

平成 28 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

質量予測の錯誤が持ち上げ動作時の
筋活動や床反力に及ぼす影響

学籍番号 4115056

氏名 長友渉

論文指導教員 櫻庭景植

合格年月日 平成 29 年 2 月 20 日

論文審査員 主査 鈴木 良雄

副査 窪田 敦之

副査 櫻庭 景植

目次

| | 項 |
|----------------------------------|----|
| 第1章 緒言 | 1 |
| 第2章 関連文献の考証 | 3 |
| 第1節 持ち上げ動作の筋活動 | 3 |
| (1) 体幹筋群について | 3 |
| (2) 動作方法の違いによる筋活動の相違 | 4 |
| (3) 質量の増加が持ち上げ動作の筋活動に及ぼす影響 | 4 |
| 第2節 持ち上げ動作の床反力 | 5 |
| 第3節 質量の認識が持ち上げ動作の身体活動に及ぼす影響 | 6 |
| (1) 持ち上げ動作中の身体活動に及ぼす影響 | 6 |
| (2) 持ち上げる直前の体幹筋活動に及ぼす影響 | 6 |
| 第3章 研究目的 | 8 |
| 第4章 研究方法 | 9 |
| 第1節 被験者 | 9 |
| 第2節 実験手順 | 9 |
| (1) 被験者の群分け | 9 |
| (2) 計測環境 | 9 |
| (3) 計測の流れ | 9 |
| 第3節 持ち上げ方法 | 10 |
| 第4節 計測項目 | 11 |
| (1) 筋活動 | 11 |
| (2) 床反力 | 11 |
| 第5節 分析方法 | 12 |
| 第5章 結果 | 13 |
| 第1節 錯誤条件計測後のアンケート結果 | 13 |
| 第2節 認識条件における Squat 法と Stoop 法の比較 | 13 |
| (1) 筋活動による比較 | 13 |
| (2) 床反力による比較 | 14 |
| 第3節 認識条件と錯誤条件の比較 | 14 |

| | |
|---|----|
| (1) 重量物の挙上動作開始から動作終了までの所要時間の比較..... | 14 |
| (2) 持ち上げ方法別における筋活動の比較..... | 14 |
| (3) 持ち上げ方法別における床反力の比較..... | 15 |
| 第6章 考察..... | 17 |
| 第1節 認識条件における Squat 法と Stoop 法の筋活動と床反力の相違..... | 17 |
| 第2節 錯誤が持ち上げ動作に及ぼす影響..... | 18 |
| (1) 錯誤が動作の所要時間に及ぼす影響..... | 18 |
| (2) 錯誤が Squat 法の筋活動に及ぼす影響..... | 18 |
| (3) 錯誤が Stoop 法の筋活動に及ぼす影響..... | 19 |
| (4) 錯誤が床反力に及ぼす影響..... | 20 |
| 第3節 本研究の限界..... | 21 |
| 第7章 結論..... | 22 |
| 第8章 要約..... | 23 |
| 引用文献一覧..... | 24 |
| Abstract..... | 27 |
| 図表一覧..... | 29 |

第1章 緒言

我が国では83.5%の人が一生のうちに一度は腰痛を経験し¹⁾、痛みの部位も腰椎椎間板や筋・筋膜など複数存在することから、健康関連のQOLが低下する²⁾とされている。我が国で実施されている国民生活基礎調査によると、その中の世帯員健康状況における病気やけが等の有訴者率では、男女ともに腰痛が毎年上位に位置している³⁾。腰痛には特異的腰痛と呼ばれる椎間板ヘルニアや腰部脊柱管狭窄症など、診察や画像診断で原因が特定できるタイプと、非特異的腰痛と呼ばれる原因が特定しきれないタイプに分類される⁴⁾。非特異的腰痛は腰痛の85%を占めるとされており、腰痛の原因が十分に解明されていないものの、その多くは腰部周囲筋の過緊張や、筋・筋膜の損傷により生じる筋・筋膜性腰痛であることが考えられている。その中で、急性腰痛症(ぎっくり腰)は非特異的腰痛に分類され、スポーツや就労などで発生し、様々な分野で問題視されている。スポーツ場面ではウエイトリフティングや各種トレーニング中に重量物を扱う競技、投擲種目のような定められたサークル内で重量物を扱う競技、体幹の過伸展や屈曲・回旋、中腰の姿勢からの腰捻り、跳躍後の着地の衝撃が生じる競技など、プレー中に体幹の可動性を大きく要求される動作や、安定性が要求される場面で発生する⁵⁾とされている。また、就労では重量物の取り扱いをする運送業者、体幹前屈位や後屈捻転(回旋)位など不良姿勢で作業を行う工員や事務職員、福祉や医療分野における介護福祉士や看護師など⁶⁾、同じ作業を反復して行う職種や、定められた環境下で長時間の作業を行う職種などで発生する²⁾とされている。以上のように、急性腰痛症の発生には重量物の持ち上げ動作が要因の1つとして挙げられており、この理由として持ち上げ動作には全身の多くの筋に相当な活動が要求され、動作時の脊柱基部には大きな圧迫力や張力、剪断力が生じていることが考えられている⁶⁾。そのため、腰痛予防に関する報告でも、重量物の取扱に対する注意勧告が散見される。

一方で、持ち上げ動作は大きく2種類の動作方法に分類することができる。1つはSquat法と呼ばれ、体幹中間位で股関節屈曲位、膝関節屈曲位の状態から股関節と膝関節の伸展により動作を遂行するものである⁶⁾。もう1つはStoop法と呼ばれ、体幹前屈位で股関節屈曲位、膝関節伸展位の状態から体幹と股関節を伸展して行う動作方法である⁶⁾。2つの動作方法は特徴が大きく異なる点から、エネルギーの消費や動作の効率性、身体への負担などについて検証され、比較されている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾²⁷⁾。その中で、厚生労働省は腰痛予防の観点からSquat法を推奨しており⁷⁾、多くの先行研究においてもSquat法は腰部負担が少ないことが報告されている⁸⁾⁹⁾。しかし、日常生活ではほとんどの場面でStoop法が選択されていることが現

状であり¹¹⁾、その理由として、比較的重い重量物を Squat 法によって持ち上げることが困難であること¹²⁾、Squat 法では酸素摂取量が多く心肺機能にかかる負担が大きいこと¹⁰⁾、Stoop 法の方が動作中の動揺が少なく相対的な重量負荷が少ないこと¹³⁾などが挙げられる。また、2つの動作方法を比べれば Squat 法が腰部の損傷を防止する安全な方法であると提唱されているものの、一方ではこの提唱を強く支持する科学的根拠が十分になく¹⁴⁾、異なった機能特性があることを理解する必要がある¹³⁾と報告されている。そのため、Squat 法と Stoop 法については様々な視点から動作の特徴を検証する必要があると考える。

これまで、持ち上げる重量物の質量を被験者が認識した上で、Squat 法と Stoop 法の筋活動やエネルギー消費などを比較した研究が報告されている⁸⁾⁹⁾¹¹⁾¹⁵⁾。一般的に、物を持ち上げる時は動作開始前に視覚から得られた情報より質量を予測しており、過去の経験を踏まえた上で動作開始前から必要に応じた筋活動を行い、動作を遂行している¹⁶⁾と言われている。そのため、持ち上げる前の質量の認識がその後の活動に影響を及ぼしている可能性があり、それが腰痛発生に関係するとの指摘がある。これらのことから、持ち上げ動作は動作中の身体活動のみならず、動作を開始する前の準備段階にも注目すべきと考える。Butler らは持ち上げ動作の際、事前に質量の認識が正しくできていなければ、それに対する姿勢や筋活動が正しく行われないうちに異常な筋緊張を引き起こし、腰痛発生につながる可能性があることを示唆している¹⁷⁾。しかし、日常生活では重量物の質量が正確に認識できていない状況で持ち上げ動作を行う場面も少なくない。その際、持ち上げる前の主観的に予測した質量と、実際の質量に差がみられるといったような、質量の予測に錯誤が生じたまま動作を開始する場合も十分に考えられる。しかし、このような質量の予測に錯誤が生じることで、持ち上げ動作において四肢や体幹がどのように活動し、動作を遂行するのかについて着目した研究はこれまで報告されていない。そこで本研究では、持ち上げる前に予測する質量よりも、実際に持ち上げる質量が重い状況によって生じる錯誤に着目し、持ち上げ動作に及ぼす影響を明らかにすることによって、錯誤による身体負担や、質量の予測が如何に重要であるかを理解することができる。また、Squat 法と Stoop 法のような持ち上げ方法の違いによって、錯誤による影響に差があるのかを明らかにすることができれば、急性腰痛症のリスク回避や、腰痛予防のための新たな知見となるのではないかと考える。

第2章 関連文献の考証

本研究では持ち上げ動作の身体活動分析を四肢・体幹の筋活動と、床反力の3分力により検証する。これまでの持ち上げ動作に関する研究では、主に脊柱起立筋をはじめとした体幹筋の筋電図学的研究が多く⁹⁾¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾、その他に3次元動作解析装置や床反力計を用いた研究が散見される¹³⁾²²⁾。そこで第1節では、持ち上げ動作の筋電図学的研究で最も多く取り上げられている体幹の筋について述べ、次いで持ち上げ動作の筋活動について述べていく。第2節では床反力に関する報告を述べていく。なお、本研究では被験者が認識している質量とは異なる質量を意図的に設定することで、質量の予測に錯誤が生じるようにしている。そのため第3節では、質量の認識が持ち上げ動作の身体活動に及ぼす影響について述べていく。

第1節 持ち上げ動作の筋活動

(1)体幹筋群について

様々な動作において、四肢が機能的に動くためには支点となる体幹の役割が重要である。特に、体幹の機能的安定性には体幹筋群が非常に重要である。体幹筋群は、ローカル筋と呼ばれる椎骨に直接付着している腹横筋や多裂筋と、グローバル筋と呼ばれる胸郭と骨盤を連結する腹直筋などに分類される。体幹の安定性にはローカル筋とグローバル筋の相互作用が重要であり、とくにローカル筋は各椎体間の分節的な安定性や動作における先行活動の役割³⁴⁾と、腹腔内圧の増加や腰胸筋膜の緊張を増加させる働きがある⁴¹⁾。Willsonらは、体幹の機能的安定性が高いと、体幹や下肢の障害予防につながることを報告している⁴²⁾。またButcherらは、55人のアスリートを対象に9週間のローカル筋のトレーニングを実施したことにより、垂直跳びにおける敏捷性が向上したことを報告しており²⁸⁾、運動のパフォーマンス向上にも期待できることが報告されている。

体幹のローカル筋とグローバル筋の活動には、腰痛と深く関わりがあることが報告されている³³⁾。これは、体幹のグローバル筋の活動性増加が、慢性腰痛患者における症状増悪、もしくは慢性化の一因であると考えられており、腹横筋などのローカル筋の機能異常が関与している可能性が考えられている。また腰痛患者は、ローカル筋とグローバル筋の活動が健常者と異なる活動パターンを示すという報告³⁸⁾もみられる。なお、持ち上げ動作の研究において、体幹の筋活動には主にグローバル筋である脊柱起立筋が注目されており、腹横筋や多裂筋などのローカル筋に着目している報告は少ない。

(2)動作方法の違いによる筋活動の相違

持ち上げ方法は Squat 法と Stoop 法の 2 種類に分類することができ、動作方法の違いによって脊柱起立筋と大腿直筋の活動に差がみられることが報告されている⁹⁾。藤村らは健常男子 10 名を対象に、体重の 40% に設定された重量物を Squat 法と Stoop 法によって持ち上げた際の筋活動を比較した。その結果、僧帽筋と上腕二頭筋では Squat 法と Stoop 法の間有意差はみられなかったが、Stoop 法では脊柱起立筋が、Squat 法では大腿直筋が有意に高い活動であったことを報告している。また、脊柱起立筋の活動ピーク時期は Squat 法では動作後半にみられるものが多かったが、Stoop 法では動作開始直後から終了時まで幅広くみられ、腰椎骨盤運動リズムの逸脱がみられていた。この腰椎骨盤リズムとは体幹を前後屈する際に腰部脊柱と股関節が体幹の屈曲・伸展の回転点となり腰椎と股関節を相互に協調して可動させることである²⁴⁾。腰椎骨盤リズムの破綻により椎間靭帯、椎間板線維輪の後部、後縦靭帯、椎間関節包、胸腰筋膜などの脊柱後方の結合組織が伸長され、椎間板及び椎間関節に対する応力が増大することが報告されており、これらの原因から Stoop 法では脊柱周辺疾患を発症する危険性が高くなると指摘されている。

(3)質量の増加が持ち上げ動作の筋活動に及ぼす影響

Johansson らは物体の質量が掴む力の強さを左右する要因の 1 つであることを明らかにしている²⁵⁾。また、重い重量物を持ち上げた後に軽い重量物を持ち上げた場合は、実際より軽く感じる現象として持続効果(After-effect)が存在する²⁶⁾と報告しており、このことから質量の増加は心理的な要因が関与していると考えられている。つまり被験者は質量の増加を認識することにより、持ち上げ動作が困難になるといった心理的な緊張を招いてしまい、その結果四肢・体幹の筋活動を高めて動作を遂行するということである。

波之平らは質量が 1kg、体重の 10%、15%、20%、25% に設定された 5 条件の重量物を用いて、Squat 法における脊柱起立筋、大腿直筋、内側広筋の筋活動を検証している¹²⁾¹⁹⁾。その結果、脊柱起立筋は体重 15% の質量を境に筋活動が有意に増加しており、とくに動作終盤の活動が顕著であったと報告している。一方で膝関節伸展に貢献している大腿直筋や内側広筋では重量物の質量増加に影響されない傾向にあるとされている。このことから、Squat 法における質量増加の影響には、膝関節伸展筋群の関与が少ないと指摘されており、質量の増加に対しては主に腰部伸筋を駆使した動作方法であることが報告されている。その他の研究においても質量増加では下肢の筋活動より上肢の筋活動が有意に高くなることが報告されて

おり¹⁸⁾、藤村らは質量が体重の10%の条件と40%の条件で大腿直筋の活動を比較しても、活動量は若干増加する程度であり、その一方で上腕二頭筋の活動は質量が体重の10%では随意収縮の50%、質量20%では随意収縮の90%を示し、重量が増えるにつれて活動量が飛躍的に高まることを報告している。脊柱起立筋に関しては質量10%では最大随意収縮時の20%、質量20%では随意最大収縮時の30%というように、上腕二頭筋に比べると上昇率に差がみられることを報告している。このことから、質量の増加に対する筋活動の上昇では上腕二頭筋に比べて脊柱起立筋は緩やかに高まっているようにみられるが、持ち上げ姿勢に伴う椎間板内圧や生理的彎曲へのストレスなどを考慮すると、脊柱起立筋に対しては大きな負担を強いるべきではなく、下肢の筋を活用させることで脊柱起立筋への負担を軽減させる必要があることを指摘している。

第2節 持ち上げ動作の床反力

立位姿勢では足底を介して床面へ力が生じており、その力は足底と接した床面のすべてにかかっている。この力の反作用として方向が正反対で同等の大きさをもった力、いわゆる反力が生じている。反力は無数であるが、無数の力のままでは力学的な解釈がしにくいため、ベクトル合成という方法でこれらの反力を1本のベクトルで表している。これを床反力²⁹⁾という(図1)。床反力には3つの方向に分解することができ、 x 軸(側方分力)、 y 軸(前後分力)、 z 軸(垂直分力)の3分力として表現している。3分力の方向の基準は進行方向であるため、 x 軸は側方への安定性に、 y 軸は身体の推進と制動に、 z 軸は身体の支持に関わっている(図2)。

持ち上げ動作の研究において筋活動の報告が多い反面、床反力についての報告は少ない。また、3次元動作解析装置と床反力を併用して報告している例もあるが、関節モーメントについて論じている報告が多く、3分力に着目している研究は少ない。その中で、Stoop法とSquat法における x 軸と y 軸の最大値について着目した報告がある。後藤らは健常者20名を対象にSquat法とStoop法による持ち上げ動作中の床反力について検証しており、その結果有意差はみられなかったものの、 x 軸と y 軸ともSquat法において高い傾向であったことを報告している¹⁹⁾。また、持ち上げる重量物の質量が同じでも、Stoop法に比べSquat法の方が身体に対する相対的な重量負荷が大きくなるため、それにより姿勢バランスがより不安定となり、床反力にも影響すると指摘している。PunielloらもSquat法とStoop法の安定性について91名の高齢者を対象に比較しているが、後藤らの報告と同様にSquat法では

Stoop 法よりも高い安定性が要求される²⁷⁾と結論付けていた。なお、z 軸については持ち上げ動作の研究で評価している報告は少なく、十分に調査されていない。

第3節 質量の認識が持ち上げ動作の身体活動に及ぼす影響

(1) 持ち上げ動作中の身体活動に及ぼす影響

持ち上げ動作は対象物の大きさや形などの視覚情報と、過去の経験の記憶との統合により形成される運動プログラムに基づき円滑に遂行される²⁹⁾。日常でよく使用する道具や物品は持ち上げ開始時から適切な力で把持しており、予め視覚情報によって持ち上げる力や握む力を増減させることを予測的変数制御(target strategy)¹⁶⁾と呼ばれている。以上のことから、持ち上げる対象物の情報収集によって身体活動を変化させ、動作を遂行していることが考えられる。

これらの報告を踏まえて、藤村らは質量の表示と非表示が及ぼす影響について検証しており、体重 30%の質量が非表示とされた条件では、表示がされている条件よりも脊柱起立筋の活動が乏しく、非表示群は表示群より遅れて活動が上昇する³⁰⁾と報告している。このことから、質量が非表示されたことにより持ち上げ動作に必要な筋活動量が動作の序盤で十分に供給されず、椎間関節、各靭帯、椎間板などが負担を強いられる可能性があることを報告している。一方で、質量が体重の 5%と 15%の場合には、質量を認識した条件の方が非認識下の条件よりも筋活動が低くなることが報告されている²⁰⁾。そのため、質量が認識できない状況で持ち上げ動作を行う場合、持ち上げ方法や設定された質量が身体活動に影響すると考えられる。

(2) 持ち上げる直前の体幹筋活動に及ぼす影響

ヒトが動作を遂行するにあたり、予め動作の安定化を図るための手段として先行随伴性姿勢調節(APAs : anticipatory postural adjustments)と呼ばれる姿勢調節機能が存在する。この APAs を上肢挙上動作に例えて説明すると、主動作筋である三角筋の収縮に先行して脊柱起立筋が 50ms~100ms 前に収縮し、上肢挙上により生じるわずかな身体動揺を予め緩衝させる³¹⁾というものである。持ち上げ動作においても、重量物を挙上させる直前に体幹の筋に APAs が機能すると考えられており、動作に伴う適切な体幹の姿勢調節機能が生じない場合には、急性腰痛症を発症する危険性がある³²⁾と指摘されている。そのため、正しい APAs の発現は持ち上げ動作の円滑性や腰痛回避に貢献していることが考えられている。持ち上げ

動作における APAs において、とくに注目されているのはローカル筋である腹横筋や多裂筋である。腹横筋の活動は腰椎の安定に貢献しており、多裂筋など他の深部筋と協働的な収縮をすることで腰部の円滑な動作を可能としている。Hodges らは 15 人の腰痛患者を対象に肩関節の屈曲に伴う腹部・腰部の筋活動を表面筋電図にて計測し、腰痛患者の APAs を計測した³³⁾。その結果、腰痛患者は腹横筋の活動が健常者よりも遅延していることが分かり、脊柱安定化として非効率的であることを指摘している。つまり、腰痛患者では持ち上げ動作における腹横筋や多裂筋といったローカル筋が十分に機能を果たすことができず、腰痛を助長してしまう可能性が考えられる。

以上のことから、持ち上げ動作は対象の質量を認識することによって予め APAs によって体幹のローカル筋の活動を高め、安全に動作を遂行させている。そのため、持ち上げ動作を行うためには筋力やバランスなどの身体機能だけではなく、正確な質量の予測も重要ではないかと考えられる。

第3章 研究目的

持ち上げる際の質量の予測に錯誤が生じると、四肢体幹の筋活動と床反力の3分力にどのような影響を及ぼすのか、Squat法とStoop法の2種類の持ち上げ方法に着目して検証した。

第4章 研究方法

第1節 被験者

被験者は、T大学に所属する男子学生もしくは、同大学病院に勤務する男性職員 20名(平均年齢:22.1±2.6歳、身長:170.5±3.4cm、体重:62.2±5.4kg)とした。なお、被験者を募る際は、著しい関節可動域の制限がみられないか、目的とする動作を行うことで疼痛が誘発されないか、体幹や下肢に外傷・手術の既往がないかを確認し、1つでも該当するものがあれば除外した。

本実験に先立ち、被験者に対して研究の目的、意義、方法及び参加に際しての危険性などに関する説明を口頭および文章にて十分行い、書面にて研究への参加同意を得た。計測で得られたデータは個人情報の保護を考慮し、連結可能匿名化を施して実施した。順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科の研究等倫理委員会より承認(院 28-49)を受けて実施した。

第2節 実験手順

(1)被験者の群分け

同意が得られた 20名の被験者を Squat 法群と Stoop 法群の 2群にランダムに分類し、どちらの群とも合計が 10名ずつとなるようにした(表 1)。なお、2群に分けた理由として、本研究は持ち上げる前の質量の予測に錯誤を生じさせることが重要である。そのため Squat 法と Stoop 法を比較するにあたり、同一被験者に 2回以上錯誤をかけることが困難であると考えたため、2群に分けることで 1人に 1回の錯誤をかけることとした。

(2)計測環境

計測に使用する重量物は、蓋が付いた箱(無印良品：硬質パルプボックス・フタ式、幅 25.5×奥行 36×高さ 32 cm、質量 0.7kg)の中に重錘(酒井医療：カラー重錘バンド 1kg、2kg、3kg、4kg、5kg)を複数入れることで、被験者の体重 20%まで設定できるようにした。全ての計測は床反力計の上で実施した。床反力計の上にアナログ式の体重計(タニタ：アナログヘルスマーターHA-851BL 体重計)を設置し、その上に重量物を置くことで、視覚的に重量物の質量が体重計の目盛りで確認できるようにした(図 3)。計測の一部始終はデジタルビデオカメラ(OLYMPUS：PEN Lite E-PL5)を用いてサンプリンググレード 30frame/s により動画を撮影し、筋活動と床反力の結果と同期した。

(3)計測の流れ

はじめに、計測手順や持ち上げ方法の指導と練習のために、重量物の中身が空であると認識させた状態で空箱(体重計の目盛りは箱のみの0.7kgと表示)を持ち上げるように指示をした。質量を認識する方法は、事前に箱の中身と体重計の目盛りを確認させた後に、実際に持ち上げてもらうことで空箱の質量を経験させることとした。空箱の持ち上げ動作を5回ほど行い、被験者が動作方法の理解に不備がないことを確認した上で終了した。その後、隣接している被検者の控室にて5分ほどの休憩を設けた。控室では休憩を兼ねて記入式のアンケート(図4)に答えるようにし、その間に検者が箱の中身に重錘を入れることで、重量物の質量が体重の20%となるように設定した。この時、体重計の目盛りは箱のみの重さである0.7kgに変更し、質量の変更作業は被験者に気づかないように配慮を徹底した。

被験者がアンケートを回答した後に、質量の予測に錯誤を生じさせた状態での持ち上げ動作(以下、錯誤条件)を計測した。これは、箱の中身は被験者の体重20%に設定された重錘が入っているものの、被験者は空箱のままであると思わせることで、質量の予測に錯誤が生じるようにした。錯誤方法として、計測前に体重計の目盛りが箱のみの重さである0.7kgを示していることを確認させるようにした。被験者が体重計の目盛りを確認した後に計測を実施した。計測終了後、被験者には箱の内容物を確認させ、実際の質量が体重の20%であったことを認識させた。その後再び控室に戻り、5分ほどの休憩を設け、休憩を兼ねて再度アンケートに回答するようにした(図5)。

被験者が2回目のアンケートを回答した後に、質量が体重の20%であると認識した状態での持ち上げ動作(以下、認識条件)を計測した。質量を認識する方法は、事前に箱の中身と体重計の目盛りを確認させた後に、実際に持ち上げてもらうことで体重20%の質量を経験させることとした。被験者が質量の確認を終えた後に計測を実施した(図6)。

第3節 持ち上げ方法

Squat法の開始肢位は体幹中間位で股関節屈曲位、膝関節屈曲位、足部はつま先立ちの状態とした。そこから、股関節と膝関節の伸展により重量物を挙上するように指示をした(図7)。Stoop法の開始肢位は体幹前屈位で股関節屈曲位、膝関節伸展位、足部全体が床面に接した状態とした。そこから、体幹と股関節の伸展により重量物を挙上するように指示をした(図8)。なお、どちらの持ち上げ方法も重量物の挙上に伴い肩関節や肘関節が極端に屈曲しないように指示をし、不必要な上肢の筋力発揮で脊柱起立筋をはじめとした背部の筋活動に強く影響しないように注意した。また、重量物として使用する箱には取っ手が備わっており(図3)、持ち上げ開始の合図があるまでは取っ手に指を添えるだけとし、持ち上げ開始の合図後に取っ手を把持し

て動作を開始するように指示をした。なお、動作の開始合図は検者がライト(ASE社:USB充電式LEDライト)を点灯させることで指示した。

開始合図はビデオカメラで撮影した動画上で、ライトが点灯した時点と定義した。また、重量物の挙上動作開始も、動画上で重量物の挙上が確認できる時点と定義した。動作終了のタイミングは動画のみで判定することが困難であるため、床反力計によるz軸を参考にした。具体的には、静止状態である開始肢位のz軸を基準値とし、動画上で持ち上げ動作を終えて再びz軸が基準値に到達し、数値の変動がみられなくなった時点を実験終了と定義した。

第4節 計測項目

(1)筋活動

被験筋は身体右側の三角筋(三角筋前部線維とし、肩峰前縁より1横指下方)、上腕二頭筋(肩峰と肘窩を結んだ線の下1/3)、脊柱起立筋(L1棘突起から2横指外側)、多裂筋(上後腸骨棘の尾側端とL1~2を結ぶライン上でL5レベル)、大腿直筋(上前腸骨棘と膝関節を結ぶ線の約中央)、半腱様筋(坐骨結節と脛骨内側顆を結んだ線の中央)、前脛骨筋(腓骨頭と内果を結んだ線の上1/3)、腓腹筋(外側腓腹筋とし、腓骨頭と踵部を結んだ線の上1/3)の8筋とした。

筋電図の記録は表面電極法を用いて行った。あらかじめ電極添付位置の皮膚上を皮膚前処理とアルコールで清掃した後に、表面電極(電極間距離20mm)を各筋の走行に沿って添付した。表面筋電計(Biometrics: SX230)を使用し、導出した信号はサンプリング周波数1000Hzでパーソナルコンピュータ(DELL: Inspiron 15 3000シリーズ)に取り込み、解析ソフトウェア(DKH社: TRIAS System)を使用して記録した。解析ソフトウェアに取り込んだ後にフィルタ設定としてハイパスフィルタ10Hz、ローパスフィルタ50Hzとして処理をした。また、全波整流し積分筋電図(iEMG: Integrated Electro MyoGram)を求めた。なお、計測を開始する前に各被験筋における最大随意収縮(MVC: Maximal Voluntary Contraction)時の筋活動を、MMT(manual muscle test)に従い検査者の徒手抵抗により計測した。MMTで得られた筋活動の1秒間を分析区間とし、合計3回実施したうちの最大値を採用して、本計測における筋活動の正規化を図った。

(2)床反力

床反力は被験者の解剖学的肢位で前額面からみた左右方向のx軸(側方分力)、前後方向のy軸(前後分力)、垂直方向のz軸(垂直分力)を採用した。

床反力計(Kistler 社:大型 Force Plate)から得られた信号はサンプリング周波数 1000Hz でパーソナルコンピュータに取り込み、筋電図と同じ解析ソフトウェアに記録することで同期した。なお、被験者の体重を解析ソフトウェア内の被験者プロフィールに登録し、計測で得られたデータは体重値で除算し、正規化を図った。

第5節 分析方法

まず、錯誤条件の計測後に実施したアンケート(図5)の設問③と④の回答を用いて、被験者に錯誤を生じさせることができたのかを検討した。表面筋電計で得られたデータは、開始合図から重量物の挙上動作開始までを2分割とした Phase I・II、重量物の挙上動作開始から動作終了までを8分割とした Phase III・IV・V・VI・VII・VIII・IX・X(図9)として、Phase ごとの iEMG を求めた。床反力で得られたデータは、開始合図から重量物の挙上動作開始までと、重量物の挙上動作開始から動作終了までの2相に分け(図10)、x軸・y軸・z軸の最大値をそれぞれ採用した。得られた測定値は全て平均値±標準偏差(Mean±SD)で表し、統計処理ソフト(SPSS version22.0)を使用し解析を行った。認識条件の Squat 法と Stoop 法の違いを明らかにするために、Squat 法と Stoop 法における筋活動と床反力を、対応のない t 検定によって比較を行った。また、認識条件と錯誤条件における重量物の挙上動作開始から動作終了までの所要時間と、Phase ごとの筋活動と床反力に対し、対応のある t 検定によって比較を行った。全ての統計処理の有意水準は危険率 5% 未満とした。

第5章 結果

第1節 錯誤条件計測後のアンケート結果

錯誤条件の計測後に実施したアンケートの設問③において、持ち上げる前の質量は被験者全員が「軽いと思った」を選択した。また、設問④の重いと感じた瞬間についても、「持ち上げる前」や「感じなかった」を選択する者はおらず、全ての被験者が「握った瞬間」もしくは「持ち上げ途中」を選択していた(表2)。

第2節 認識条件における Squat 法と Stoop 法の比較

(1)筋活動による比較

認識条件での Squat 法と Stoop 法の比較では、全ての筋に有意差がみられる結果となった(表3)。上肢の筋活動は、三角筋の PhaseIVで Squat 法 $27.8 \pm 7.9\%$ MVC、Stoop 法 $14.9 \pm 12.6\%$ MVC、Phase Vで Squat 法 $25.6 \pm 16.6\%$ MVC、Stoop 法 $12.1 \pm 9.6\%$ MVC、上腕二頭筋では Phase IIで Squat 法 $10.4 \pm 8.5\%$ MVC、Stoop 法 $3.3 \pm 1.8\%$ MVC、Phase IIIで Squat 法 $29.4 \pm 12.8\%$ MVC、Stoop 法 $8.7 \pm 8\%$ MVC、Phase IVで Squat 法 $47.5 \pm 21.7\%$ MVC、Stoop 法 $11.2 \pm 11.1\%$ MVC、Phase Vで Squat 法 $40.7 \pm 24.9\%$ MVC、Stoop 法 $11.2 \pm 8.6\%$ MVC、Phase VIで Squat 法 $32.3 \pm 17.4\%$ MVC、Stoop 法 $12.2 \pm 10.8\%$ MVC となり、動作序盤に Squat 法の筋活動が有意に高い結果となった($p < 0.05$)。体幹筋では、脊柱起立筋の Phase Iで Squat 法 $18.6 \pm 6.4\%$ MVC、Stoop 法 $9.4 \pm 5.8\%$ MVC、Phase IIで Squat 法 $31.9 \pm 16.9\%$ MVC、Stoop 法 $11.4 \pm 4.8\%$ MVC、Phase IIIで Squat 法 $75.1 \pm 20.1\%$ MVC、Stoop 法 $38.8 \pm 32\%$ MVC、Phase IVで Squat 法 $85.4 \pm 21.6\%$ MVC、Stoop 法 $43.7 \pm 30.2\%$ MVC、Phase Vで Squat 法 $83.4 \pm 19.5\%$ MVC、Stoop 法 $48.6 \pm 26.3\%$ MVC、Phase VIIIで Squat 法 $57.2 \pm 12.7\%$ MVC、Stoop 法 $79.3 \pm 24.5\%$ MVC、Phase IXで Squat 法 $48.2 \pm 10.8\%$ MVC、Stoop 法 $68.5 \pm 24.5\%$ MVC となり、多裂筋の Phase Iで Squat 法 $19 \pm 6.6\%$ MVC、Stoop 法 $8.3 \pm 4.2\%$ MVC、Phase IIで Squat 法 $27.8 \pm 11.4\%$ MVC、Stoop 法 $9.6 \pm 4\%$ MVC、Phase IIIで Squat 法 $62.9 \pm 21.4\%$ MVC、Stoop 法 $29.7 \pm 13.1\%$ MVC、Phase IVで Squat 法 $72.4 \pm 15.5\%$ MVC、Stoop 法 $40.9 \pm 31\%$ MVC、Phase Vで Squat 法 $77 \pm 15.8\%$ MVC、Stoop 法 $46.5 \pm 29.8\%$ MVC、Phase VIIIで Squat 法 $56.1 \pm 17.1\%$ MVC、Stoop 法 $77 \pm 20.2\%$ MVC、Phase IXで Squat 法 $48.6 \pm 10.1\%$ MVC、Stoop 法 $60.6 \pm 14.5\%$ MVC となり、脊柱起立筋と多裂筋はともに動作序盤に Squat 法が有意に高いものの、終盤では Stoop 法の筋活動が有意に高い結果となった($p < 0.05$)。下肢の筋活動では、大腿直筋は Phase IIIで Squat 法 $36.3 \pm 32.7\%$ MVC、Stoop 法 $5.3 \pm 2.5\%$ MVC、Phase IVで Squat 法 $50.9 \pm$

44%MVC、Stoop法 $5.8 \pm 2.7\%$ MVC、Phase Vで Squat法 $44.8 \pm 37.6\%$ MVC、Stoop法 $6 \pm 2.7\%$ MVC、Phase VIで Squat法 $30 \pm 26.1\%$ MVC、Stoop法 $5.8 \pm 2.8\%$ MVC、Phase VIIで Squat法 $20.5 \pm 14.6\%$ MVC、Stoop法 $5.8 \pm 3.2\%$ MVC、Phase VIIIで Squat法 $14.1 \pm 8.5\%$ MVC、Stoop法 $5.3 \pm 2.9\%$ MVC、Phase IXで Squat法 $11.4 \pm 5.8\%$ MVC、Stoop法 $5.3 \pm 2.9\%$ MVC、Phase Xで Squat法 $9.3 \pm 5.1\%$ MVC、Stoop法 $5 \pm 3.1\%$ MVC となり、重量物の挙上動作開始後から Squat法の筋活動が有意に高く、半腱様筋では Phase Iで Squat法 $4.7 \pm 2.8\%$ MVC、Stoop法 $20.5 \pm 8.7\%$ MVC、Phase Vで Squat法 $32 \pm 14.8\%$ MVC、Stoop法 $55.1 \pm 23.5\%$ MVC、Phase VIで Squat法 $28 \pm 11.1\%$ MVC、Stoop法 $49.4 \pm 20.8\%$ MVC となり、動作開始前と動作中盤において Stoop法の活動が有意に高かった($p < 0.05$)。また、前脛骨筋の Phase Iで Squat法 $11.9 \pm 9.8\%$ MVC、Stoop法 $2.8 \pm 1\%$ MVC、Phase IIで Squat法 $34.1 \pm 25\%$ MVC、Stoop法 $3.4 \pm 0.9\%$ MVC、Phase IIIで Squat法 $42.9 \pm 35.9\%$ MVC、Stoop法 $4.9 \pm 1.8\%$ MVC、Phase IVで Squat法 $26.2 \pm 18.7\%$ MVC、Stoop法 $6 \pm 2.7\%$ MVC と動作序盤で Squat法が有意に高く、腓腹筋では Phase Iで Squat法 $5 \pm 2.9\%$ MVC、Stoop法 $13.3 \pm 8.7\%$ MVC、Phase IIで Squat法 $8.9 \pm 4.7\%$ MVC、Stoop法 $18.2 \pm 11.2\%$ MVC と重量物の挙上前に Stoop法が有意に高い結果となった($p < 0.05$)。

(2)床反力による比較

重量物の挙上動作前では y 軸において Squat法 $9.8 \pm 8.9\%$ 、Stoop法 $2 \pm 3\%$ 、挙上動作後では x 軸で Squat法 $4.5 \pm 3.2\%$ 、Stoop法 $1.7 \pm 1.1\%$ 、y 軸で Squat法 $12.1 \pm 6.9\%$ 、Stoop法 $6.2 \pm 4.8\%$ となり、x 軸と y 軸ともに Squat法が有意に高い結果となった($p < 0.05$ 、表 4)。なお、z 軸では重量物の挙上前後に有意差はみられなかった。

第3節 認識条件と錯誤条件の比較

(1)重量物の挙上動作開始から動作終了までの所要時間の比較

Squat法の重量物の挙上動作から動作終了までに要する時間は、認識条件 1.5 ± 0.27 秒、錯誤条件 1.84 ± 0.36 秒となり、錯誤条件の方が持ち上げ動作に要する時間が長い結果となった($p < 0.05$)。一方、Stoop法では認識条件 1.6 ± 0.35 秒、錯誤条件 2.04 ± 0.47 秒となり、Squat法と同様に錯誤条件の所要時間が長い結果となった($p < 0.05$ 、図 11)。

(2)持ち上げ方法別における筋活動の比較

Squat 法における認識条件と錯誤条件の筋活動の比較では、三角筋と上腕二頭筋ともに有意差はみられなかった。しかし、三角筋の Phase I から PhaseIVにかけては、錯誤条件の筋活動の方が高い傾向にあった。脊柱起立筋では PhaseVIIIで認識条件 $57.2 \pm 12.7\%$ MVC、錯誤条件 $69.8 \pm 11.3\%$ MVC、PhaseIXでは認識条件 $48.2 \pm 10.8\%$ MVC、錯誤条件 $58 \pm 17.6\%$ MVC となり、動作終盤で錯誤条件の筋活動が高かった ($p < 0.05$)。一方、多裂筋では PhaseVで認識条件 $77 \pm 15.8\%$ MVC、錯誤条件 $58.5 \pm 22.3\%$ MVC となり、動作中盤では認識条件で高い結果がみられたが、PhaseIXでは認識条件 $48.6 \pm 10.1\%$ MVC、錯誤条件 $61.2 \pm 16.3\%$ MVC となり、脊柱起立筋と同様に動作終盤では錯誤条件の方が有意に高い結果となった ($p < 0.05$)。なお、脊柱起立筋と多裂筋は共通して動作序盤は認識条件の筋活動量が高い傾向にあるが、動作終盤では錯誤条件の活動量が認識条件の活動量より上回る傾向にあった(図 12)。大腿直筋では PhaseIXで認識条件 $11.4 \pm 5.8\%$ MVC、錯誤条件 $8.4 \pm 5\%$ MVC となり、認識条件において高い結果がみられた ($p < 0.05$)。半腱様筋では PhaseVIIで認識条件 $26.2 \pm 10.6\%$ MVC、錯誤条件 $39.3 \pm 14.1\%$ MVC、PhaseVIIIでは認識条件 $20.3 \pm 8.8\%$ MVC、錯誤条件 $33.6 \pm 11\%$ MVC となり、大腿直筋とは異なり錯誤条件で筋活動が有意に高い結果となった ($p < 0.05$)。前脛骨筋では PhaseIXで認識条件 $3.8 \pm 3\%$ MVC、錯誤条件 $5.6 \pm 4\%$ MVC と錯誤条件が高く ($p < 0.05$)、腓腹筋は PhaseIXで認識条件 $14.4 \pm 13.3\%$ MVC、錯誤条件 $12.2 \pm 10.9\%$ MVC となり、認識条件が高い結果となった ($p < 0.05$)。なお、Phase I から PhaseIVまでは、どの部位においても有意差はみられなかった(表 5)。

Stoop 法では三角筋、上腕二頭筋、脊柱起立筋、半腱様筋、前脛骨筋に有意差がみられなかった(表 6)。しかし、多裂筋の PhaseVIIIで認識条件 $77 \pm 20.2\%$ MVC、錯誤条件 $65.5 \pm 13.7\%$ MVC、PhaseIXで認識条件 $60.6 \pm 14.5\%$ MVC、錯誤条件 $53.7 \pm 12.3\%$ MVC、PhaseXで認識条件 $49.2 \pm 12.4\%$ MVC、錯誤条件 $41.9 \pm 8.4\%$ MVC となり、動作終盤からは認識条件の筋活動が高い結果となった ($p < 0.05$)。なお、脊柱起立筋と多裂筋は動作序盤において錯誤条件が認識条件より筋活動量が高い傾向にあるが、動作終盤は錯誤条件が認識条件より活動量が低い傾向となり、Squat 法とは対照的な活動パターンを示した(図 13)。下肢の筋活動では、大腿直筋の Phase I で認識条件 $4.3 \pm 2.6\%$ MVC、錯誤条件 $4.5 \pm 2.5\%$ MVC、腓腹筋の Phase I で認識条件 $13.3 \pm 8.7\%$ MVC、錯誤条件 $16.7 \pm 10.4\%$ MVC となり、どちらも錯誤条件において有意に高い結果となった。

(3)持ち上げ方法別における床反力の比較

Stoop 法において、認識条件と錯誤条件の床反力の比較では、重量物挙上動作後の x 軸で認識条件 $1.7 \pm 1.1\%$ 、錯誤条件 $2.1 \pm 1.3\%$ となり、錯誤条件が高い結果であった。しかし、y 軸では認識

条件 $6.2 \pm 4.8\%$ 、錯誤条件 $3.9 \pm 2.5\%$ 、z 軸で認識条件 $83.1 \pm 42.8\%$ 、錯誤条件 $78.6 \pm 39.9\%$ となり、認識条件において有意に高い結果となった ($p < 0.05$)。Squat 法では離床前後ともに認識条件と錯誤条件の間に差はみられなかった (図 14)。

第6章 考察

本研究では、正確に質量を予測して動作を行う認識条件と、軽いと予測して重い重量物を持ち上げる錯誤条件の筋活動と床反力を比較し、持ち上げ方法別で錯誤が身体活動に及ぼす影響を検証した。その結果、認識条件の Squat 法と Stoop 法の筋活動と床反力を比較すると、先行研究と同様の結果となった。また、認識条件と錯誤条件の比較では Squat 法の動作終盤において、錯誤条件の体幹筋の活動が認識条件の活動より高い結果となったが、Stoop 法では錯誤条件の体幹筋の活動が認識条件の活動よりも低い結果となった。

第1節 認識条件における Squat 法と Stoop 法の筋活動と床反力の相違

これまでの持ち上げ動作の筋電図学的研究において、質量を体重の 20% に設定し、Phase を細かく区分して Squat 法と Stoop 法を比較した研究はみられていない。しかし大腿直筋や動作終盤の脊柱起立筋、床反力の x 軸と y 軸に関しては、これまでの Squat 法と Stoop 法を比較した研究⁹⁾¹³⁾と同様の結果となった。上肢の筋活動では Squat 法が Stoop 法よりも高く、とくに持ち上げ動作の序盤までは上腕二頭筋の筋活動が高い結果となった。藤村らの報告では、質量が体重の 40% に設定された重量物で Squat 法と Stoop 法を比較した結果、上肢の筋活動に有意差はみられていなかった⁹⁾。しかし本研究では Phase を細かく区分することで筋活動の経時的な変化を抽出しているため、解析方法の違いによって藤村らとは異なった結果となったのではないかと考える。また動作の序盤では、脊柱起立筋と多裂筋の活動も Squat 法で有意に高くなっており、この原因として三角筋や上腕二頭筋といった上肢の挙上に関与する筋の活動が体幹の背部の筋にも影響したのではないかと考える。なお、半腱様筋、前脛骨筋、腓腹筋の活動について Squat 法と Stoop 法で比較した先行研究はみられなかったため、本研究の結果は新たな知見となった。Hagen らの報告では Squat 法において大腿二頭筋の活動が Stoop 法よりも低い結果を示しており⁸⁾、今回の半腱様筋においても、Stoop 法では股関節の伸展に作用したことで Squat 法よりも活動が高い結果を示したのではないかと考える。また、Squat 法の重量物挙上直前に前脛骨筋が高い活動を示したのは、Squat 法の開始肢位が股関節屈曲位、膝関節屈曲位、足関節背屈位のつま先立ちとしていたことが原因だと考える。萩原らは、膝関節を屈曲して立位姿勢を保持する場合、重心線が膝関節より後方を通るため、下腿を背屈位に保つために前脛骨筋を働かせる必要がある⁴⁰⁾と報告している。そのため、本研究においても同様の活動となったことが考えられる。腓腹筋においては、動作開始前に Stoop 法が有意に高い活動を示しているが、床反力の結果から、Stoop 法は重

量物の挙上動作前から前後分力の y 軸が高い結果を示しており、前方への重心制御に腓腹筋が関与したことで、活動が高かった可能性が考えられる。

第 2 節 錯誤が持ち上げ動作に及ぼす影響

(1) 錯誤が動作の所要時間に及ぼす影響

Squat 法と Stoop 法のどちらにおいても、錯誤条件は認識条件よりも有意に動作の所要時間が長い結果となった。持ち上げ動作は、動作の開始前から視覚情報や過去の経験によって質量を予測し、予め必要に応じた筋活動を発揮して動作を遂行している¹⁶⁾。しかし本研究では、動作開始前に予測する質量と実際に持ち上げる重量物の質量が錯誤によって乖離したことにより、動作の所要時間が長くなることが明らかとなり、錯誤が持ち上げ動作の円滑性や効率性の低下を招いてしまう可能性が示唆された。以上のことから、Squat 法や Stoop 法のような持ち上げ方法の違いに関係なく、持ち上げ前の質量の予測に錯誤が生じると、動作中の筋活動や床反力にも何らかの影響を与えている可能性があるのではないかと考える。

(2) 錯誤が Squat 法の筋活動に及ぼす影響

Squat 法の認識条件と錯誤条件において、動作終盤では大腿直筋と半腱様筋、前脛骨筋、腓腹筋の活動に差がみられた。先行研究では Squat 法の筋活動において、大腿直筋の活動は質量増加などで影響がみられないことが知られている¹²⁾¹⁹⁾。しかし、錯誤条件において大腿直筋の活動が低下したことから、質量の認識が Squat 法における大腿直筋の作用に影響している可能性が考えられる。通常、正確な質量の予測ができていれば、体幹や上肢の筋活動が質量に合わせて活動を調整し、大腿直筋は質量に左右されることなく膝関節伸展のみに作用する。しかし本研究の結果から、質量の予測に錯誤が生じることで動作の所要時間が長くなることが示されている。そのため、錯誤条件は認識条件よりも円滑性を欠いた動作となることが考えられ、膝関節伸展の主動作筋である大腿直筋も十分に活動できない可能性がある。この大腿直筋の作用を補うために、半腱様筋の筋活動を高めることで、筋の同時収縮(co-contraction)を起こし、動作を遂行させたのではないかと考える。同時収縮とは関節の屈筋と伸筋を同時に収縮させることでエネルギー消費の効率は悪くなるが、筋張力や関節角の正確な制御や、姿勢の維持や運動精度の向上に貢献できることである³⁵⁾³⁶⁾。つまり錯誤条件における Squat 法では、膝関節周囲筋の同時収縮が生じることにより錯誤に対応し、持ち上げ動作を遂行している可能性が考えられる。なお、前脛骨筋と腓腹筋

もそれぞれが足関節の背屈筋と底屈筋という対照的な筋である。そのため動作終盤では同時収縮をさせることで足関節の制御を高め、姿勢の維持に関与している可能性が考えられる。

錯誤条件の体幹筋活動は、認識条件と比較すると重量物挙上後に低い傾向となり、とくに多裂筋では動作中盤で有意に低い結果となった。先行研究でも質量が非表示の条件では、表示されている条件よりも筋活動が低くなることが報告されており³⁰⁾、本研究でも同様の活動となったのではないかと考える。しかし動作終盤からは脊柱起立筋と多裂筋ともに認識条件よりも錯誤条件の活動が高くなっている。脊柱起立筋と多裂筋の活動において、認識条件では動作中盤の筋活動がピーク値を示し、それ以降は徐々に活動が減少している。しかし、錯誤条件は認識条件のようなピーク値を凸型にした筋活動の推移は示しておらず、またピーク値からの活動量の減少も少ない傾向にある。これらのことから、錯誤条件における体幹筋活動は認識条件よりも活動量が低い状態で重量物を挙上させるが、筋活動は低下することなく維持されるため、動作終盤では錯誤条件の筋活動量が認識条件よりも高くなったのではないかと考える。

以上のことから、Squat 法で錯誤が生じると動作終盤では大腿直筋や腓腹筋の活動が低下する反面、半腱様筋や前脛骨筋の活動が高まることで筋の同時収縮が生じ、下肢の支持性を高めて動作を遂行している可能性が考えられる。また体幹筋においては、錯誤によって脊柱起立筋と多裂筋の活動が動作終盤まで保ったまま動作を遂行させていることが考えられる。

なお、被験者が錯誤を自覚するのは、開始合図のライトを視覚で確認した直後に重量物の把持を強め、挙上を開始する瞬間である。そのため、重量物の把持に関与している上肢の筋活動にも、動作の序盤に何らかの影響を受ける可能性があると考えていた。しかし本研究の結果では、上肢の筋活動は認識条件と錯誤条件の間に有意差はみられず、三角筋の活動において、重量物が挙上する直前から動作の序盤まで錯誤条件の筋活動が高い傾向であることを示したのみであった。そのため、Squat 法では錯誤に対して主に体幹や下肢の筋活動が機能しており、上肢の筋活動は関与が少ない可能性が考えられる。

(3) 錯誤が Stoop 法の筋活動に及ぼす影響

Stoop 法の体幹筋において、認識条件と錯誤条件の間に有意差がみられたのは多裂筋のみであった。Squat 法と異なる点は、グローバル筋である脊柱起立筋は錯誤の有無では変化がみられず、ローカル筋である多裂筋のみ有意な活動量の低下がみられたことである。このグローバル筋とローカル筋は、相互作用することで腰椎の安定性に関与していることが知られている³³⁾³⁴⁾³⁷⁾。とくに椎体安定性にはローカル筋が関与しており、その活動により腹直筋や脊柱起立筋などのグロー

バル筋の収縮を補助している。つまり、Squat 法の錯誤条件では脊柱起立筋と多裂筋は協働した活動変化を示したが、Stoop 法では動作終盤において多裂筋のみ有意に活動量の低下がみられたことから、Stoop 法で錯誤が生じると、グローバル筋とローカル筋の活動は乖離してしまい、椎体の安定性が欠如した状態で動作を行ってしまう可能性が考えられる。以上のことから、Stoop 法で錯誤が生じると、重量物の離床前から動作中盤までは認識条件と同じ筋活動で推移するが、動作終盤からはローカル筋である多裂筋の活動が低下し、グローバル筋である脊柱起立筋が優位に働いて動作を遂行していることが示唆された。なお、高齢者や腰痛患者ではローカル筋とグローバル筋の協働された筋活動が破綻し、グローバル筋の過活動がローカル筋の担う脊柱の分節的安定性の阻害因子となりうることが報告されている³⁸⁾³⁹⁾。そのため椎間関節、各靭帯、椎間板などに対する負担の軽減のためにも、Stoop 法では正確な質量の予測が重要であると考えられる。

下肢の筋活動では、重量物の挙上前から動作中盤にかけて錯誤条件の大腿直筋と腓腹筋の活動が認識条件よりも高い傾向を示しており、持ち上げる前の活動では有意差もみられた。大腿直筋と腓腹筋はそれぞれ膝関節の伸展筋と足関節の底屈筋として機能しており、重心の前後移動を制御する筋である。そのため Stoop 法では、錯誤によって実際の質量を遅れて自覚した直後に、大腿直筋と腓腹筋の活動を高めることで重心の前後移動を制御して動作を遂行している可能性が考えられる。

(4)錯誤が床反力に及ぼす影響

床反力において、Stoop 法では側方分力の x 軸、前後分力の y 軸、垂直分力の z 軸の 3 分力全てにおいて挙上動作後の最大値に有意差がみられた。x 軸の最大値が有意に高いということは、動作中の左右の身体動揺が強くなっていることを示している²³⁾。また Stoop 法の特徴として、開始肢位が膝関節伸展位で足部は全面が床に接しており、主に股関節と腰部を伸展して行われる動作方法である。そのため、質量を正確に認識して持ち上げ動作を行う場合、質量に合わせて重心の前後移動や足関節による床への踏み込みを利用して動作を遂行していることが考えられる。しかし本研究の結果、錯誤条件では y 軸と z 軸の減少を示しており、これは錯誤条件で前後の重心移動や床面への踏み込みが減少したことを意味している。筋活動においても、Stoop 法で錯誤が生じると大腿直筋や腓腹筋といった重心の前後移動を制御する筋の活動が動作開始前から高くなっていることが示されていた。そのため、Stoop 法では錯誤条件によって前後の重心移動が減少し、動作の効率性にも影響を及ぼしている可能性が考えられる。

なお、Squat 法では全ての結果で有意差がみられなかった。質量増加による相対的な身体負荷は Stoop 法よりも Squat 法で高いことが報告されているため、質量の予測に錯誤が生じることで、Squat 法の床反力にも何らかの影響があると考えていた。しかし、Squat 法の特徴は腰部、股関節、膝関節、足関節といった関節運動の自由度が Stoop 法よりも高い動作である¹³⁾。そのため、錯誤による床反力の影響にも個人差などが強くみられる可能性があり、3 分力の最大値では差が検出されなかったのではないかと考える。

第3節 本研究の限界

本研究は筋活動と床反力の経時的推移に着目した研究であり、動作の各 Phase を一連の動作から当分割することで分析している。そのため、錯誤によって持ち上げ方法に個人差があった場合や、錯誤によって筋活動や床反力にいくつかのパターンが存在する場合、それらを加味して検証することができなかった。先行研究においても質量が体重の 25%以上になると Squat 法が困難になってくることが指摘されており、体重 20%の重量物を錯誤が生じた状態で持ち上げることにより、動作が困難となってしまうことも考えられる。本研究では全ての被験者において明らかに動作方法が逸脱した者や、動作を完遂できなかった被験者はいなかった。しかし、今後は動作分析の計測も併用し、筋活動や床反力との相互作用を調査することで、より複数の観点から錯誤による身体負荷を検証していきたいと考える。

第7章 結論

質量の予測に錯誤が生じると、Squat 法では動作終盤で脊柱の安定性に関わる筋の活動が認識時よりも増加したが、Stoop 法では低下し、脊柱により負荷がかかることが示唆された。

第8章 要約

【目的】

持ち上げる際の質量の予測に錯誤が生じると、四肢体幹の筋活動と床反力の3分力にどのような影響を及ぼすのか、Squat法とStoop法の2種類の持ち上げ方法に着目して検証した。

【方法】

健康男性20名(平均年齢:22.1±2.6歳、身長:170.5±3.4cm、体重:62.2±5.4kg)を、Squat法で持ち上げ動作を行う群と、Stoop法で持ち上げ動作を行う群の2群に分けた。重量物の質量は被験者の体重20%とし、正確に質量を認識できている認識条件と、質量が0.7kgであると誤った予測をして動作を行う錯誤条件の2条件をそれぞれの群で行い、筋活動と床反力を比較した。

【結果】

Squat法による持ち上げ動作の終盤において、脊柱起立筋では認識条件で48.2±10.8%MVC、錯誤条件で58±17.6%MVC、多裂筋では認識条件で48.6±10.1%MVC、錯誤条件で61.2±16.3%MVCとなり、脊柱起立筋と多裂筋ともに錯誤条件において高い筋活動を示した($p<0.05$)。一方、Stoop法の動作終盤における多裂筋の活動では、認識条件で60.6±14.5%MVC、錯誤条件で53.7±12.3%MVCとなり、錯誤条件の活動は認識条件より低い結果となった($p<0.05$)。床反力では、Stoop法の重量物挙上動作後において、x軸で認識条件1.7±1.1%、錯誤条件2.1±1.3%、y軸の認識条件で6.2±4.8%、錯誤条件で3.9±2.5%、z軸の認識条件で83.1±42.8%、錯誤条件で78.6±39.9%となり、それぞれで有意差がみられた($p<0.05$)。しかし、Squat法では床反力に有意差はみられなかった。

【結論】

質量の予測に錯誤が生じると、Squat法では動作終盤で脊柱の安定性に関わる筋の活動が認識時よりも増加したが、Stoop法では低下し、脊柱により負荷がかかることが示唆された。

引用文献一覧

- 1) 大鳥清司, 高橋和久(2009). 腰痛研究の最先端—椎間板内の感覚神経に着目して—. 千葉医学, 85, 253—259.
- 2) 松平浩(2013). 職場における腰痛の発症要因の解明に係る研究・開発、普及. 労災疾病等 13 分野研究・開発・普通事業, 1—13.
- 3) 厚生労働省(2009). 平成 25 年国民生活基礎調査の概況. 21—29.
- 4) 金岡恒治(2013). 一生痛まない強い腰をつくる. 高橋書店, pp. 19—20.
- 5) 佐藤正裕, 西良浩一, 間瀬泰克(2012). スポーツ選手における腰痛予防対策. スポーツ傷害(J. sports Injury), Vol.17, 56—62.
- 6) Donald A. Neumann(2005). KINESIOLOGY of the MUSCULOSKELETAL SYSTEM. 筋骨格系のキネシオロジー. 嶋田智明・平田総一郎訳, 医歯薬出版株式会社, pp. 361—370.
- 7) 厚生労働省(2013). 職場における腰痛予防対策指針. 重量物取扱い作業, 基発 0618 第 4 号.
- 8) Hagen KB, Hallen JH, Ringdahl-Harms K(1993). Physiological and subjective responses to maximal repetitive lifting employing stoop and squat technique. Eur J Appl Physiol 67, 291—297.
- 9) 藤村昌彦, 奈良勲(2004). 重量物持ち上げ動作における腰痛症発生機序に関する筋電図学的研究. 日職災医誌, 52, 341—347.
- 10) Welbergen E, Kemper HCG, Knibbe JJ(1991). Efficiency and effectiveness of stoop and squat lifting at different frequencies. Ergonomics, 34, 613—624.
- 11) Hagen KB(1994). Ratings of perceived thigh and back exertion in forest workers during repetitive lifting using squat and stoop techniques. Spine, 19, 2511—2517.
- 12) 波之平晃一郎, 藤村昌彦, 新小田幸一(2011). Lifting 動作の筋電図および運動学的研究—重量物の質量が Squat 法に及ぼす影響(第 2 報)—. 日職災医誌, 59, 245—250.
- 13) 後藤伸介, 余田奈津美, 田端智恵美, 池田拓史, 笹原和代(2008). 物体の持ち上げ動作に及ぼす動作戦略および重量負荷の影響. 石川県理学療法学会誌, Vol.8No.1, 4—8.
- 14) Van Dieen JH(1999). Stoop or squat : a review of biomechanical studies on lifting technique. Clin Biomech, 14, 685—696.
- 15) Straker L(2000). Psychophysical and Psychological comparison of squat and stoop lifting by young females. Aust J Physiother, 46, 27—32.
- 16) Gordon AM, Forssberg H, Johansson RS(1991). Visual size cues in the programming of

- manipulative forces during precision grip. *Exp Brain Res*, 83(3), 477–482.
- 17) Butler D, Anderson GB, Trafimow J(1993). The influence of load knowledge on lifting technique. *Ergonomics*, 36, 1489–1493.
 - 18) 藤村昌彦, 河村光俊, 奈良勲(2001). 持ち上げ動作時の重量物質量の変化が四肢体幹筋に及ぼす影響—筋電図学的研究—. *理学療法科学*, 17(1), 65–70.
 - 19) 波之平晃一郎, 藤村昌彦(2010). Lifting 動作の筋電図学および運動学的研究—重量物の質量が動作方法におよぼす影響—. *日職災医誌*, 58, 234–239.
 - 20) 徳山和宏, 藤村昌彦, 奈良勲(2002). 質量不明の重量物持ち上げにおける脊柱起立筋の活動—筋電図学的研究—. *理学療法科学*, 17(4), 233–236.
 - 21) Floyd WF, Silver PHS(1955). The function of the erector spinae muscles in certain movements and postures in man. *J. Physiol*, 129, 184–203.
 - 22) 三谷保弘, 橋本雅至, 北川智美, 松本明好(2013). 荷物の持ち上げ動作時の下肢および体幹の運動学的解析—荷物の重さの違いによる検討—. *理学療法科学*, 28(5), 619–622.
 - 23) 内山靖, 小林武, 間瀬教史(2004). 計測法入門. 協同医書出版社, pp. 156–176.
 - 24) Donald A. Neumann(2005). KINESIOLOGY of the MUSCULOSKELETAL SYSTEM. 筋骨格系のキネシオロジー. 嶋田智明・平田総一郎訳, 医歯薬出版株式会社, pp. 312–318.
 - 25) Johansson, R.S. and Westling, G(1984). Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects. *Exp. Brain Res*, 71, 59–71.
 - 26) 川合悟, 木下博, 生田香明(1994). 物体重量の変化と握み力の関係からみた精密把握運動の握み力制御について. *体力科学*, 43, 247–258.
 - 27) Puniello MS(2001). Lifting strategy and stability in strengthimpaired elders. *Spine*, 26, 731–737.
 - 28) Butcher SJ, Craven BR, Chilibeck PD(2007). The effect of trunk stability training on vertical takeoff velocity. *J Orthop Sports Phys Ther*, 37, 223–231.
 - 29) Gordon, A.M, Westling, G(1993). Memory representation underlying motor command used during manipulation of common and novel objects. *J Neuropsychol*, 69, 1789–1796.
 - 30) 藤村昌彦, 波之平晃一郎(2012). 重量物の質量表示が持ち上げ動作に与える影響—筋電図学的研究—. *日職災医誌*, 60, 226–230.
 - 31) Belen'kill VE, Gurfinkel VS(1967). Elements of control of voluntary movements. *Biofiz*,

- 12, 135–141.
- 32) 田中俊輔, 大城昌平(2013). 視覚情報の与え方の違いによる持ち上げ動作時の脳活動と体幹筋活動に関する研究—近赤外分光法と表面筋電図による分析—. 理学療法科学, 28(6), 745–750.
- 33) Paul W.Hodges, Carolyn Richardson(1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbers spine associated with low back pain—a motor control evaluation of transversus abdominis—. Spine, 21, 2640–2650.
- 34) Paul W.Hodges, Richardson C(1997). Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. Exp Brain Res, (114), 362–370.
- 35) Smith A(1981). The coactivation of antagonist muscles. Can J Physiol Pharmacol, 59, 733–747.
- 36) Hogan N(1984). Adaptive control of mechanical impedance by coactivation of antagonist muscles. IEEE T Automat Contr, 29, 681–690.
- 37) G, Lorimer Moseley, Paul W.Hodges, Simon C. Gandevia(2003). External perturbation of the trunk in standing humans differentially activates components of the medial back muscle. J physiol, 547, 581–587.
- 38) Ng JK, Richardson CA, Parnianpour M, Kippers V(2002). 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, 20, 112–121.
- 39) Gardner Morse MG, Stokes IAF(1998). The effects of abdominal muscle coactivation on lumbar spine stability. Spine, 23, 86–92.
- 40) 萩原直道, 檜村裕也, 石田英實(2003). ヒトの垂直立位の姿勢安定性—類人猿型屈曲立位との比較—. 霊長類研究, Primate Res. 19, 33–42.
- 41) Cresswell AG, Grundstrom H, Thorstensson A(1992). Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man. Acta Physiol Scand. 144, 409–418.
- 42) Willson JD, Dougherty CP, Lreland ML, Davis M(2005). Core Stability and its relationship to lower extremity function and injury. J Am Acad Orthop Surg, 13, 316–325.

Abstract

Effect of mass prediction error in a weight lifting motion on
muscle activity and ground reaction force

Wataru Nagatomo

[Purpose] We investigated how the wrong prediction of weight took effect on muscle activity and ground reaction force, focusing on the two lifting methods.

[Method] Subjects of twenty healthy males (average age: 22.1 ± 2.6 years old, height: 170.5 ± 3.4 cm, body weight: 62.2 ± 5.4 kg) were divided into two groups, a Squat group and a Stoop group, by the way of the weight should be lifted. With no information about the mass, all subjects in two groups were asked to lift the weights provided in two conditions. In one condition, each weights was set to a 20% of the subject body mass, while in another condition, each weight was set to a mass of 0.7kg. In both conditions, the muscle activities of all the subjects, the ground reaction force were analyzed.

[Result] In the squat group, during the latter half of the lifting process, while the weight was set to 20% of the subject body mass and matched the subject's prediction, $48.2 \pm 10.8\%$ MVC in the erector spinae muscle, $48.6 \pm 10.1\%$ MVC in the multifidus muscle is measured. In comparison, while the weight was set to 0.7 kg, the result shows $58 \pm 17.6\%$ MVC in the erector spinae muscle, $61.2 \pm 16.3\%$ MVC in the multifidus muscle of the subject with a wrong prediction before lifting. During the same process in the Stoop group, however, misprediction lead to a result of 53.7 ± 12.3 MVC, while correct prediction lead to $60.6 \pm 14.5\%$ MVC in the multifidus muscle. No significant difference existed in the erector spinae muscle. Analyzed result of ground reaction force from showed no significant difference in the Squat group whether the prediction of mass of the weight was correct or not. While in the Stoop group, with correct prediction the results of x-axis, y-axis, z-axis were $1.7 \pm 1.1\%$, $6.2 \pm 4.8\%$, $83.1 \pm 42.8\%$, respectively. With wrong prediction the results of x-axis, y-axis, z-axis were $2.1 \pm 1.3\%$, $3.9 \pm 2.5\%$, $78.6 \pm 39.9\%$, respectively.

[Conclusion] When there is an error in weight prediction, muscle activity related to stability of the spinal column increases at the end of motion in Squat, but it decreases at Stoop, so it places a burden on the spinal column.

図表一覧

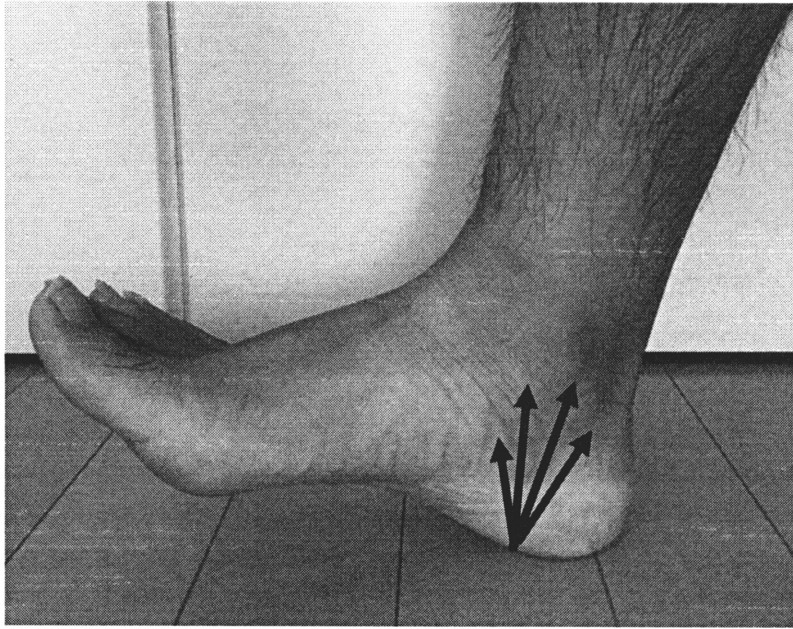
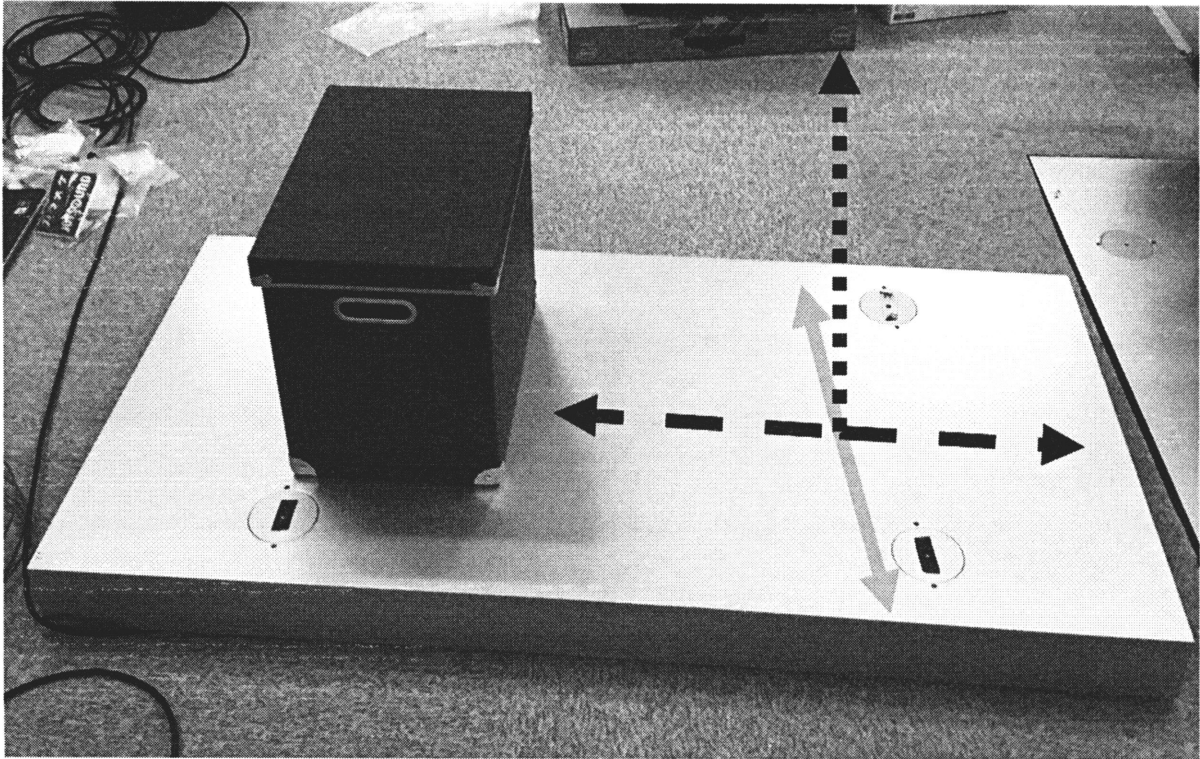


図 1. 無数の反力と床反力



—————▶ x軸(側方分力)

- - - - -▶ y軸(前後分力)

.....▶ z軸(垂直分力)

図 2. 床反力の 3 分力

表 1. 被験者属性

| | Squat法群 | Stoop法群 | 検定結果 |
|---------|-----------|-----------|------|
| 年齢 (歳) | 22.3±3.5 | 21.8±1.3 | n.s |
| 身長 (cm) | 169.7±3.5 | 171.3±3.2 | n.s |
| 体重 (kg) | 61.1±4.8 | 63.4±5.9 | n.s |

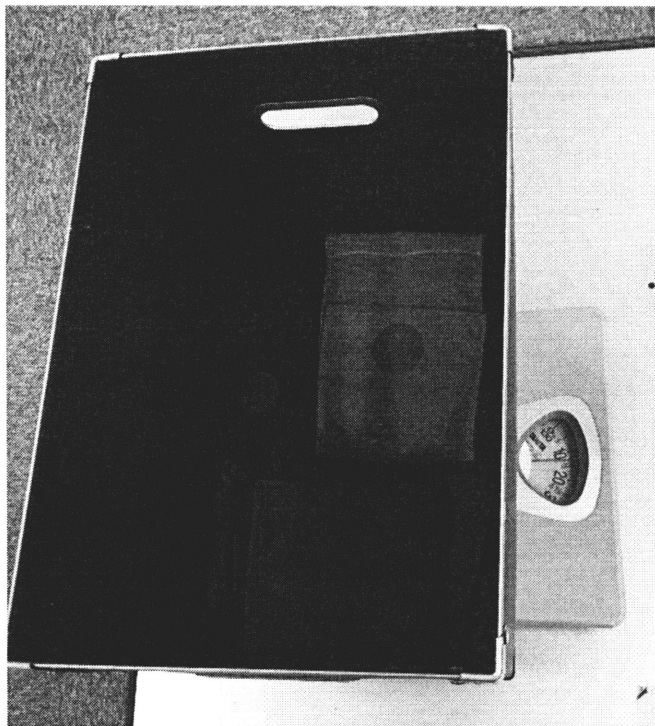
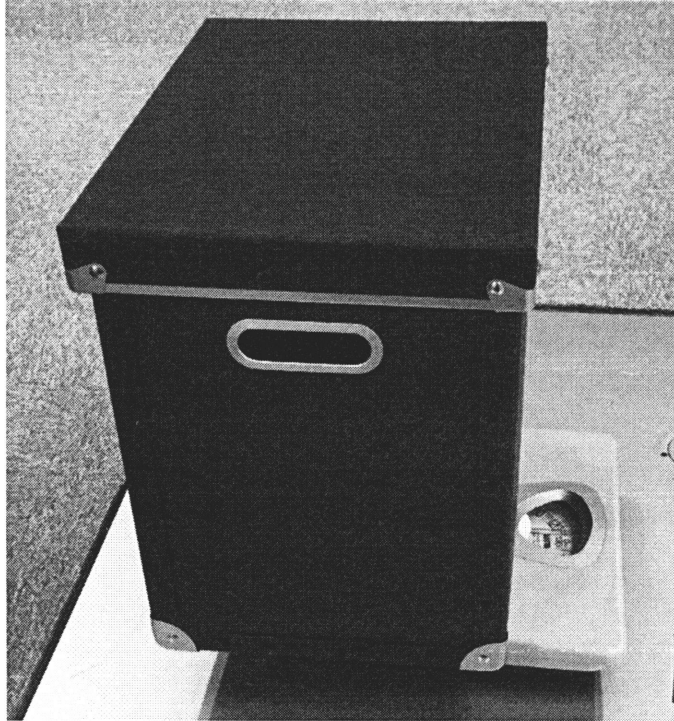


図 3. 物品の設置

- ① 先ほどの持ち上げ動作は体に負担がありましたか？
（ ある・ない ）
- ② ①の質問で「ある」と答えた方へ、どの部位にありましたか？
（ 例：腰部 ）
- ③ 先ほどの持ち上げ動作は、重いと感じましたか？
（ はい・いいえ ）
- ④ 過去に腰を痛めことはありますか？
（ はい・いいえ ）
- ⑤ 日ごろから重量物の取扱をすることがありますか？
（ はい・いいえ ）
- ⑥ 床から重量物を持ち上げる場面はよくありますか？
（ はい・いいえ ）
- ⑦ 普段どのくらい運動していますか？
（ 例：週に2回サッカー ）
- ⑧ この後も2回同じような計測をしますが、継続できますか？
（ はい・いいえ ）

図4. アンケート①

- ① 先ほどの持ち上げ動作は体に負担がありましたか？
（ ある ・ ない ）
- ② ①の質問で「ある」と答えた方へ、どの部位にありましたか？
（ 例：腰部 ）
- ③ 先ほどの計測で、持ち上げる前はどのように感じていましたか？
（ 軽いと思った ・ 重いと思った ）
- ④ 重いと感じたのはどの瞬間ですか？
（ 持ち上げる前・握った瞬間・持ち上げ途中・感じなかった ）
- ⑤ 体重20%の物を持ち上げることは日常でよくありますか？
（ はい ・ いいえ ）
- ⑥ この後もう1回同じような計測をしますが、継続できますか？
（ はい ・ いいえ ）

図5. アンケート②

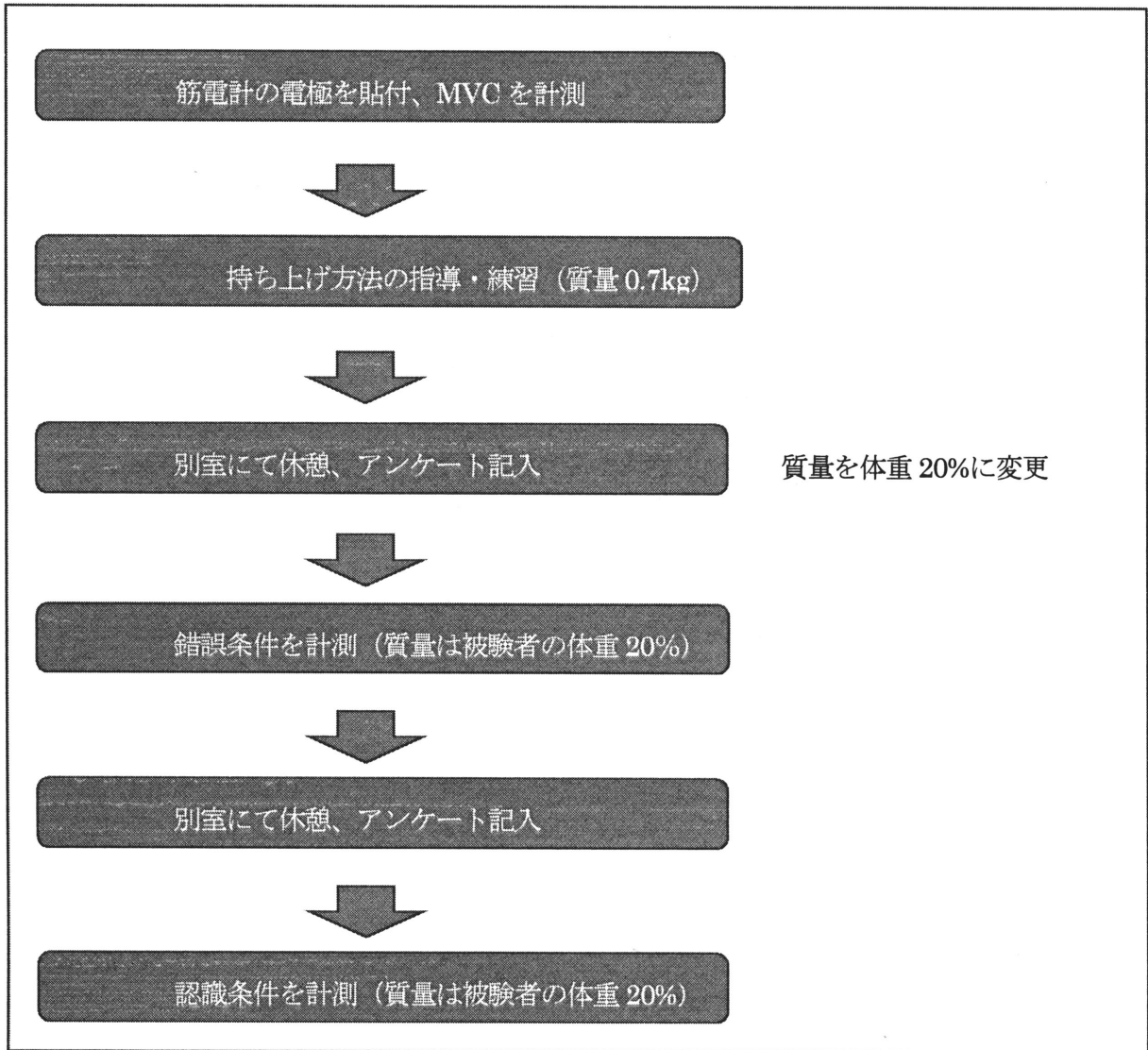
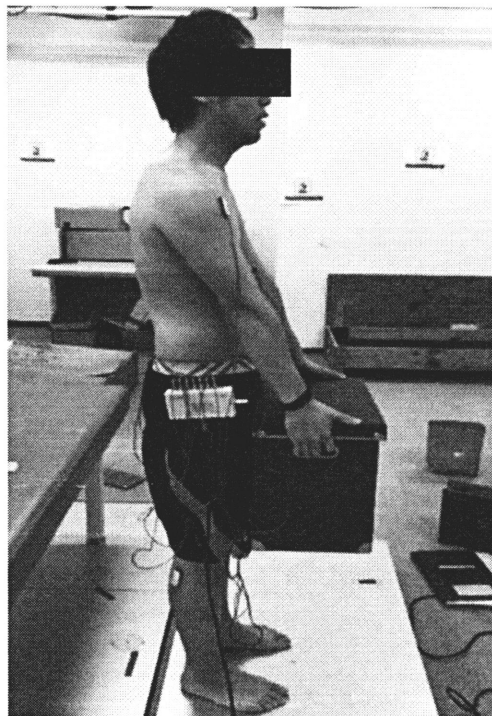


図 6. 計測手順

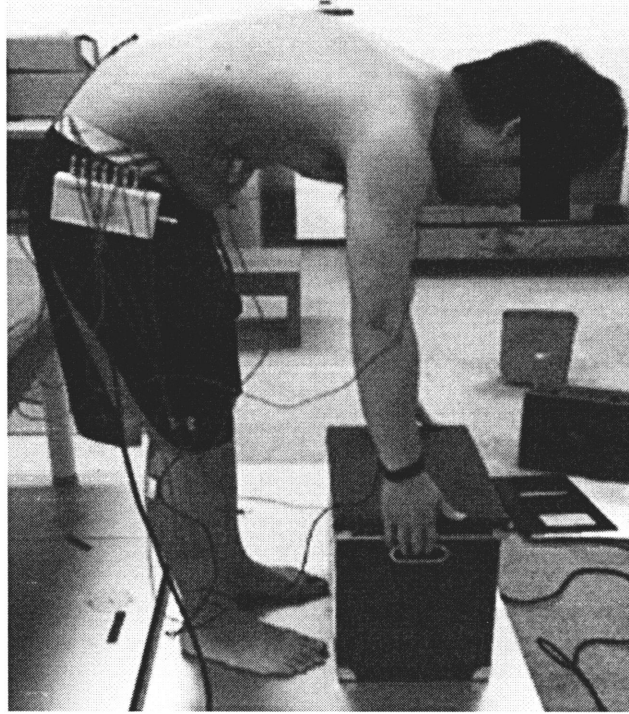


開始肢位

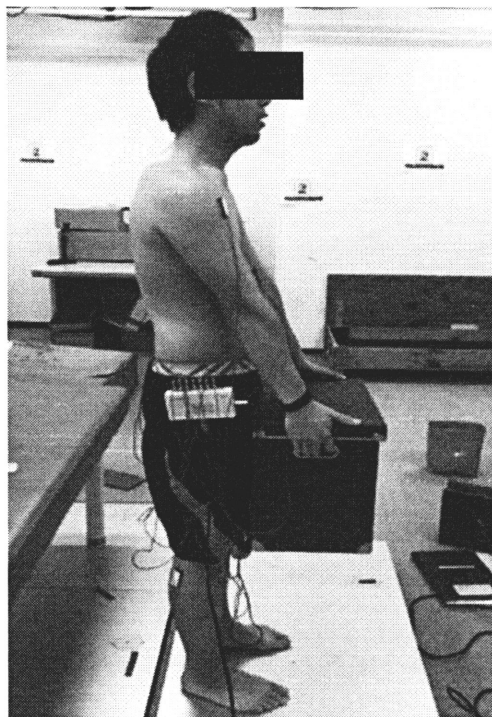


終了肢位

図 7. Squat 法の開始肢位と終了肢位

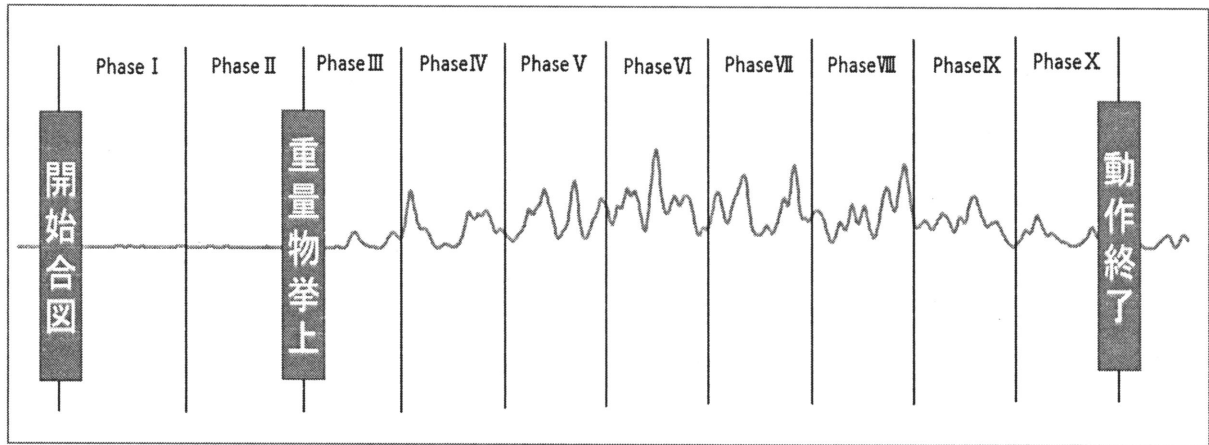


開始肢位

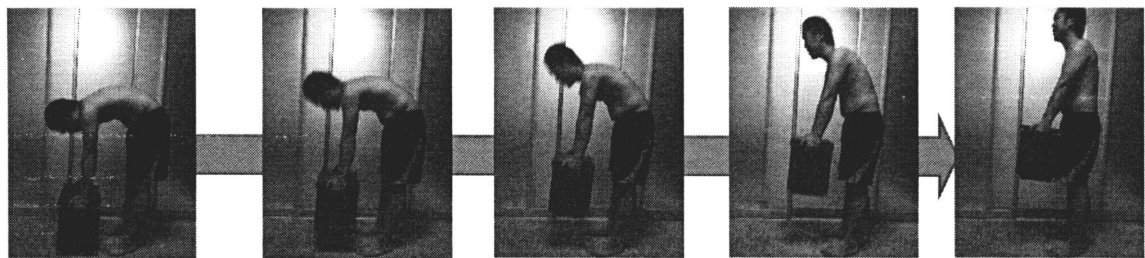


終了肢位

図 8. Stoop 法の開始肢位と終了肢位



Squat 法



Stoop 法

図 9. 筋電図の Phase 分け

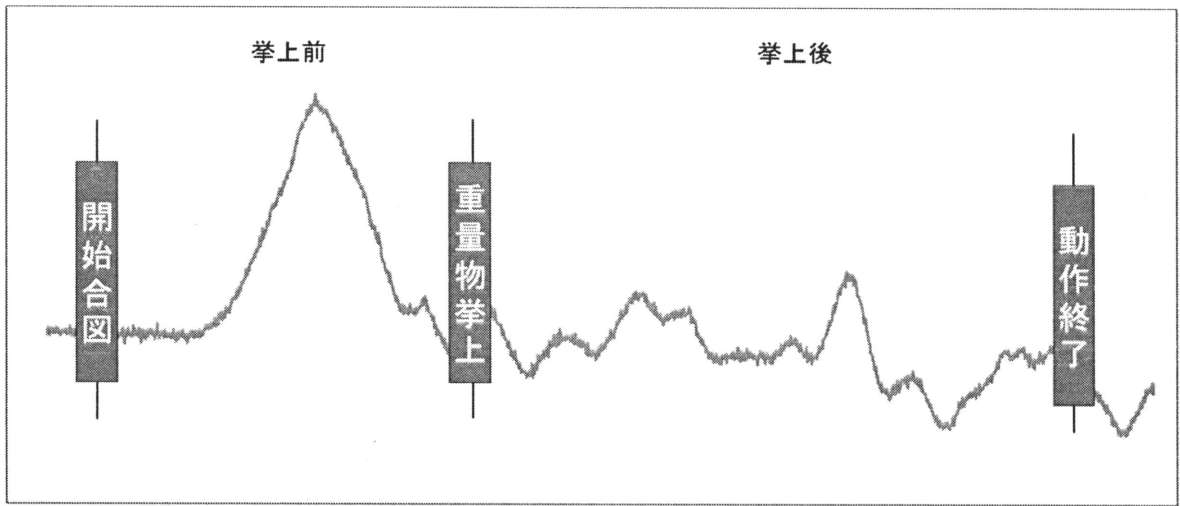


図 10. 床反力の Phase 分け

表 2. 錯誤条件計測後のアンケート結果(設問③と④)

| | 質問内容 | 選択肢 | 結果 | |
|---|--------------------|--------|--------|--------|
| | | | Squat法 | Stoop法 |
| ③ | 持ち上げる前はどう思っていましたか？ | 軽いと思った | 10名 | 10名 |
| | | 重いと思った | 0名 | 0名 |
| ④ | 重いと感じたのはどの瞬間ですか？ | 持ち上げる前 | 0名 | 0名 |
| | | 握った瞬間 | 3名 | 1名 |
| | | 持ち上げ途中 | 7名 | 9名 |
| | | 感じなかった | 0名 | 0名 |

表3. 認識条件における Squat 法と Stoop 法の筋活動の比較

| 認識条件 | | Phase | | | | |
|-------|--------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 三角筋 | Squat法 | 4 ± 2.3 | 6.9 ± 2.7 | 20.8 ± 8.6 | 27.8 ± 7.9 | 25.6 ± 16.6 |
| | Stoop法 | 5.1 ± 4.6 | 6.7 ± 6 | 11.9 ± 11.6 | 14.9 ± 12.6 * | 12.1 ± 9.6 * |
| 上腕二頭筋 | Squat法 | 4.8 ± 6.2 | 10.4 ± 8.5 | 29.4 ± 12.8 | 47.5 ± 21.7 | 40.7 ± 24.9 |
| | Stoop法 | 2.6 ± 1.7 | 3.3 ± 1.8 * | 8.7 ± 8 * | 11.2 ± 11.1 * | 11.2 ± 8.6 * |
| 脊柱起立筋 | Squat法 | 18.6 ± 6.4 * | 31.9 ± 16.9 | 75.1 ± 20.1 | 85.4 ± 21.6 | 83.4 ± 19.5 |
| | Stoop法 | 9.4 ± 5.8 | 11.4 ± 4.8 * | 38.8 ± 32 * | 43.7 ± 30.2 * | 48.6 ± 26.3 * |
| 多裂筋 | Squat法 | 19 ± 6.6 | 27.8 ± 11.4 | 62.9 ± 21.4 | 72.4 ± 15.5 | 77 ± 15.8 |
| | Stoop法 | 8.3 ± 4.2 * | 9.6 ± 4 * | 29.7 ± 13.1 * | 40.9 ± 31 * | 46.5 ± 29.8 * |
| 大腿直筋 | Squat法 | 4.3 ± 3.9 | 36.1 ± 72.8 | 36.3 ± 32.7 | 50.9 ± 44 | 44.8 ± 37.6 |
| | Stoop法 | 4.3 ± 2.6 | 4.6 ± 2.8 | 5.3 ± 2.5 * | 5.8 ± 2.7 * | 6 ± 2.7 * |
| 半腱様筋 | Squat法 | 4.7 ± 2.8 | 17.6 ± 14.7 | 26.4 ± 19.6 | 31.7 ± 21.5 | 32 ± 14.8 |
| | Stoop法 | 20.5 ± 8.7 * | 25.2 ± 10.2 | 38.3 ± 13.3 | 47.6 ± 18.3 | 55.1 ± 23.5 * |
| 前脛骨筋 | Squat法 | 11.9 ± 9.8 | 34.1 ± 25 | 42.9 ± 35.9 | 26.2 ± 18.7 | 14 ± 11.5 |
| | Stoop法 | 2.8 ± 1 * | 3.4 ± 0.9 * | 4.9 ± 1.8 * | 6 ± 2.7 * | 6 ± 2.2 |
| 腓腹筋 | Squat法 | 5 ± 2.9 | 8.9 ± 4.7 | 21.2 ± 15.2 | 28.7 ± 23.3 | 23.4 ± 13.5 |
| | Stoop法 | 13.3 ± 8.7 * | 18.2 ± 11.2 * | 30.5 ± 15.7 | 39.8 ± 16 | 36.9 ± 19.8 |

| 認識条件 | | Phase | | | | |
|-------|--------|---------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
| | | VI | VII | VIII | IX | X |
| 三角筋 | Squat法 | 17 ± 13.5 | 12.7 ± 13.3 | 9.9 ± 6.8 | 12.3 ± 9.4 | 12.0 ± 7.4 |
| | Stoop法 | 11 ± 6.8 | 10.3 ± 5.1 | 12.3 ± 5.8 | 15 ± 7 | 14.1 ± 5 |
| 上腕二頭筋 | Squat法 | 32.3 ± 17.4 * | 23.3 ± 10.8 | 20.0 ± 7.3 | 20.6 ± 7.7 | 21.1 ± 9.1 |
| | Stoop法 | 12.2 ± 10.8 | 12.8 ± 11.7 | 16.9 ± 15.8 | 19.6 ± 19.1 | 15.6 ± 13.5 |
| 脊柱起立筋 | Squat法 | 79.4 ± 21.5 | 67.9 ± 21.8 | 57.2 ± 12.7 | 48.2 ± 10.8 | 43.1 ± 11.1 |
| | Stoop法 | 63.2 ± 23 | 78.0 ± 25.2 | 79.3 ± 24.5 * | 68.5 ± 24.5 * | 50.8 ± 18.6 |
| 多裂筋 | Squat法 | 68.4 ± 13.3 | 65.2 ± 25.1 | 56.1 ± 17.1 | 48.6 ± 10.1 | 41.2 ± 8.6 |
| | Stoop法 | 68.4 ± 21.2 | 80.2 ± 25.8 | 77 ± 20.2 * | 60.6 ± 14.5 * | 49.2 ± 12.4 |
| 大腿直筋 | Squat法 | 30 ± 26.1 | 20.5 ± 14.6 | 14.1 ± 8.5 | 11.4 ± 5.8 | 9.3 ± 5.1 |
| | Stoop法 | 5.8 ± 2.8 * | 5.8 ± 3.2 * | 5.3 ± 2.9 * | 5.3 ± 2.9 * | 5.0 ± 3.1 * |
| 半腱様筋 | Squat法 | 28 ± 11.1 | 26.2 ± 10.6 | 20.3 ± 8.8 | 17.7 ± 9 | 16.6 ± 12.6 |
| | Stoop法 | 49.4 ± 20.8 * | 37.9 ± 15.5 | 23.5 ± 9 | 15.6 ± 6.6 | 14.8 ± 4.5 |
| 前脛骨筋 | Squat法 | 6.5 ± 4 | 7.3 ± 9.1 | 3.8 ± 2.3 | 3.8 ± 3 | 6.8 ± 12.2 |
| | Stoop法 | 6.5 ± 4.1 | 5.3 ± 2.6 | 4 ± 1.9 | 3.9 ± 1.8 | 3.1 ± 1.5 |
| 腓腹筋 | Squat法 | 23.1 ± 12.8 | 19.3 ± 10.8 | 14.8 ± 12.7 | 14.4 ± 13.3 | 14.1 ± 16.5 |
| | Stoop法 | 31.6 ± 20.4 | 24.6 ± 17.9 | 20.8 ± 17.5 | 16.5 ± 11.4 | 14.8 ± 9.7 |

平均値 ± 標準偏差 * : p < 0.05

%MVC

表 4. 認識条件における Squat 法と Stoop 法の床反力の比較

| 認識条件 | | Phase | |
|------|--------|-------------|--------------|
| | | 挙上動作前 | 挙上動作後 |
| x軸 | Squat法 | 1 ± 0.9 | 4.5 ± 3.2 * |
| | Stoop法 | 0.4 ± 0.5 | 1.7 ± 1.1 |
| y軸 | Squat法 | 9.8 ± 8.9 | 12.1 ± 6.9 * |
| | Stoop法 | 2 ± 3 * | 6.2 ± 4.8 |
| z軸 | Squat法 | 83.9 ± 42.6 | 94.3 ± 49 |
| | Stoop法 | 74.2 ± 37.4 | 83.1 ± 42.8 |
| | | 平均值 ± 標準偏差 | *:p<0.05 |
| | | | % |

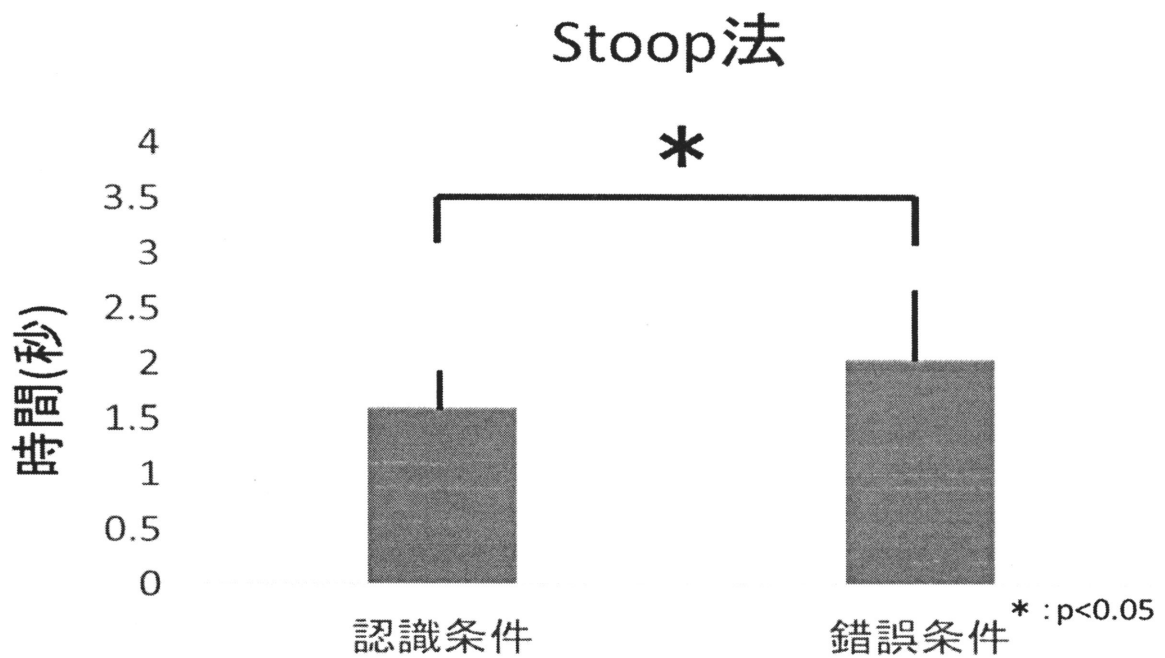
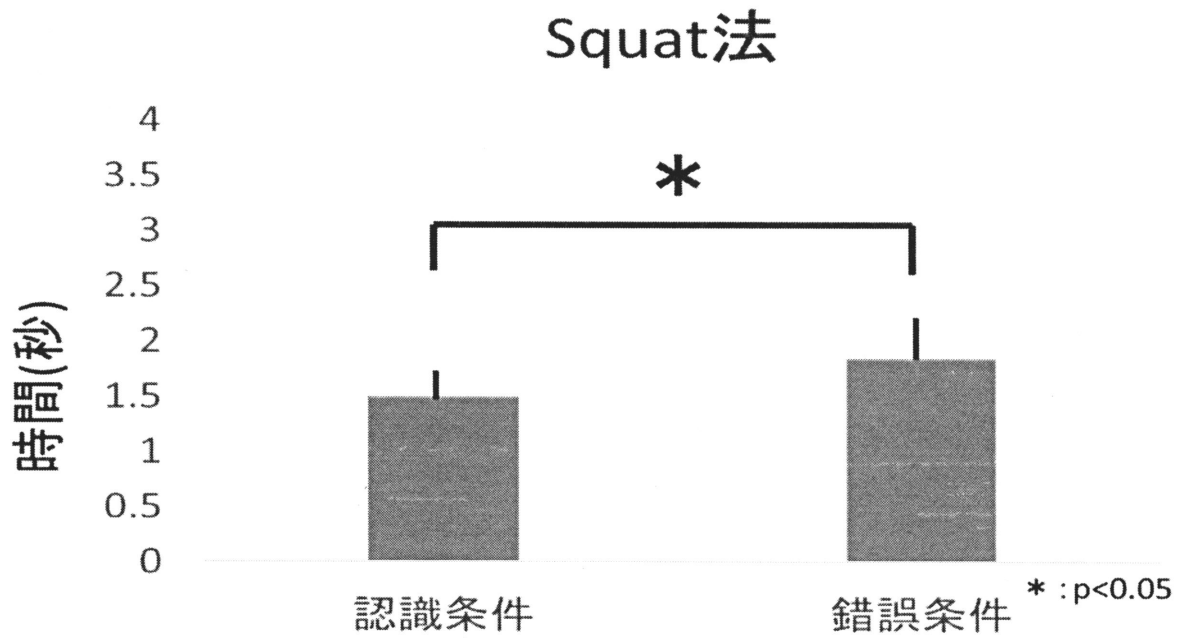
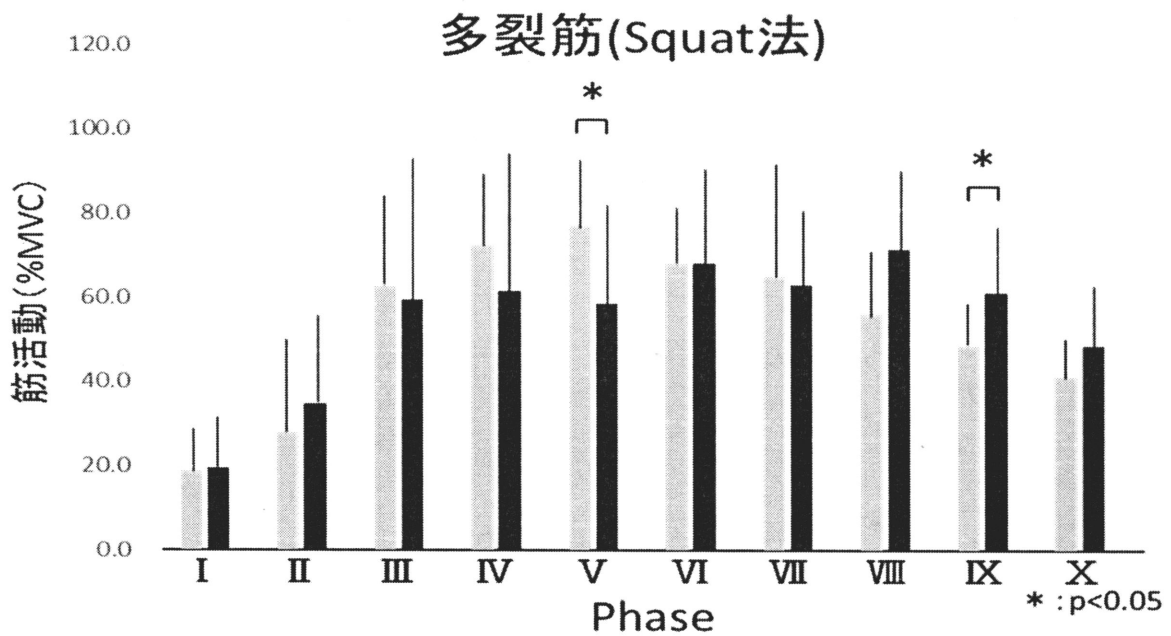
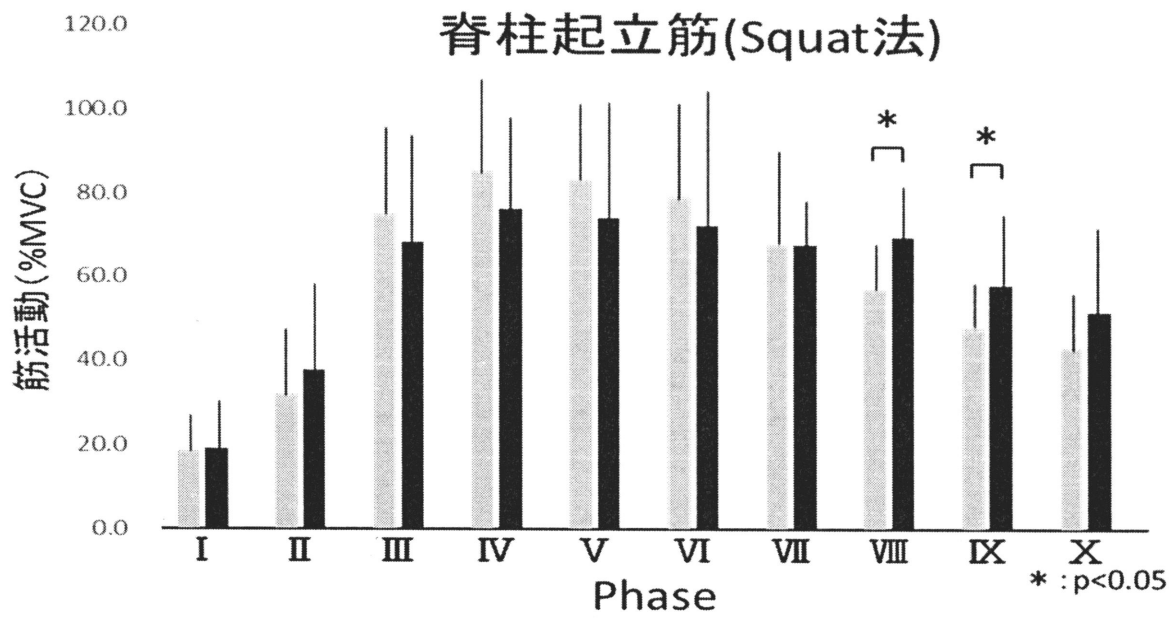


図 11. 重量物の挙上開始から動作終了までの所要時間の比較



認識条件
 錯誤条件

図 12. Squat 法における体幹筋の認識条件と錯誤条件の比較

表 5. Squat 法における認識条件と錯誤条件の比較

| Squat法 | | I | II | Phase III | IV | V |
|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 三角筋 | 認識条件 | 4 ± 2.3 | 6.9 ± 2.7 | 20.8 ± 8.6 | 27.8 ± 7.9 | 25.6 ± 16.6 |
| | 錯誤条件 | 6 ± 3.5 | 12.2 ± 7.6 | 22.9 ± 13.5 | 32.0 ± 23.2 | 25.6 ± 15.4 |
| 上腕二頭筋 | 認識条件 | 4.8 ± 6.2 | 10.4 ± 8.5 | 29.4 ± 12.8 | 47.5 ± 21.7 | 40.7 ± 24.9 |
| | 錯誤条件 | 4.6 ± 4.9 | 14.4 ± 11.3 | 28.3 ± 21.6 | 42.5 ± 36.4 | 44.1 ± 34.4 |
| 脊柱起立筋 | 認識条件 | 18.6 ± 6.4 | 31.9 ± 16.9 | 75.1 ± 20.1 | 85.4 ± 21.6 | 83.4 ± 19.5 |
| | 錯誤条件 | 19.4 ± 11.4 | 37.9 ± 21.5 | 68.4 ± 25.7 | 76.4 ± 22.3 | 74.2 ± 27.8 |
| 多裂筋 | 認識条件 | 19 ± 6.6 | 27.8 ± 11.4 | 62.9 ± 21.4 | 72.4 ± 15.5 | 77.0 ± 15.8 |
| | 錯誤条件 | 19.5 ± 13.9 | 34.5 ± 22.3 | 59.5 ± 34.8 | 61.4 ± 29.8 | 58.5 ± 22.3 |
| 大腿直筋 | 認識条件 | 4.3 ± 3.9 | 36.1 ± 72.8 | 36.3 ± 32.7 | 50.9 ± 44 | 44.8 ± 37.6 |
| | 錯誤条件 | 8.8 ± 10 | 30.4 ± 49.8 | 47.6 ± 52.2 | 42.6 ± 32.6 | 32.9 ± 26.5 |
| 半腱様筋 | 認識条件 | 4.7 ± 2.8 | 17.6 ± 14.7 | 26.4 ± 19.6 | 31.7 ± 21.5 | 32.0 ± 14.8 |
| | 錯誤条件 | 8.3 ± 5.9 | 16.7 ± 14.5 | 29.6 ± 14.5 | 46.7 ± 53.2 | 33.8 ± 16.9 |
| 前脛骨筋 | 認識条件 | 11.9 ± 9.8 | 34.1 ± 25 | 42.9 ± 35.9 | 26.2 ± 18.7 | 14.0 ± 11.5 |
| | 錯誤条件 | 8.2 ± 8 | 17.5 ± 7.7 | 22.9 ± 14.3 | 21.6 ± 12.8 | 13.6 ± 7.1 |
| 腓腹筋 | 認識条件 | 5 ± 2.9 | 8.9 ± 4.7 | 21.2 ± 15.2 | 28.7 ± 23.3 | 23.4 ± 13.5 |
| | 錯誤条件 | 6.2 ± 5.1 | 12.9 ± 12 | 25.8 ± 27.7 | 28 ± 18 | 25.6 ± 23.9 |

*

| Squat法 | | VI | VII | Phase VIII | IX | X |
|--------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 三角筋 | 認識条件 | 17.0 ± 13.5 | 12.7 ± 13.3 | 9.9 ± 6.8 | 12.3 ± 9.4 | 12 ± 7.4 |
| | 錯誤条件 | 17.3 ± 10.9 | 10.8 ± 6 | 11.9 ± 9.7 | 10.8 ± 5.5 | 13 ± 8.4 |
| 上腕二頭筋 | 認識条件 | 32.3 ± 17.4 | 23.3 ± 10.8 | 20 ± 7.3 | 20.6 ± 7.7 | 21.1 ± 9.1 |
| | 錯誤条件 | 36.6 ± 26.6 | 28.3 ± 20.6 | 23.6 ± 16.8 | 22 ± 14.7 | 19.6 ± 15.5 |
| 脊柱起立筋 | 認識条件 | 79.4 ± 21.5 | 67.9 ± 21.8 | 57.2 ± 12.7 | 48.2 ± 10.8 | 43.1 ± 11.1 |
| | 錯誤条件 | 72.3 ± 33 | 67.9 ± 11.9 | 69.8 ± 11.3 | 58 ± 17.6 | 51.7 ± 22.2 |
| 多裂筋 | 認識条件 | 68.4 ± 13.3 | 65.2 ± 25.1 | 56.1 ± 17.1 | 48.6 ± 10.1 | 41.2 ± 8.6 |
| | 錯誤条件 | 68.2 ± 28.1 | 63.1 ± 17.8 | 71.5 ± 22 | 61.2 ± 16.3 | 48.5 ± 14.2 |
| 大腿直筋 | 認識条件 | 30 ± 26.1 | 20.5 ± 14.6 | 14.1 ± 8.5 | 11.4 ± 5.8 | 9.3 ± 5.1 |
| | 錯誤条件 | 16.3 ± 11.4 | 13.8 ± 10.6 | 11.2 ± 8.1 | 8.4 ± 5 | 8.5 ± 5.9 |
| 半腱様筋 | 認識条件 | 28 ± 11.1 | 26.2 ± 10.6 | 20.3 ± 8.8 | 17.7 ± 9 | 16.6 ± 12.6 |
| | 錯誤条件 | 43.5 ± 27.3 | 39.3 ± 14.1 | 33.6 ± 11 | 23.3 ± 13.9 | 19.3 ± 14.1 |
| 前脛骨筋 | 認識条件 | 6.5 ± 4 | 7.3 ± 9.1 | 3.8 ± 2.3 | 3.8 ± 3 | 6.8 ± 12.2 |
| | 錯誤条件 | 8.4 ± 4.4 | 8.4 ± 6.6 | 6 ± 4.3 | 5.6 ± 4 | 4.3 ± 3.8 |
| 腓腹筋 | 認識条件 | 23.1 ± 12.8 | 19.3 ± 10.8 | 14.8 ± 12.7 | 14.4 ± 13.3 | 14.1 ± 16.5 |
| | 錯誤条件 | 25.3 ± 20.6 | 18.0 ± 11.4 | 13.5 ± 10.9 | 12.2 ± 10.9 | 11.1 ± 6.9 |

平均値 ± 標準偏差 * : p < 0.05

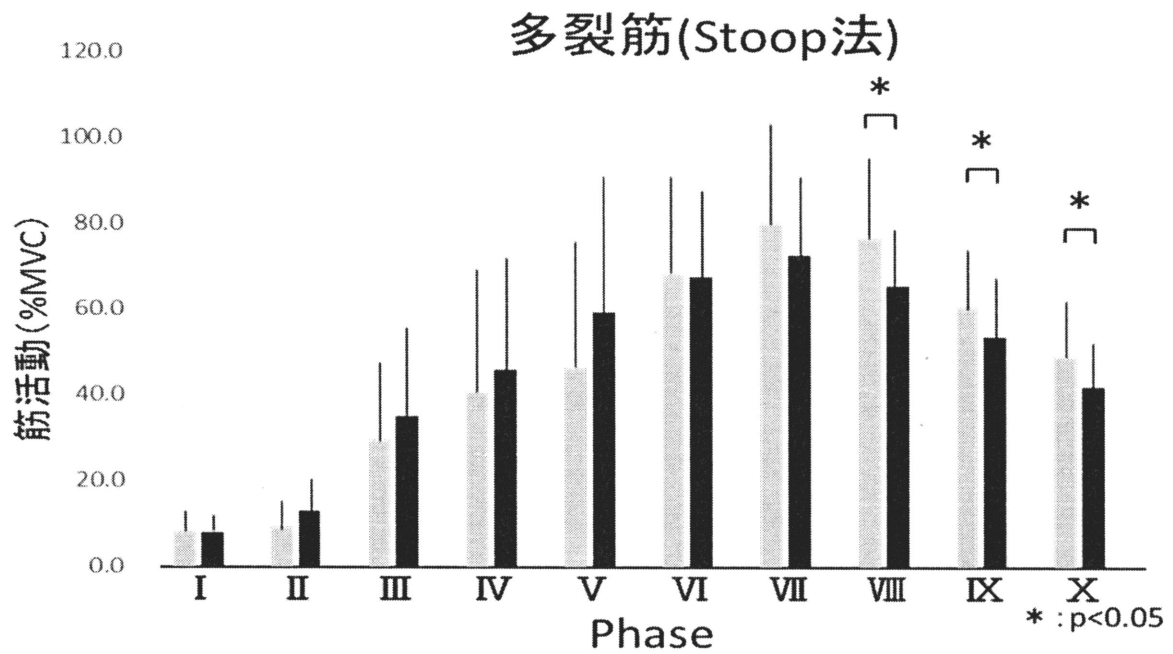
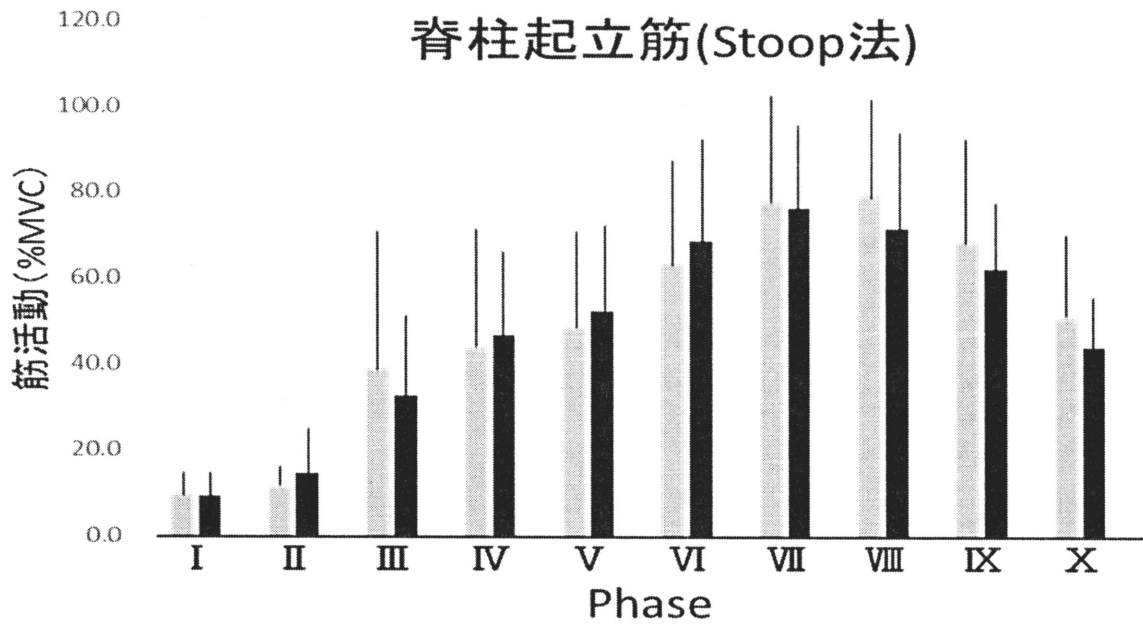
%MVC

表 6. Stoop 法における認識条件と錯誤条件の比較

| Stoop法 | | Phase | | | | |
|--------|------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | I | II | III | IV | V |
| 三角筋 | 認識条件 | 5.1 ± 4.6 | 6.7 ± 6 | 11.9 ± 11.6 | 14.9 ± 12.6 | 12.1 ± 9.6 |
| | 錯誤条件 | 4.6 ± 3 | 6.5 ± 3.5 | 10.4 ± 7.3 | 11.8 ± 7.2 | 10.8 ± 7 |
| 上腕二頭筋 | 認識条件 | 2.6 ± 1.7 | 3.3 ± 1.8 | 8.7 ± 8 | 11.2 ± 11.1 | 11.2 ± 8.6 |
| | 錯誤条件 | 2.5 ± 1.7 | 3.9 ± 1.9 | 7.0 ± 4.2 | 9.1 ± 6.9 | 8.3 ± 5.7 |
| 脊柱起立筋 | 認識条件 | 9.4 ± 5.8 | 11.4 ± 4.8 | 38.8 ± 32 | 43.7 ± 30.2 | 48.6 ± 26.3 |
| | 錯誤条件 | 9.1 ± 5.4 | 14.7 ± 9.5 | 32.8 ± 18 | 46.7 ± 21.4 | 52.4 ± 23.4 |
| 多裂筋 | 認識条件 | 8.3 ± 4.2 | 9.6 ± 4 | 29.7 ± 13.1 | 40.9 ± 31 | 46.5 ± 29.8 |
| | 錯誤条件 | 8.0 ± 3.7 | 13.1 ± 7.8 | 35.0 ± 21.4 | 45.7 ± 27.2 | 59.3 ± 30.5 |
| 大腿直筋 | 認識条件 | 4.3 ± 2.6 | 4.6 ± 2.8 | 5.3 ± 2.5 | 5.8 ± 2.7 | 6.0 ± 2.7 |
| | 錯誤条件 | 4.5 ± 2.5 * | 4.9 ± 2.4 | 5.7 ± 2.9 | 6.3 ± 3.1 | 6.0 ± 2.7 |
| 半腱様筋 | 認識条件 | 20.5 ± 8.7 | 25.2 ± 10.2 | 38.3 ± 13.3 | 47.6 ± 18.3 | 55.1 ± 23.5 |
| | 錯誤条件 | 22.1 ± 7.6 | 27.6 ± 8.7 | 39.6 ± 13.4 | 45.9 ± 15.1 | 46.7 ± 18.4 |
| 前脛骨筋 | 認識条件 | 2.8 ± 1 | 3.4 ± 0.9 | 4.9 ± 1.8 | 6.0 ± 2.7 | 6.0 ± 2.2 |
| | 錯誤条件 | 2.9 ± 0.9 | 3.5 ± 1.2 | 4.8 ± 2.3 | 6.0 ± 3.4 | 5.2 ± 1.7 |
| 腓腹筋 | 認識条件 | 13.3 ± 8.7 * | 18.2 ± 11.2 | 30.5 ± 15.7 | 39.8 ± 16 | 36.9 ± 19.8 |
| | 錯誤条件 | 16.7 ± 10.4 * | 21.0 ± 11.4 | 33.9 ± 16.7 | 40.5 ± 24.1 | 35.9 ± 17.8 |

| Stoop法 | | Phase | | | | |
|--------|------|-------------|-------------|---------------|---------------|--------------|
| | | VI | VII | VIII | IX | X |
| 三角筋 | 認識条件 | 11 ± 6.8 | 10.3 ± 5.1 | 12.3 ± 5.8 | 15 ± 7 | 14.1 ± 5 |
| | 錯誤条件 | 10.1 ± 5.5 | 8.7 ± 3.7 | 11 ± 4.5 | 14.4 ± 5.9 | 15.3 ± 6.6 |
| 上腕二頭筋 | 認識条件 | 12.2 ± 10.8 | 12.8 ± 11.7 | 16.9 ± 15.8 | 19.6 ± 19.1 | 15.6 ± 13.5 |
| | 錯誤条件 | 8.5 ± 5.8 | 9.7 ± 8.4 | 10.5 ± 9.4 | 14.4 ± 13.4 | 13.8 ± 13.2 |
| 脊柱起立筋 | 認識条件 | 63.2 ± 23 | 78.0 ± 25.2 | 79.3 ± 24.5 | 68.5 ± 24.5 | 50.8 ± 18.6 |
| | 錯誤条件 | 68.8 ± 22.1 | 76.3 ± 20.5 | 71.6 ± 22.7 | 62.0 ± 17.5 | 44.1 ± 13.8 |
| 多裂筋 | 認識条件 | 68.4 ± 21.2 | 80.2 ± 25.8 | 77.0 ± 20.2 | 60.6 ± 14.5 | 49.2 ± 12.4 |
| | 錯誤条件 | 67.7 ± 22.7 | 72.7 ± 20.5 | 65.5 ± 13.7 * | 53.7 ± 12.3 * | 41.9 ± 8.4 * |
| 大腿直筋 | 認識条件 | 5.8 ± 2.8 | 5.8 ± 3.2 | 5.3 ± 2.9 | 5.3 ± 2.9 | 5.0 ± 3.1 |
| | 錯誤条件 | 5.7 ± 2.8 | 5.5 ± 3 | 5.2 ± 3 | 5.0 ± 2.9 | 5.0 ± 2.9 |
| 半腱様筋 | 認識条件 | 49.4 ± 20.8 | 37.9 ± 15.5 | 23.5 ± 9 | 15.6 ± 6.6 | 14.8 ± 4.5 |
| | 錯誤条件 | 43.0 ± 13 | 37.8 ± 17.1 | 25.6 ± 10.7 | 17.9 ± 6.2 | 14.4 ± 5 |
| 前脛骨筋 | 認識条件 | 6.5 ± 4.1 | 5.3 ± 2.6 | 4 ± 1.9 | 3.9 ± 1.8 | 3.1 ± 1.5 |
| | 錯誤条件 | 5.4 ± 2.2 | 5.5 ± 4.2 | 4.6 ± 3.8 | 4.1 ± 3.4 | 3.8 ± 2.5 |
| 腓腹筋 | 認識条件 | 31.6 ± 20.4 | 24.6 ± 17.9 | 20.8 ± 17.5 | 16.5 ± 11.4 | 14.8 ± 9.7 |
| | 錯誤条件 | 31.6 ± 15.6 | 26.1 ± 15.2 | 19.3 ± 12.7 | 19.2 ± 17.7 | 16.7 ± 13.2 |

平均値 ± 標準偏差 *: p < 0.05
%MVC



認識条件
 錯誤条件

図 13. Stoop 法における体幹筋の認識条件と錯誤条件の比較

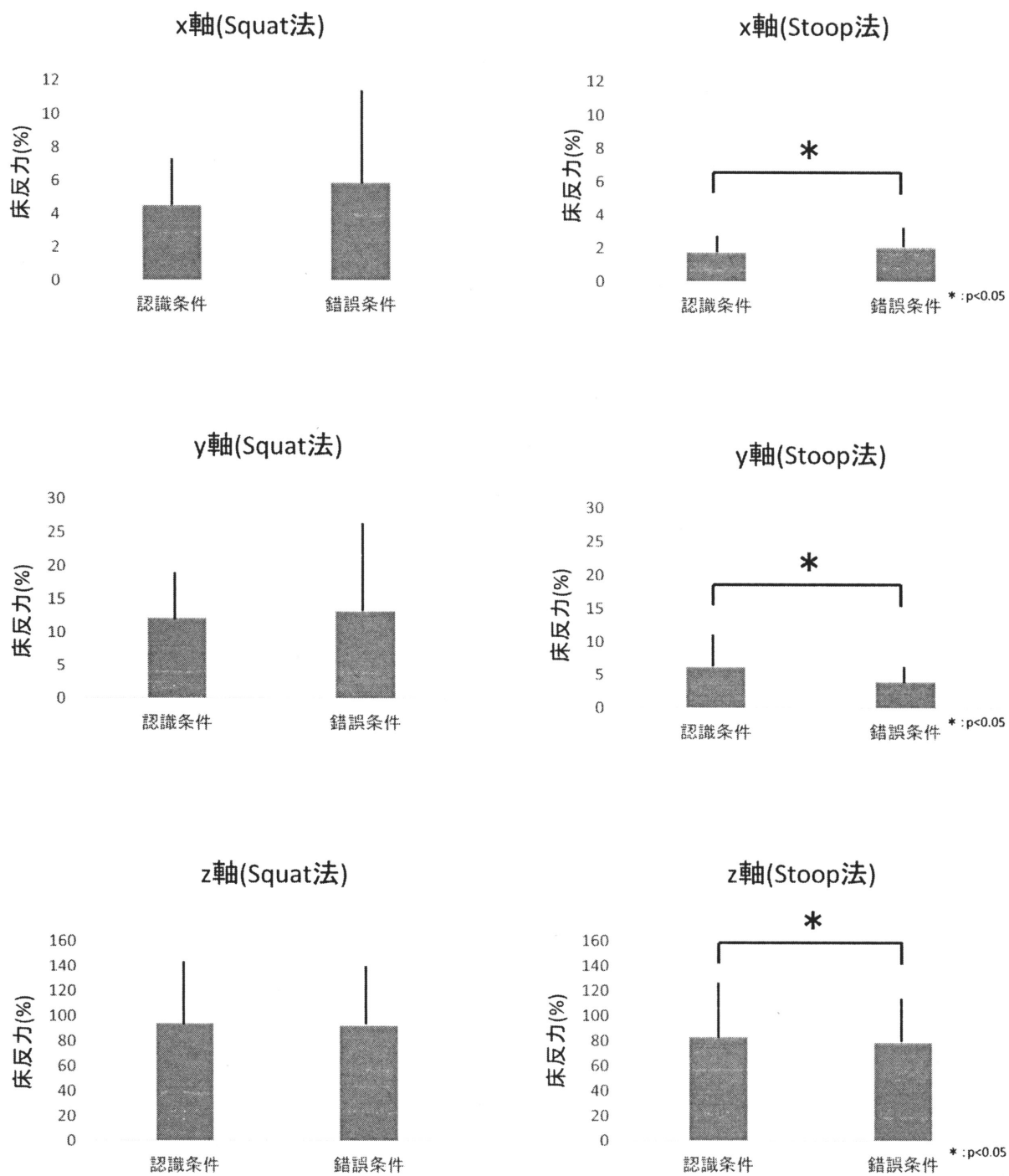


図 14. 重量物挙上後における床反力の比較