degeneration? *Spine*. 2000 1;25(23):2993-3004.
71. Hutton WC, Elmer WA, Bryce LM, Kozlowska EE, Boden SD, Kozlowski M. Do the intervertebral disc cells respond to different levels of hydrostatic pressure? *Clin Biomech*. 2001;16(9):728-34.
72. Lotz JC, Chin JR. Intervertebral disc cell death is dependent on the magnitude and duration of spinal loading. *Spine*. 2000 15;25(12):1477-83.
73. van Dieën JH, Westebring-van der Putten EP, Kingma I, de Looze MP. Low-level activity of the trunk extensor muscles causes electromyographic manifestations of fatigue in absence of decreased oxygenation. *J Electromyogr Kinesiol*. 2009;19(3):398-406.

74. Visser B, van Dieën JH. Pathophysiology of upper extremity muscle disorders. *E J Electromyogr Kinesiol.* 2006;16(1):1-16.
75. Barker PJ, Briggs CA, Bogeski G. Tensile transmission across the lumbar fasciae in unembalmed cadavers: effects of tension to various muscular attachments. *Spine.* 2004; 29(2): 129-138.
76. Cresswell AG, Grundström H, Thorstensson A. Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. *Acta physiol Scand.* 1992; 144(4): 409-418.
77. Baterlink DL. The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs. *J Bone Joint Surg Br.* 1957; 39-B4: 718-725.
78. Ainscough-Potts AM, Morrissey MC, Critchley D. The response of the transverse abdominis and internal oblique muscles to different postures. *Man Ther.* 2006; 11(1): 54-60.
79. Hodges PW, Richardson CA. Relationship between limb movement speed and associated contraction of the trunk muscles. *Ergonomi.* 1997; 40(11):1220-30.
80. Brooks C, Kennedy S, Marshall PW. Specific trunk and general exercise elicit similar changes in anticipatory postural adjustments in patients with chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Spine* 2012 Dec 1;37(25):E1543e50.

9. 業績一覧

本論文の一部は以下の論文にて発表した。

1. **Osuka S**, Ishida T, Yamanaka M, Chiba T, Miura T, Koshino Y, Saito Y, Nakata A, Samukawa M, Kasahara S, Tohyama H. Abdominal draw-in maneuver changes neuromuscular responses to sudden release from trunk loading in patients with non-specific chronic low back pain. J Orthop Sci. 2019 Nov 15. pii: S0949-2658(19)30327-6. [Epub ahead of print]

本論文の一部は以下の学会にて発表した。

1. **Osuka S**, Ishida T, Yamanaka M, Chiba T, Koshino Y, Saito Y, Samukawa M, Toyama H. The Effects of Abdominal Draw-in Maneuver on Electromyographic Activities in Response to a Sudden Release from Loading in Subjects with Non-specific Chronic Low Back Pain. The 46th ISSLS Annual Meeting, 2019, June, Kyoto, Japan.
2. **Osuka S**, Ishida T, Yamanaka M, Chiba T, Koshino Y, Saito Y, Samukawa M, Toyama H. Electromyographic Activities of Superficial Trunk Muscles in Response to a Sudden Release from Loading in Subjects with Non-specific Chronic Low Back Pain. Orthopaedic Research Society 2019 Annual Meeting., 2019, Feb, Austin, TX, USA.
3. **大須賀聡**, 石田知也, 山中正紀, 千葉健, 齋藤優輝, 寒川美奈, 遠山晴一. 慢性非特異的腰痛症例に対するドローインが神経筋制御に与える影響. 第26回腰痛学会, 2018. 10, 浜松.

その他業績一覧

学術論文一覧

1. **Osuka S**, Koshino Y, Yamanaka M, Miura T, Saito Y, Ueno R, Ishida T, Samukawa M, Tohyama H. The onset of deep abdominal muscles activity during tasks with different trunk rotational torques in subjects with non-specific chronic low back pain. J Orthop Sci. 2019 Sep;24(5):770-775.

学会発表一覧

1. **Osuka S**, Sudo H, Chiba T, Iwasaki N, Tohyama H. The Effects of Posterior Spinal Correction and Fusion on Postural Balance in Patients with Idiopathic Scoliosis. Orthopaedic Research Society 2020 Annual Meeting, 2020, Feb, Phoenix, AZ, USA.
2. **大須賀聡**, 武田量, 但野茂, 山田悟史, 石田知也, 遠山晴一. 三次元歩行システム H-gait による階段昇降時の下肢 kinematics 評価. 第31回日本運動器科学会, 2019. 7, 岡山.

3. 不動桃子, 石田知也, 大須賀聡, 齋藤優輝, 渡邊謙太郎, 遠山晴一. 腰痛を有するボート選手の rowing 動作における体幹筋活動の検討. 第 11 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会, 2019. 6, 札幌.
4. Saito Y, Yamanaka M, Miura T, Osuka S, Ishida T, Koshino Y, Saito Y, Samukawa M, Toyama H. The Effects of Sling Device on Trunk Muscles Activities During Prone Bridge Exercise. Orthopaedic Research Society 2019 Annual Meeting., 2019, Feb, Austin, TX, USA.
5. Osuka S, Yamanaka M, Ueno R, Tohyama H. Impaired Feed-forward and Feedback Control of Deep Abdominal Muscles during Upper Limb Elevation in Subjects with Non-specific Low Back Pain. 第 10 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会, 2018. 6, 福岡.
6. Osuka S, Yamanaka M, Miura T, Saito Y, Ueno R, Samukawa M, Saitoh H, Toyama H. Changes in Feedforward Activation of the Deep Abdominal Muscles Associated with Trunk Rotational Torque in Subjects with Non-specific Chronic Low Back Pain. Orthopaedic Research Society 2018 Annual Meeting., 2018, Mar, New Orleans, LA, USA.
7. 齋藤優輝, 山中正紀, 三浦拓也, 大須賀聡, 井野拓実, 寒川美奈, 齋藤展士, 小谷征輝, 原清和, 遠山晴一. 前方傾斜運動時の前傾角度の違いが体幹筋活動に及ぼす影響. 第 25 回日本腰痛学会, 2017. 11, 東京.
8. 大須賀聡, 山中正紀, 三浦拓也, 上野亮, 遠山晴一. 非特異的腰痛症例における上肢挙上時の体幹深層筋のオンセットの検討. 第 9 回日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会, 2017. 6, 札幌.
9. 大須賀聡, 山中正紀, 三浦拓也, 齋藤優輝, 上野亮, 寒川美奈, 齋藤展士, 遠山晴一. 体幹回旋を伴う上肢運動時の体幹ローカル筋筋活動 onset の検討. 第 52 回日本理学療法学会, 2017. 5, 千葉.
10. Osuka S, Yamanaka M, Miura T, Saito Y, Ueno R, Samukawa M, Saitoh H, Toyama H. Changes in Feedforward Activation of the Deep Abdominal Muscles Associated with Trunk Rotationla Torque in Subjects with Non-specific Chronic Low Back Pain. Orthopaedic Research Society 2018 Annual Meeting., 2018, Mar, New Orleans, LA, USA.
11. Saito Y, Yamanaka M, Miura T, Ino T, Kataoka Y, Osuka S, Samukawa M, Saito H, Tohyama H. The Comparison of the Thickness of Abdominal Muscle between Traditional Motor Control Exercise and Sling Exercise. Orthopaedic Research Society 2017 Annual Meeting., 2017, Mar, San Diego, CA, USA.
12. 大須賀聡, 山中正紀, 三浦拓也, 森井康博, 齋藤展士, 寒川美奈, 遠山晴一. 体幹インナーユニットにおける筋厚と筋活動の関連について. 第 23 回日本腰痛学会, 2015. 11, 東京.