

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 物体の昇降作業において荷重の認知が腰部筋肉に与える影響の実験的検討   |
| Author(s)    | 佐々木, 仁大   |
| Citation     |   |
| Issue Date   | 2021-03   |
| Type         | Thesis or Dissertation  |
| Text version | author  |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/17569">http://hdl.handle.net/10119/17569</a> |
| Rights       |   |
| Description  | Supervisor:日高 昇平, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)   |

修士論文

物体の昇降作業において荷重の認知が腰部筋肉に与える影響の実験的検討

佐々木 仁大

主指導教員 日高 昇平

北陸先端科学技術大学院大学  
先端科学技術研究科  
(知識科学)

令和3年3月

## Abstract

Research on low back pain has been conducted in many countries around the world, and the causes of herniated discs and postural lumbago have been clarified from the research until now. However, the causes of many other types of low back pain have yet to be elucidated. In the future, as the population of the elderly increases, the number of persons with subjective symptoms due to low back pain is expected to increase, and research on low back pain and its causes are urgently needed.

Among low back pain, many studies have been conducted on lumbar sprain. Since lumbar sprains often occur during heavy lifting, studies have been conducted to evaluate the effects of heavy lifting on lumbar tissues and to quantitatively analyze the effects of load perception on the lumbar spine during heavy lifting. In addition, studies on the lumbar spine and intra-abdominal pressure have been conducted to prevent back pain and reduce the burden on the lower back, and the wearing of a support belt has been reported to be effective. However, studies on heavy lifting have only suggested an effect on the lumbar region depending on whether or not a person perceives the load when lifting heavy objects, and the effect on the lumbar muscles has not been clarified.

Studies on the lumbar spine and intra-abdominal pressure have shown that wearing a support belt is effective, but the “Bundesärztekammer” in Germany reported that continuous wearing of a support belt is not recommended because it leads to damage of the lumbar muscles.

In this study, we conducted an experiment to evaluate the effects on the lumbar muscles, which have not been clarified in previous studies, and to evaluate whether the strong load on the lumbar muscles can be reduced by increasing the intra-abdominal pressure during object lifting and lowering.

In this experiment, subjects were asked to perform a task in which they repeatedly lifted differently loaded objects in order to clarify the effect of load perception on lumbar muscles in object lifting and lowering tasks. In the experiment, the muscle activity of the lumbar region (erector spinae muscles) was measured using an EMG sensor. From the measured data, the amount of muscle potential during 0.3 s before the lifting was calculated, and the burden on the lower back in each condition was evaluated by performing a two-way analysis of variance.

The experimental results showed that there were significant differences in both load perception and intra-abdominal pressure. The interaction effect showed no significant difference, indicating that the presence or absence of load recognition and intra-

abdominal pressure may directly lead to a reduction in the burden on the lumbar muscles during heavy lifting.

## 目次

|   |    |
|---|----|
| 第1章 緒言 .....  | 1  |
| 1.1 研究背景.....   | 1  |
| 1.2 研究目的.....   | 3  |
| 1.3 関連研究.....   | 4  |
| 1.3.1 Cailliet (1992).....                                      | 4  |
| 1.3.2 Heiss, Shields, Yack (2002).....                          | 4  |
| 1.3.3 Cholewicki, Juluru, Radebold, Panjabi, McGill (1999)..... | 4  |
| 1.3.4 Bundesärztekammer (2017).....                             | 5  |
| 1.4 本研究における仮説.....  | 5  |
| 1.5 本論文の構成 .....  | 6  |
| 第2章 使用機器および解析方法 .....   | 7  |
| 2.1 表面筋電位計測位置, 加速度センサ取り付け位置 .....                               | 7  |
| 2.2 表面筋電位信号の解析方法.....   | 8  |
| 第3章 荷重の認知を統制した持ち上げ実験 .....                                      | 9  |
| 3.1 実験概要.....   | 9  |
| 3.2 実験の手続き.....   | 9  |
| 3.3 被験者 .....   | 13 |
| 3.4 計測機器 (多チャンネルテレメータシステム WEB-1000).....                        | 14 |

|               |    |
|---------------|----|
| 3.5 実験結果..... | 14 |
| 3.6 考察.....   | 23 |
| 第4章 結言 .....  | 25 |
| 第5章 謝辞 .....  | 26 |

# 図目次

|      |   |    |
|------|---|----|
| 図 1  | 高齢者人口及び割合の推移 (1950 年～2040 年) .....                      | 1  |
| 図 2  | 性別にみた有訴者率の上位 5 症状 (複数回答) .....                          | 2  |
| 図 3  | 表面筋電位計測部位 (脊柱起立筋) .....                                 | 7  |
| 図 4  | 加速度センサ取り付け位置 .....                                      | 8  |
| 図 5  | 持ち上げ前の準備状態 .....  | 11 |
| 図 6  | 持ち上げの瞬間 .....   | 12 |
| 図 7  | 持ち上げた後の姿勢 .....   | 13 |
| 図 8  | RMS 処理後の 0.01 s 平均 .....                                | 14 |
| 図 9  | 持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 .....                         | 15 |
| 図 10 | 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知なし, 腹腔内圧低い) ..... | 16 |
| 図 11 | 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知あり, 腹腔内圧低い) ..... | 16 |
| 図 12 | 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知なし, 腹腔内圧高い) ..... | 17 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 図 13 | 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知あり, 腹腔内圧高い).....   | 17 |
| 図 14 | 持ち上げ直前の筋電位変化量の求め方 .....                                  | 18 |
| 図 15 | 荷重認知のある条件とない条件(いずれも腹腔内圧低い条件)の持ち上げ直前の筋電位変化量を比較した散布図 ..... | 19 |
| 図 16 | 荷重認知のある条件とない条件(いずれも腹腔内圧高い条件)の持ち上げ直前の筋電位変化量を比較した散布図 ..... | 20 |
| 図 17 | 腹腔内圧の高い条件と低い条件(いずれも荷重認知なし条件)の持ち上げ直前の筋電位変化量を比較した散布図 ..... | 21 |
| 図 18 | 腹腔内圧の高い条件と低い条件(いずれも荷重認知あり条件)の持ち上げ直前の筋電位変化量を比較した散布図 ..... | 22 |



# 表目次

|     |                              |    |
|-----|------------------------------|----|
| 表 1 | 性・年齢階級別にみた有訴者率（人口千対）.....    | 2  |
| 表 2 | 各試行で被験者が持ち上げる回数および荷重の内訳..... | 10 |
| 表 3 | 二元配置による分散分析（有意水準 5 %）.....   | 23 |

# 第1章 緒言

## 1.1 研究背景

近年の日本では少子高齢化が進み、図1に示す通り、2020年現在、日本の総人口に占める高齢者(65歳以上)の割合は28.7%で、2040年には35.3%となり、国民の3人に1人が高齢者になると総務省統計局が発表している。

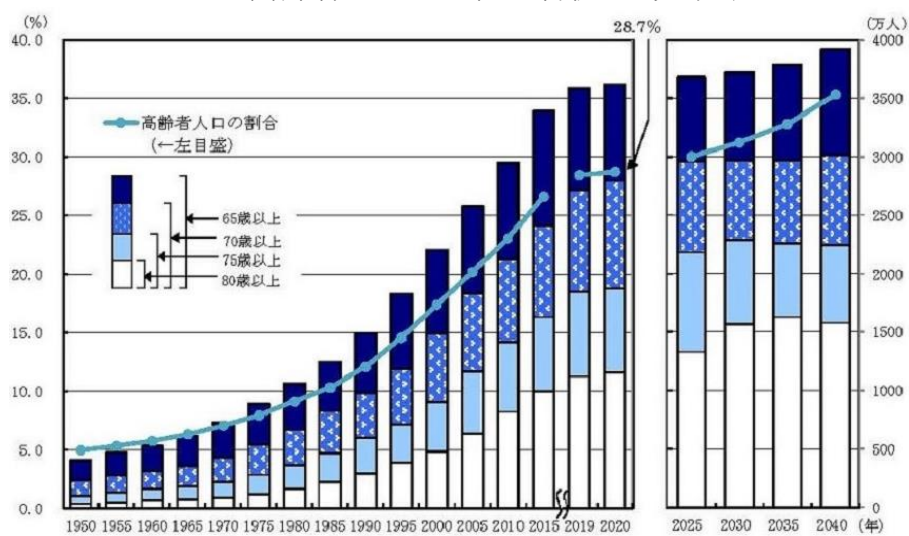


図1 高齢者人口及び割合の推移 (1950年～2040年)

出典：総務省統計局 HP

<https://www.stat.go.jp/>

表1に示すように、高齢者は病気やケガ等の自覚症状がある者(以下、有訴者)の割合が他の世代に比べ高く、図2より、有訴者の中で最も多い症状は腰痛となっている。

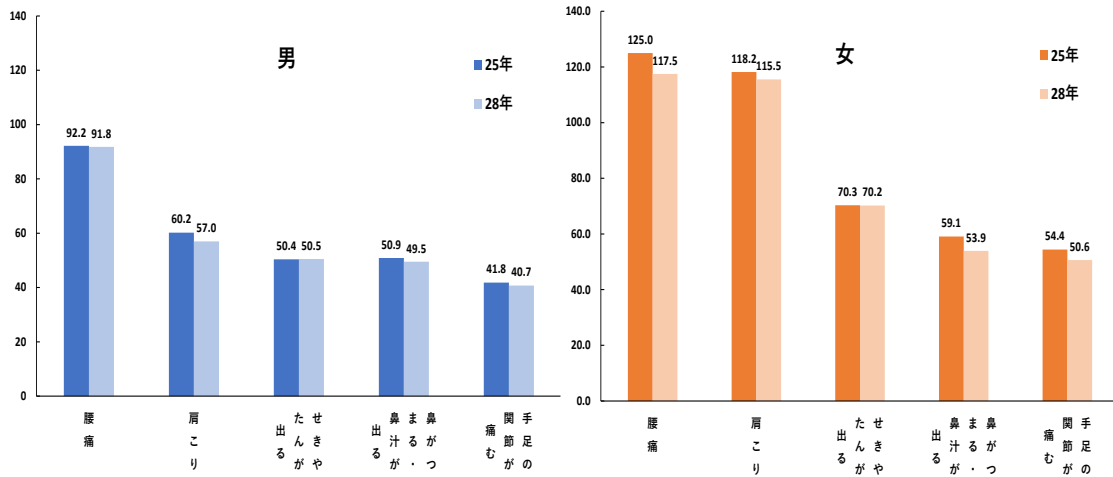


図 2 性別にみた有訴者率の上位 5 症状 (複数回答)

出典：内閣府 HP

<https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data.html>

表 1 性・年齢階級別にみた有訴者率 (人口千対)

出典：内閣府 HP

<https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data.html>

(単位：人口千対)

| 年 齢 階 級 | 平成 28 年 |       |       | 平成 25 年 |       |       |
|---------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
|         | 総数      | 男     | 女     | 総数      | 男     | 女     |
| 総数      | 305.9   | 271.9 | 337.3 | 312.4   | 276.8 | 345.3 |
| 9 歳以下   | 185.7   | 198.1 | 172.8 | 196.5   | 204.7 | 187.9 |
| 10～19   | 166.5   | 162.4 | 170.7 | 176.4   | 175.2 | 177.8 |
| 20～29   | 209.2   | 167.7 | 250.3 | 213.2   | 168.7 | 257.6 |
| 30～39   | 250.6   | 209.0 | 291.2 | 258.7   | 214.4 | 301.4 |
| 40～49   | 270.0   | 224.9 | 313.6 | 281.1   | 234.3 | 325.7 |
| 50～59   | 308.8   | 263.0 | 352.8 | 319.5   | 271.0 | 365.8 |
| 60～69   | 352.8   | 330.6 | 373.5 | 363.0   | 338.5 | 385.5 |
| 70～79   | 456.5   | 432.2 | 477.2 | 474.8   | 448.0 | 497.4 |
| 80 歳以上  | 520.2   | 499.1 | 533.2 | 537.5   | 528.1 | 542.9 |
| 65 歳以上  | 446.0   | 417.5 | 468.9 | 466.1   | 439.9 | 486.6 |
| 75 歳以上  | 505.2   | 480.5 | 522.5 | 525.6   | 506.1 | 538.8 |

腰痛に関する研究は世界各国で行われており、椎間板ヘルニアや姿勢性腰痛症に関しては、その発症の原因が明らかになっているが、その他、多くの腰痛の原因は未だ解明されていない。今後、高齢者の人口が増えるとともに、腰痛発症による有訴者が増えることが予想されるため、腰痛の原因の究明が急務であると考えられる。

腰痛の中でも、腰椎捻挫(ぎっくり腰)に関する研究は多く行われている。腰椎捻挫は重量物持ち上げ時に発症することが多いことから、重量物持ち上げ時の腰部組織への影響を評価した研究(Cailliet, 1992)や、重量物持ち上げ時に、人の荷重認知の有無が腰椎に与える影響を定量的に解析している研究(Heiss, Shields, Yack, 2002)などが行われてきた。また、腰痛の防止および腰への負担軽減を目的として、腰椎と腹腔内圧に関する研究(Cholewicki, Juluru, Radebold, Panjabi, McGill, 1999)が行われ、サポートベルトの着用が効果的であるとの結果が報告されている。

しかし、重量物持ち上げに関する研究では、重量物持ち上げ時に、人が荷重を認知しているか否かによる腰部組織への影響が示唆されているだけであり、腰部筋肉への影響は明らかになっていない。腰痛原因の軽減効果の一つとして、腰椎と腹腔内圧に関する研究では、サポートベルトの着用が効果的であるとの結果(Cholewicki et al, 1999)が出ているが、ドイツの国家医療ガイドライン(Bundesarztekkammer, 2017)ではサポートベルトの継続的着用は、腰部筋肉の損傷につながるため推奨しないという報告が発表されている。

## 1.2 研究目的

人は重量物を持ち上げる際、あらかじめ物体の重量を想定し、力を加減しているという先行研究(Heiss et al, 2002)の結果が出ており、自身の想定以上に重い物体を持った時には、持ち上げ姿勢時の重心位置が大きく移動し、バランスを崩すことが明らかとなっている。また、持ち上げ姿勢時にバランスを崩すことで腰椎の角速度および腰椎伸筋モーメントが急激に変化し、筋肉に負担をかける可能性が示唆されている。しかし、ドイツの国家医療ガイドライン(Bundesarztekkammer, 2017)では、サポートベルトの着用によって腰部筋肉を傷める可能性が指摘されている。

そこで本研究では、腰椎捻挫の発症リスク低減の具体策を提示するために、以下の2点を目標とする：

- (1) 物体の昇降作業と荷重の認知の有無に関する実験を行い、先行研究では明らかとなっていない腰部筋肉における影響を定量化する。
- (2) 物体の昇降作業時にサポートベルトを使わずに作業員自身が腹腔内圧を高める方法(Garcia, Elvira, Brown, McGill, 2007)をとることで、腰部筋肉への強い負荷を低減できるのかを調べる。

## 1.3 関連研究

### 1.3.1 Cailliet (1992)

骨格筋医学を専門に研究をしていたアメリカ人医師 R Cailliet の文献によると、腰痛の発生原因は、大小、多くの要因が複雑に絡み合った結果、引き起こされるものであり、人によって発生原因が異なることから、一概に腰痛の原因を特定することは困難であるとされている。また、文献内で R Cailliet は腰痛発生原因の一つと考えられる、重量物持ち上げ動作時について研究しており、重量物持ち上げ動作における腰痛の発生は、脊柱起立筋に力が入った状態で、腰部に強い負荷が加わることで引き起こされるとの結果が示されている。これより、自身の想定以上に過剰な筋活動が生じることで、腰部組織に損傷を起こす可能性が示唆されている。

### 1.3.2 Heiss, Shields, Yack (2002)

D Heiss らは重量物持ち上げ時の体のバランス、および腰椎の角速度の変化によって引き起こされる腰痛のリスクを研究しており、重量物持ち上げ時に被験者が物体の荷重を認知しているか否かによって腰痛発症のリスクが変化することが示唆されている。被験者が予想外に重い物体を持った時、体のバランスが崩れることで腰椎伸筋モーメントが急激に変化し、この急激な変化が筋肉に負担をかけ、腰痛のリスクを高める可能性があるとして示唆されている。

### 1.3.3 Cholewicki, Juluru, Radebold, Panjabi, McGill (1999)

J Cholewicki らの研究では、腰痛の予防を目的として、脊椎の動きと腹腔内圧の関係を明らかにしている。腰痛の原因の一つである腰椎椎間板ヘルニアは、腰椎に加わる圧力を和らげる役割を果たしている髄核が、運動や衝撃などにより腰椎に圧力がかかることによって、髄核を取り巻いている線維輪の外に

飛び出し、神経を圧迫することで引き起こされる。この腰椎椎間板ヘルニアの症状を和らげるためには腰椎の安定化が必要であり、J Cholewicki らはサポートベルトを腹部に巻くことが、腹腔内圧を高め、腰椎を安定させ、腰にかかる負担を軽減させる効果があるという研究結果を示した。

#### 1.3.4 Bundesärztekammer (2017)

ドイツでは国家医療ガイドラインとして、非特異的な腰痛のための全国ケアガイドラインが公表されており、連邦医師会や法定健康保険医師協会、医学会など多くの医療関係者が編集者として参加している。このガイドラインでは、一般的な全てのタイプのサポートベルトは体幹の筋肉を傷つける恐れがあり、最悪の場合、障害を伴う危険性があるため推奨しないと記されている。また、腰痛患者のサポートベルトによる治療法は受動性を促進し、これは、患者の運動能力を向上させるという目的と矛盾することからも推奨しないとされている。

### 1.4 本研究における仮説

本研究の2つの目的に対応して、それをより具体的に焦点を絞った問いとして以下の仮説を2つ立てた。

- (1) 荷重物体を持ち上げる際、物体の荷重を認知しているときは荷重を認知していないときに比べて持ち上げる直前の腰部筋肉の賦活が小さくなる。
- (2) サポートベルトを使わず、自身で腹腔内圧を高める方法をとることも、腹腔内圧を高めていないときに比べて持ち上げる直前の腰部筋肉の賦活が小さくなる。

仮説(1)は、2つの荷重物体を各試行ランダムに提示し、課題を行ってもらうことで検証。仮説(2)は、Garcia らの研究によりドロイン(息を吐くことで腹腔内圧を高める方法)よりもブレーシング(息を吸うことで腹腔内圧を高める方法)の方が、体幹が安定して脊柱への負担を軽減することが出来るとの結果が示されていることから、息を吸い込んだ状態でお腹の力を入れ腹腔内圧を高めた状態で、再度、2つの荷重物体をランダムに提示し、課題を行ってもらうことで検証する。

## 1.5 本論文の構成

本論文では、第1章で本研究における背景と目的を述べた後、背景から本研究を行う上で重要である先行研究を端的に述べた。第2章では、実験を行った際の体の計測位置、および計測から得られたデータの解析方法を述べる。第3章では、実験の概要を示し、本研究で用いた実験機器、および被験者の情報や被験者に提示した実験条件を示す。第4章では、実験データの結果と、結果から得られた本研究目的に対しての考察を述べる。最後に、第5章で本論文の結論と今後の展望を述べ、本研究の報告とする。

## 第2章 使用機器および解析方法

### 2.1 表面筋電位計測位置，加速度センサ取り付け位置

表面筋電位を計測した対象筋を図3に示す。対象筋は，腰の筋肉の中で，重量物持ち上げ時に最も負担がかかる筋肉であり，定量的に評価できる脊柱起立筋とする。また，持ち上げる物体の加速度を計測するため，図4に示すように荷重物体にも加速度センサを取り付けた。ここで，筋電位の有効周波数帯域は一般的に5 Hz から500 Hz程度とされており(Kizuka, Masuda, Kiryu, Sadoyama, 2006)，サンプリング定理(Stark, 1979)から筋電位計測器のサンプリング周波数は必要最低数である1 kHzとした。

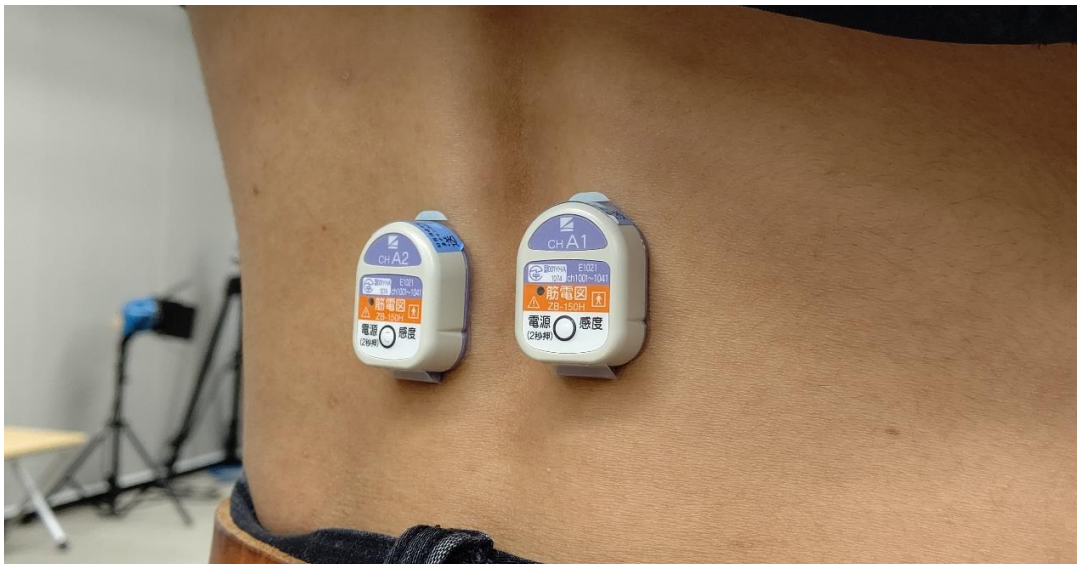


図3 表面筋電位計測部位（脊柱起立筋）





図 4 加速度センサ取り付け位置

## 2.2 表面筋電位信号の解析方法

本研究では、被験者の重量物持ち上げ時における腰部筋活動についての解析を行う。筋電位信号を解析する際、雑音を取り除くため周波数フィルタリングによる前処理が必要となる。そのため、筋電位信号の有効周波数帯域は 5 Hz から 500 Hz であることから、低周波数成分を 15 Hz のローカットフィルタを適用した。また、有効周波数帯域の上限である 500 Hz をカットオフ周波数とするハイカットフィルタも高周波数雑音を抑えるために適用した。

筋電位信号の処理は、信号の平均振幅の特徴量を表す二乗平均平方根処理 (RMS 処理) を行った後、被験者の筋肉量の違いによる個体差を減ずるため、各試行時における最大筋力発揮時の振幅で割ることにより正規化 (%MVC = % Maximum Voluntary Contraction) を行った。第 3 章の実験の手続きで示す 4 条件において、被験者全員分の筋電位データを 0.1 秒 (以下、s とする) ずつ加算平均処理し、課題時間中において重量物の加速度が 0.02 G (重力加速度) を超えた時間を持ち上げた時点とした。また、物体を持ち上げる際、物体が持ち上がる直前に脊椎に強い圧力がかかり腰痛のリスクが高まる (Heiss et al, 2002) ことから、持ち上げた時点より前の 0.3 s 間の筋電位量を求め、二元配置の分散分析をすることにより各条件で統制した実験要因と相関する腰への負担の低度を評価した。

## 第3章 荷重の認知を統制した持ち上げ実験

### 3.1 実験概要

物体の昇降作業において、第1章で示した仮説を検証するため、被験者に異なる荷重物体の持ち上げ動作を繰り返す課題を行ってもらった。このとき、脊柱起立筋に筋電位センサを付け腰部筋肉の賦活変化を測定する。荷重認知の有無による腰部の筋活動への影響は、2つの荷重物体を各試行ランダムに提示し、課題を行ってもらうことで評価する。腹腔内圧の高低による腰部の筋活動への影響は、息を吸い込んだ状態でお腹の力を入れ腹腔内圧を高めた状態で、再度、2つの荷重物体をランダムに提示し、課題を行ってもらうことで評価する。また、物体を持ち上げた時間を記録するため、荷重物体に加速度センサを取り付け計測する。

### 3.2 実験の手続き

外見は同一で荷重の異なる物体を2種類用意。1つは荷重500g(空箱の重さ)、もう1つは荷重が被験者体重の20%とした。被験者は床に置かれている荷重物体を50cm程度持ち上げる作業を計37回繰り返す。実験条件は4条件とし、腹腔内圧を高めていない状態で持ち上げる物体の荷重を伝えずに持ち上げる方法、腹腔内圧を高めていない状態で持ち上げる物体の荷重を伝えて持ち上げる方法、腹腔内圧を高めた状態で持ち上げる物体の荷重を伝えずに持ち上げる方法、腹腔内圧を高めた状態で持ち上げる物体の荷重を伝えて持ち上げる方法とした。被験者が持ち上げる回数および荷重の内訳を表2に示す。持ち上げる回数および荷重の内訳を2種類用意。重さを伝えない場合は、被験者が荷重を予測して持ち上げることがないようにランダムに設定した。荷重物体の持ち上げる姿勢は被験者間でばらつきが出ないように、実験開始前に重さ500gの空箱で複数回練習を行った。実験手順を図5から図7に示す。

表 2 各試行で被験者が持ち上げる回数および荷重の内訳

| ①              |           |               |           | ②              |           |               |           |
|----------------|-----------|---------------|-----------|----------------|-----------|---------------|-----------|
| 腹腔内圧低い/重さを伝えない |           | 腹腔内圧低い/重さを伝える |           | 腹腔内圧低い/重さを伝えない |           | 腹腔内圧低い/重さを伝える |           |
|                | 0% or 20% |               | 0% or 20% |                | 0% or 20% |               | 0% or 20% |
| 1回目            | 20        | 1回目           | 0         | 1回目            | 20        | 1回目           | 0         |
| 2回目            | 0         | 2回目           | 20        | 2回目            | 0         | 2回目           | 20        |
| 3回目            | 20        | 3回目           | 0         | 3回目            | 0         | 3回目           | 0         |
| 4回目            | 20        | 4回目           | 20        | 4回目            | 20        | 4回目           | 20        |
| 5回目            | 0         | 5回目           | 0         | 5回目            | 0         | 5回目           | 0         |
| 6回目            | 0         | 6回目           | 20        | 6回目            | 0         | 6回目           | 20        |
| 7回目            | 0         | 7回目           | 0         | 7回目            | 0         | 7回目           | 0         |
| 8回目            | 20        | 8回目           | 20        | 8回目            | 20        | 8回目           | 20        |
| 9回目            | 0         |               |           | 9回目            | 0         |               |           |
| 10回目           | 20        |               |           | 10回目           | 0         |               |           |
| 腹腔内圧高い/重さを伝えない |           | 腹腔内圧高い/重さを伝える |           | 腹腔内圧高い/重さを伝えない |           | 腹腔内圧高い/重さを伝える |           |
|                | 0% or 20% |               | 0% or 20% |                | 0% or 20% |               | 0% or 20% |
| 1回目            | 20        | 1回目           | 0         | 1回目            | 20        | 1回目           | 0         |
| 2回目            | 0         | 2回目           | 20        | 2回目            | 0         | 2回目           | 20        |
| 3回目            | 0         | 3回目           | 0         | 3回目            | 20        | 3回目           | 0         |
| 4回目            | 20        | 4回目           | 20        | 4回目            | 20        | 4回目           | 20        |
| 5回目            | 20        | 5回目           | 0         | 5回目            | 0         | 5回目           | 0         |
| 6回目            | 0         | 6回目           | 20        | 6回目            | 0         | 6回目           | 20        |
| 7回目            | 20        | 7回目           | 0         | 7回目            | 0         | 7回目           | 0         |
| 8回目            | 0         | 8回目           | 20        | 8回目            | 20        | 8回目           | 20        |
| 9回目            | 20        |               |           | 9回目            | 0         |               |           |
| 10回目           | 0         |               |           | 10回目           | 20        |               |           |
| 11回目           | 20        |               |           |                |           |               |           |



図 5 持ち上げ前の準備状態

図 5 は、持ち上げる直前の姿勢で 2 秒程度静止している画像であり、被験者が荷重物体を持ち上げる際、上体移動による腰部筋電位の変化を無くすため、荷重物体には触れず静止する。



図 6 持ち上げの瞬間

図 6 は、持ち上げた瞬間の画像であり、合図と同時に持ち上げてもらうが、この時、腕は伸ばしたまま荷重物体に手を掛けて持ち上げる。



図 7 持ち上げた後の姿勢

図 7 は荷重物体を持ち上げた後の画像であり，腕は伸びたまま，背筋が真っすぐになった時点で計測を終了する．

### 3.3 被験者

被験者は，平均年齢  $24.2 \pm 0.7$  歳(mean  $\pm$  S.D.)，平均身長  $171.3 \pm 0.4$  cm(mean  $\pm$  S.D.)，平均体重  $64.3 \pm 0.6$  kg(mean  $\pm$  S.D.)の健常な 20 代男性 9 人である．被験者の国籍，および利き腕，利き脚，運動歴の有無は問わないものとした．

### 3.4 計測機器 (多チャンネルテレメータシステム WEB-1000)

多チャンネルテレメータシステム WEB-1000(日本光電)を使用し、表面筋電位および荷重物体の加速度を計測した。本実験では、表面筋電位計測を行う腰の筋肉が部分的であるため筋電位計測用の小型送信機 ZB-150H(日本光電)を使用し、送信機の貼付面には付属のセンサ用粘着テープ(日本光電)を使用した。また、荷重物体の加速度計測でも、加速度計測用の小型送信機 ZB-150H(日本光電)を使用し、送信機の貼付面には付属のセンサ用粘着テープ(日本光電)を使用した。

### 3.5 実験結果

実験で計測された被験者の筋電図の例を図8に示す。図8は、左右の脊柱起立筋のデータを加算平均し、RMS処理を行ったあと、計測器から得られる0.001 s 間隔の筋電位データを10個ずつ加算平均し、0.01 s 間隔の筋電位データに置き換えたものである。また、加速度データにおいてもRMS処理後、0.01 s 間隔のデータに置き換えている。加速度センサにおいて、今回の実験では0.02 G 未満のノイズが計測されたことから、加速度が0.02 G を超えた点を持ち上げ時点とした。

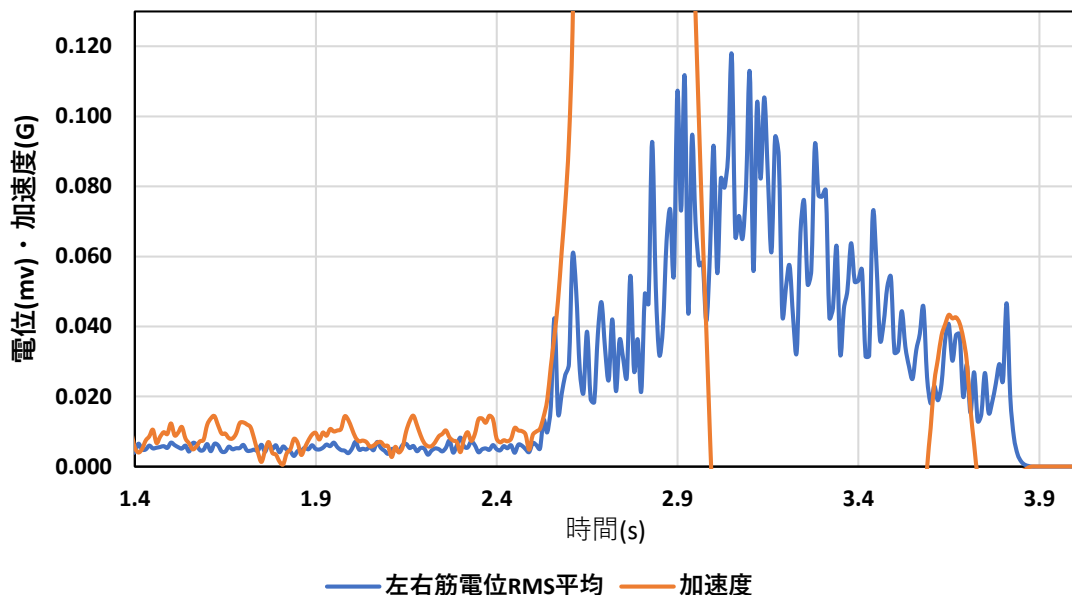


図8 RMS処理後の0.01 s 平均

筋電位計測器から得られる筋電位データは波打つ特性があり，図8のように0.01 s 平均ではノイズが大きく表示される．そこで，0.02 G を超えた時点から前後1 s を抜き出し，0.1 s 間隔で加算平均をした．被験者のある条件における全ての試行回数のグラフを図9に示す．

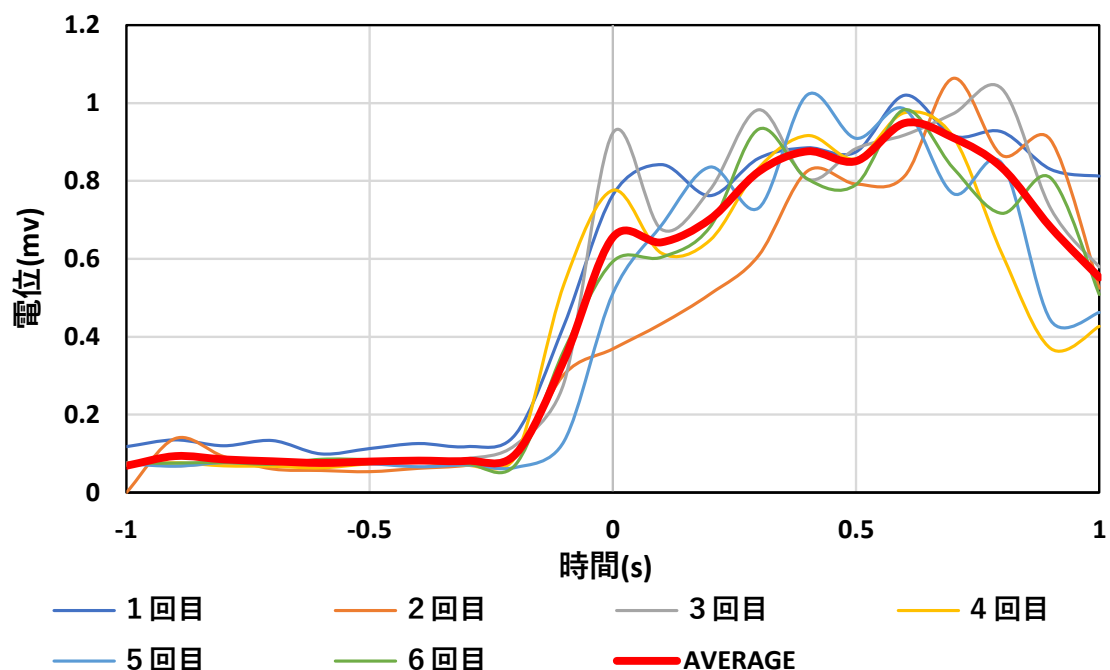


図9 持ち上げ時点から前後1 s の0.1 s 平均

それぞれの被験者間のデータの比較をするにあたり，被験者の筋肉量の違いによる個体差を減ずるため，各試行時における最大筋力発揮時の振幅で割ることにより正規化(%MVC=%Maximum Voluntary Contraction)を行っている．左右腰部の筋電位の時間変化を表す典型例として，被験者Aにおける各4条件の持ち上げ時点から前後1 s の0.1 s 平均を表したグラフを図10から図13に示す．



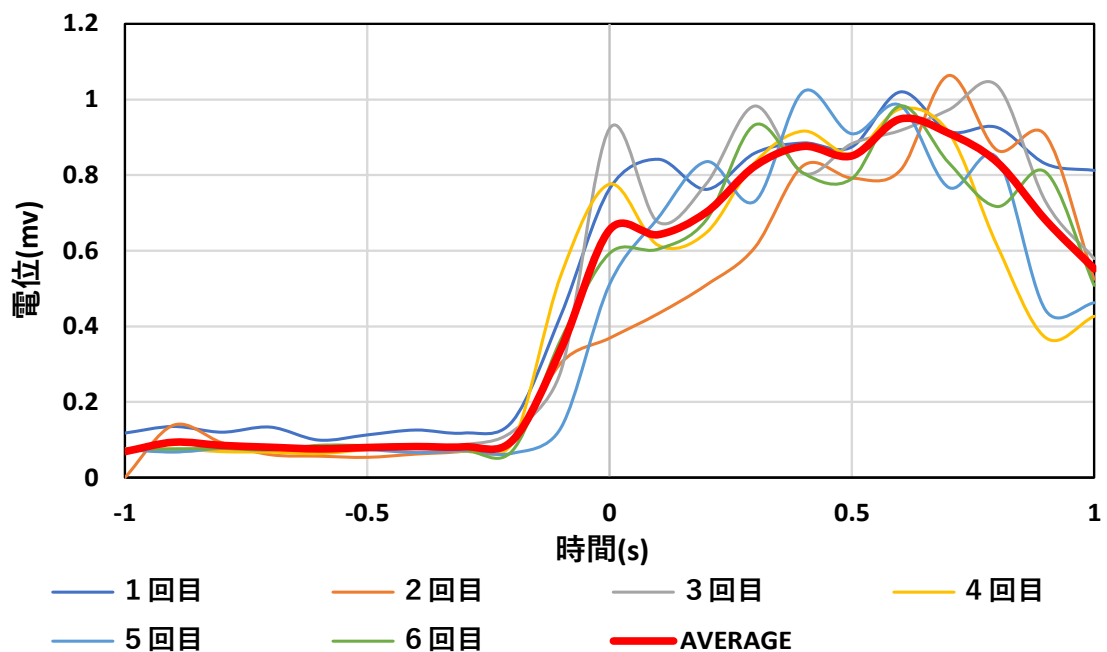


図 10 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知なし, 腹腔内圧低い)

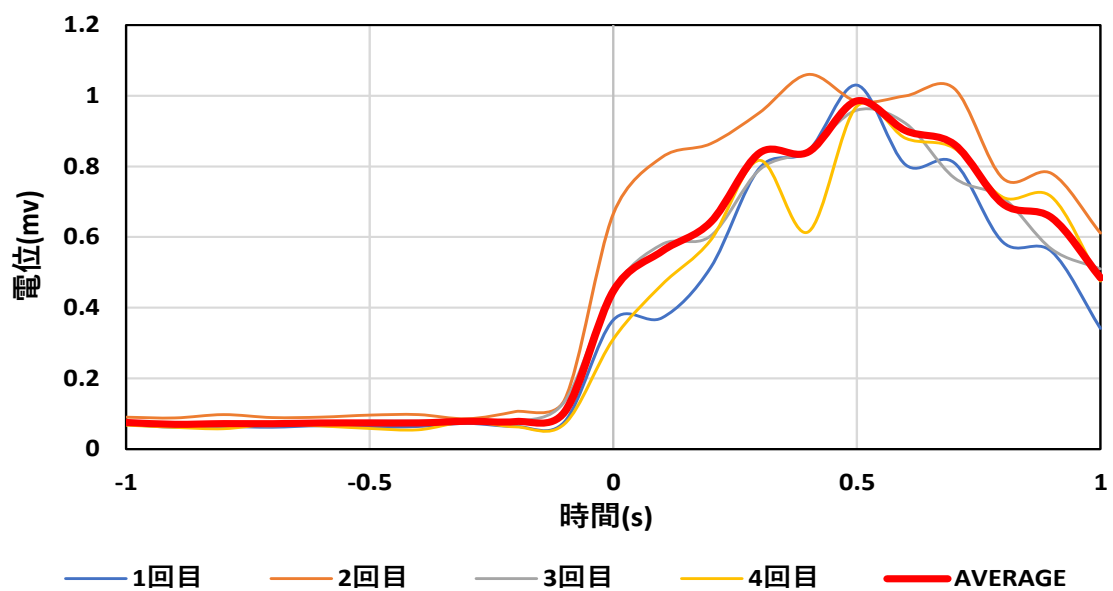


図 11 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知あり, 腹腔内圧低い)

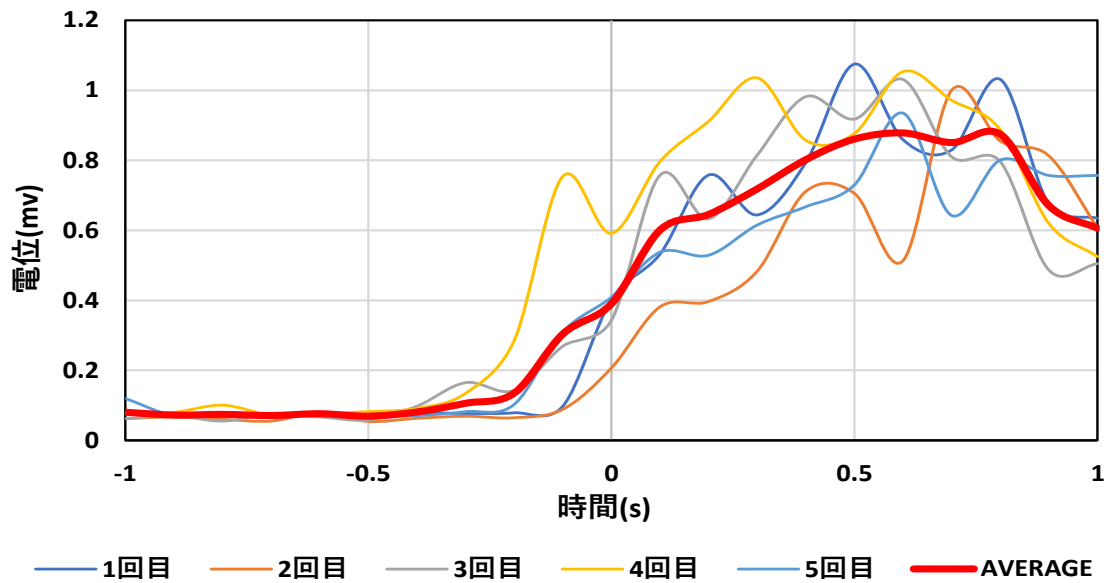


図 12 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知なし, 腹腔内圧高い)

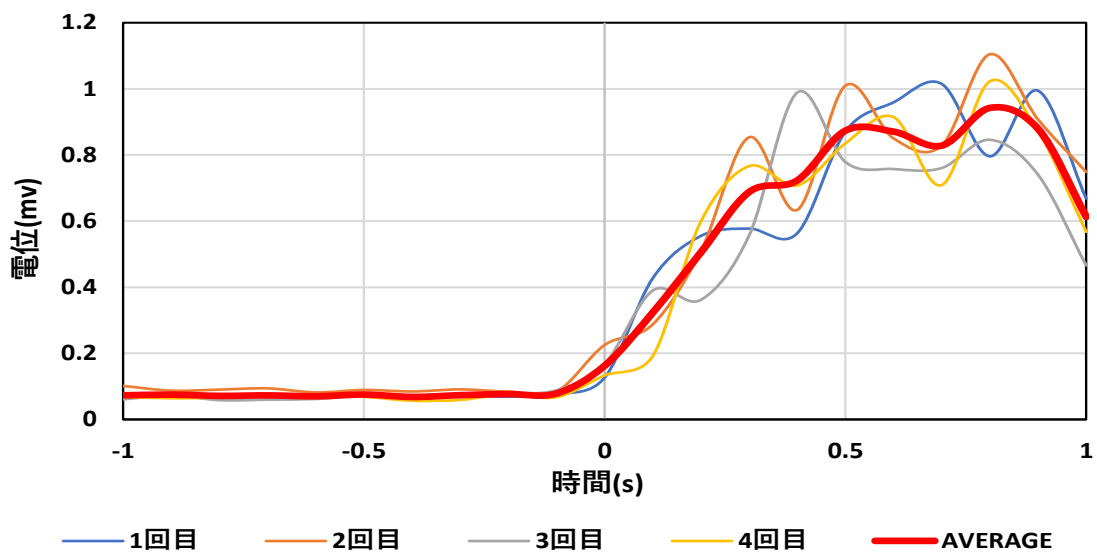


図 13 被験者 A の持ち上げ時点から前後 1 s の 0.1 s 平均 (荷重認知あり, 腹腔内圧高い)

図 10 と図 11 より，腹腔内圧が低いとき，荷重認知ありのときは荷重認知なしのときに比べて腰部筋肉の賦活開始時間が早いことが分かる．また，図 12 と図 13 より，腹腔内圧が高いときにおいても，荷重認知ありのときは荷重認知なしのときに比べて腰部筋肉の賦活開始時間が早いことが分かる．

図 11 と図 13 より，荷重認知ありのとき，腹腔内圧が高いときと腹腔内圧が低いときでは，腰部筋肉の賦活開始時間に差はないが，腹腔内圧が高いときでは腹腔内圧が低いときに比べて，電位の大きさが小さいことが分かる．

物体を持ち上げる際，物体が持ち上がる直前に腰痛のリスクが高まることから，持ち上げた時点より前の 0.3 s 間の筋電位量を求め，腰への負担を評価する．そのために，図 14 を用いて，以下の算出方法で腰部筋肉の負荷量を定量化した．まず，図 14 の緑線で囲った時間 0 s から -0.3 s の筋電位量(mvs)を求める．そこから，持ち上げた時点より前の 0.3 s 間における筋電位の変化量を求めるため，緑線で囲った部分から青斜線部を引く．青斜線部の面積は，橙斜線部で示した -0.3 s から -0.8 s までの 0.5 秒間の面積の 3/5 倍とし，緑線で囲った筋電位量から青斜線部の面積を引いた値を筋電位変化量と呼び，以下，これを持ち上げ直前の筋電位変化量と呼ぶことで，腰部筋肉の負荷量を反映した指標として分析した．

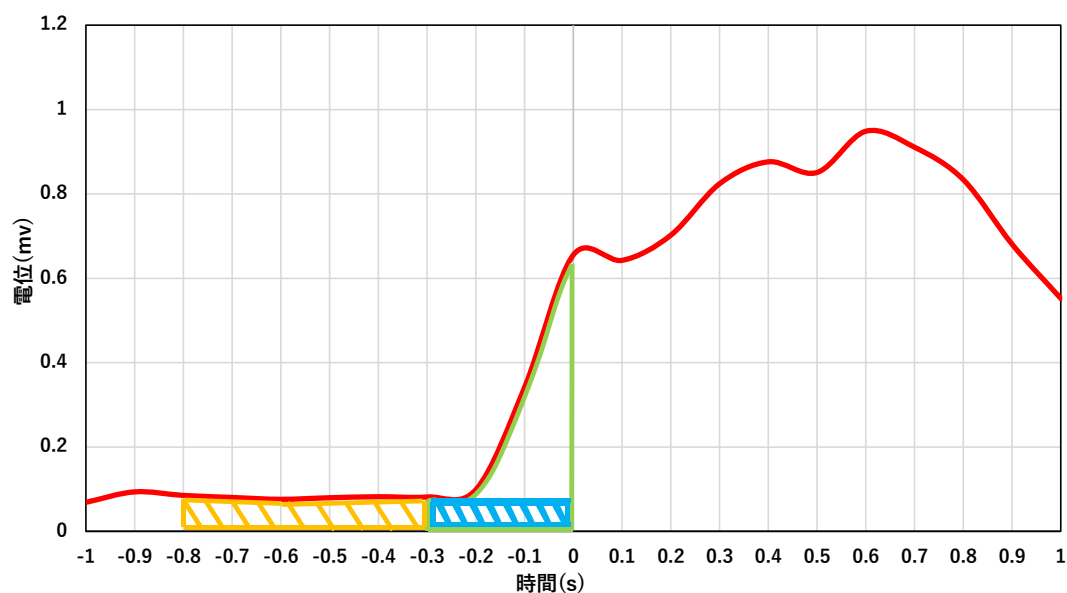


図 14 持ち上げ直前の筋電位変化量の求め方

被験者ごとに各条件における持ち上げ直前の筋電位変化量の平均を求め、それぞれの被験者の各条件間で比較した散布図を図 15 から図 16 に示す。ただし、図の中心を通る線は  $x = y$  とする。

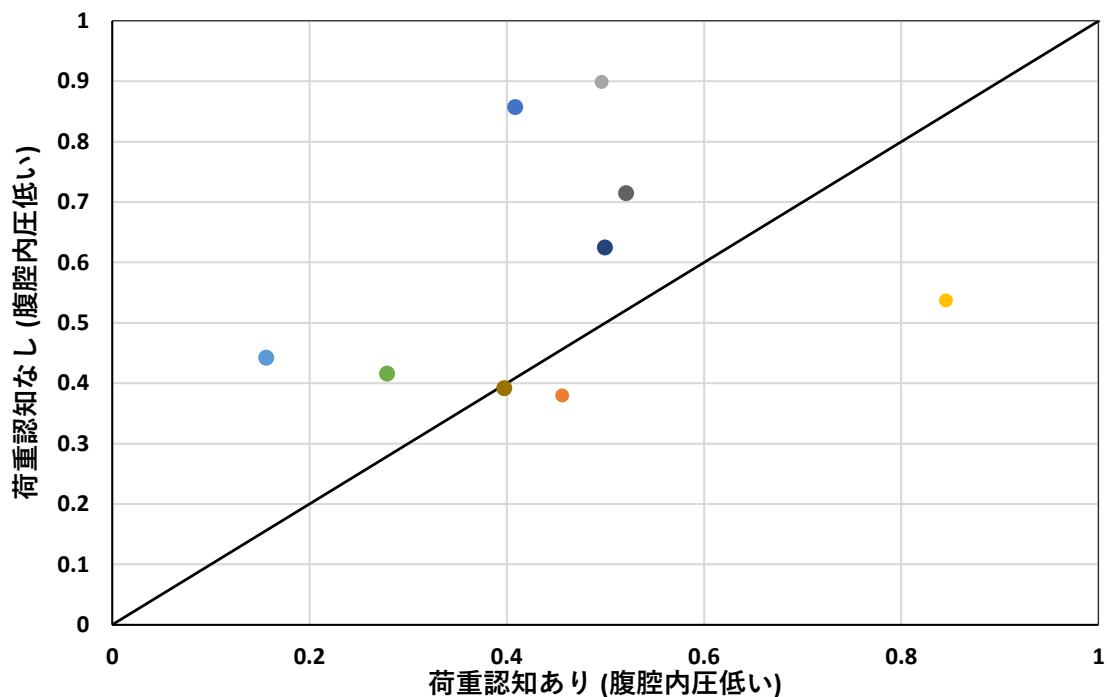


図 15 荷重認知のある条件とない条件(いずれも腹腔内圧低い条件)の持ち上げ

#### 直前の筋電位変化量を比較した散布図

図 15 より、腹腔内圧が低いとき、被験者 9 人中 6 人が荷重認知ありよりも荷重認知なしの方が、荷物が持ち上がる前の筋電位量が大きくなった。

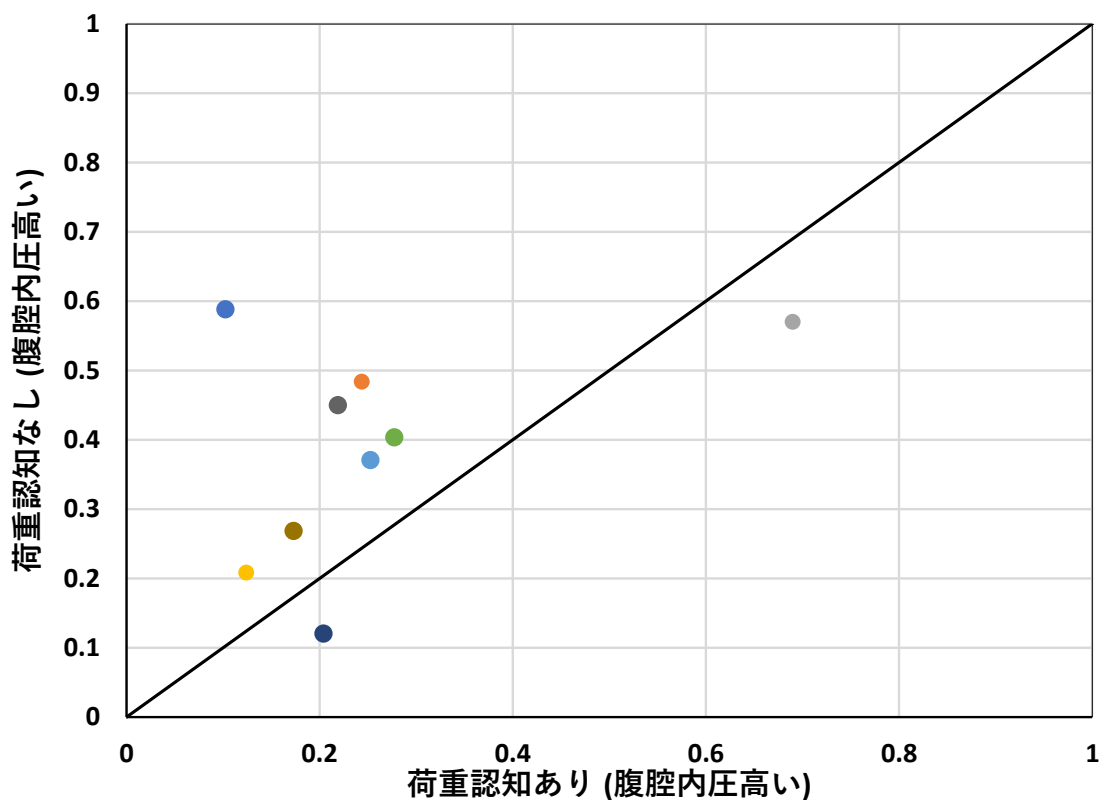


図 16 荷重認知のある条件とない条件(いずれも腹腔内圧高い条件)の持ち上げ直前の筋電位変化量を比較した散布図

図 16 より、腹腔内圧が高いとき、被験者 9 人中 7 人が荷重認知ありよりも荷重認知なしの方が、荷物が持ち上がる前の筋電位量が大きくなった。

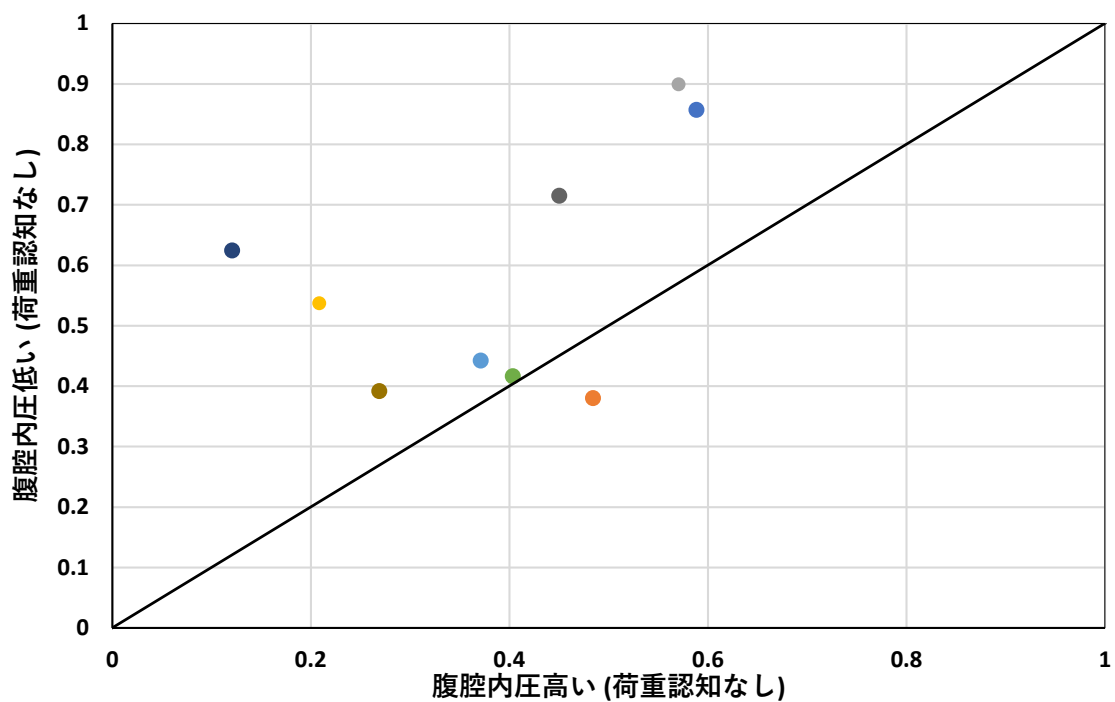


図 17 腹腔内圧の高い条件と低い条件(いずれも荷重認知なし条件)の持ち上げ

#### 直前の筋電位変化量を比較した散布図

図 17 より、荷重認知なしのとき、被験者 9 人中 8 人が、腹腔内圧が高いときよりも腹腔内圧が低いときの方が、荷物が持ち上がる前の筋電位量が大きくなった。

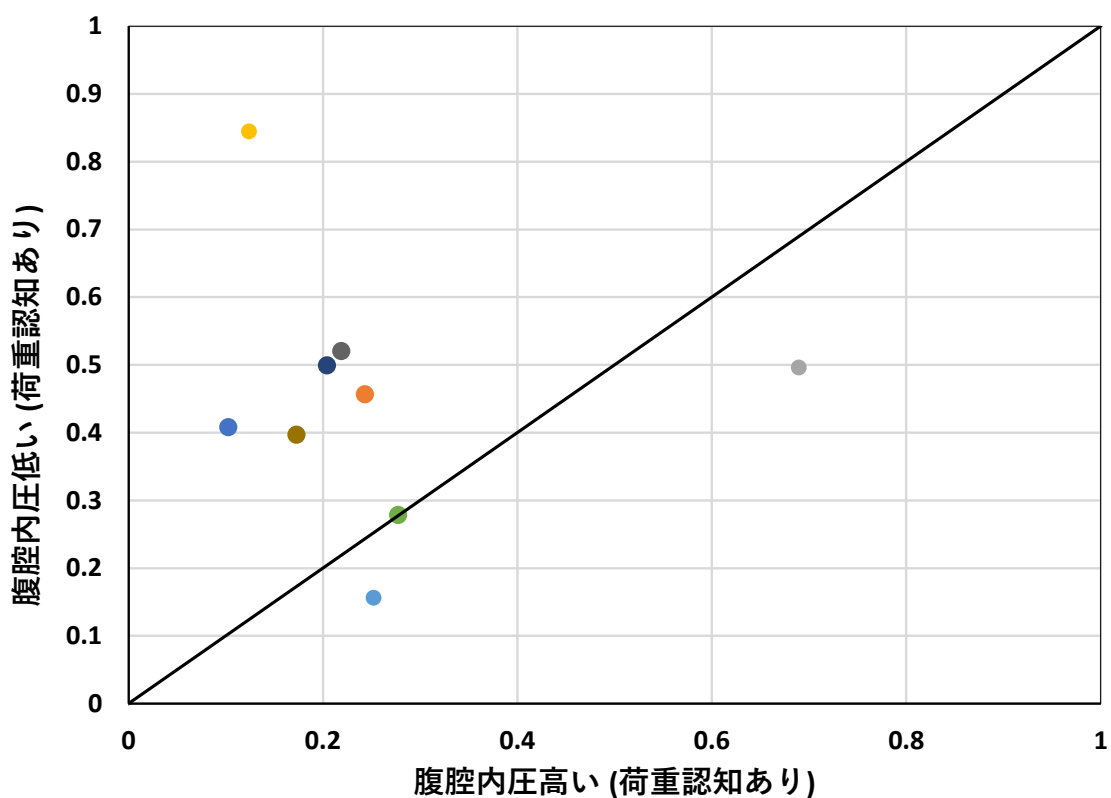


図 18 腹腔内圧の高い条件と低い条件(いずれも荷重認知あり条件)の持ち上げ直前の筋電位変化量を比較した散布図

図 18 より、荷重認知ありのとき、被験者 9 人中 8 人が、腹腔内圧が高いときよりも腹腔内圧が低いときの方が、荷物が持ち上がる前の筋電位量が大きくなった。

さらに、図 15 から図 18 で示した各条件間での比較を定量的に解析し、荷重認知の効果、および腹腔内圧の効果の有無を調べるために、全ての被験者の各条件におけるデータを抜き出し、有意水準 5% で二元配置による分散分析を行った。分散分析表を表 2 に示す。(帰無仮説：各条件における筋電位量の平均値は等しい)

表 3 二元配置による分散分析 (有意水準 5%)

| 変動要因   | 変動       | 自由度 | 分散        | 観測された分散比 | P-値     | F 境界値  |
|--------|----------|-----|-----------|----------|---------|--------|
| 腹腔内圧   | 0.63327  | 1   | 0.6332686 | 9.41585  | 0.00250 | 3.8961 |
| 荷重の認知  | 1.47981  | 1   | 1.4798064 | 22.00274 | 0.00001 | 3.8961 |
| 交互作用   | 0.02225  | 1   | 0.0222461 | 0.33077  | 0.56596 | 3.8961 |
| 繰り返し誤差 | 11.56796 | 172 | 0.0672556 |          |         |        |
| 合計     | 13.70328 | 175 |           |          |         |        |

表 3 より、黄色で示した腹腔内圧と荷重の認知の P 値は $[P < 0.05]$ となり、緑色で示した腹腔内圧と荷重の認知の F 値は $[\text{観測された分散比} > \text{F 境界値}]$ となったため、効果がないという帰無仮説は棄却され、すなわち腹腔内圧の高低および荷重の認知の有無により、持ち上げ直前の筋電位変化量が有意に変化することが示された。一方、青色で示した交互作用の P 値は $[P > 0.05]$ となり、赤色で示した交互作用の F 値は $[\text{観測された分散比} < \text{F 境界値}]$ となったため、交互作用における帰無仮説は棄却されなかった。すなわち、腹腔内圧の効果は荷重の認知の有無によらず、あることが示唆された。

### 3.6 考察

実験結果より、荷重の認知の有無は、腰部の筋活動に影響を与えることが示唆された。これにより、第 1 章で示した仮説の 1 つ目である、物体の荷重を認知しているときは荷重を認知していないときに比べて持ち上げる直前の腰部筋肉の賦活が小さいという仮説は棄却されず、持ち上げる物体の荷重を認知しているときは荷重を認知していないときに比べて、腰椎捻挫のリスクが低い可能性が示唆された。また、実験結果の分散分析より、腹腔内圧の高いほど、腰部の筋活動が減少することが示唆された。これにより、第 1 章で示した仮説の 2 つ目である、サポートベルトを使わず、自身で腹腔内圧を高める方法をとることも、腹腔内圧を高めていないときに比べて持ち上げる直前の腰部筋肉の賦活が小さくなるという仮説は棄却されず、自身で腹腔内圧を高める方法をとるときは自身で腹腔内圧を高めていないときに比べて、腰椎捻挫のリスクを低減できる可能性が示唆された。

今回の実験では、日本人だけでなく中国人も被験者として参加しており、散布図で示した各条件間における傾向では、中国の方は日本の方とは異なる傾向



を示している場合が4件あった。これは、実験前の持ち上げ姿勢について、被験者間の持ち上げ姿勢によるばらつきを少なくする目的で、各被験者に口頭および見本を見せ、複数回練習をしてもらっていたが、その時のコミュニケーション不足により、実験の意図が正確に伝わっていなかったことが原因として挙げられる。また、散布図において一定の傾向は見られたが、被験者間において筋活動量に差が出た原因としては、筋肉量の違いによる影響が大きいと考えられるが、その他に、持ち上げる速度については教示や統制をしておらず、被験者間において持ち上げる速度がばらばらだったことも要因として挙げられる。

今後の課題としては、本研究では被験者数が9人と少なく、解析結果において多少のばらつきが見られたことから、被験者数を増やすことで、多くのデータ数を取得し、持ち上げ作業時における腰部の筋活動への影響とその傾向をより確かなものにするのである。また、実験前に被験者と綿密にコミュニケーションをとり、実験の意図を正確に伝えることや、練習回数を増やすなど、被験者間において持ち上げ姿勢等が異ならないように工夫することである。今後の展望として、本実験で評価した腰部の筋電位計測と合わせて、先行研究で行われている脊椎の角速度および腰椎伸筋モーメントも計測し、複合的な評価を行っていくことで、腰椎捻挫をはじめとする腰痛の原因究明や改善、予防につながると考えられる。

## 第4章 結言

本研究では、表面筋電位測定器を用いて、重量物持ち上げ時に荷重認知の有無および自身で腹腔内圧を高める方法が腰部の筋活動に及ぼす影響を調査した。腰部の筋活動の評価において、荷重物体が持ち上がる直前の筋活動量を解析した。その結果、荷重認知と腹腔内圧の両方で有意差が認められた。これにより、重量物持ち上げ時に荷重を認知していることは、腰部筋肉の損傷の低減につながることを示唆された。また、自身で腹腔内圧を高める方法をとることも、腰部筋肉の損傷の低減につながることを示唆され、サポートベルトを用いなくても、自身で腹腔内圧を高めることで一定の効果が得られることが示された。

## 第5章 謝辞

本実験を行うにあたり，常にご指導を賜りました日高昇平准教授，鳥居拓馬助教に深く感謝いたします．また，この2年間様々な助言，協力を頂いた認知計算論研究室学生ならびに佐藤治研究室学生のおかげだと思っています．研究活動を共にした両研究室学生の協力がなければ，本研究は遂行することができなかつたと思います．改めてお礼申し上げます．今まで学んできたことを存分に活かしつつ，これから様々なことに挑戦していきたいと思っています．

## 参考文献

- [1] Cailliet R, 荻島 秀男(訳), 腰痛症候群, 医歯薬出版(1992)
- [2] Deborah Heiss, Richard Shields, John Yack, Balance Loss When Lifting a Heavier-Than-Expected Load : Effects of Lifting Technique, Arch Phys Med Rehabil, Vol 83(2002)
- [3] Jacek Cholewicki, Krishna Juluru, Andrea Radebold, Manohar Panjabi, Stuart McGill, Lumbar spine stability can be augmented with an abdominal belt and/or increased intra-abdominal pressure, Eur Spine J, Vol 8, pp388-395(1999)
- [4] Bundesärztekammer, Kassenärztliche Bundesvereinigung, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, Programm für Nationale VersorgungsLeitlinien, AWMF-Register-Nr nvl-007, Version 1(2017)
- [5] STARK H, Sampling theorems in polar coordinates, J Opt Soc Am, Vol 66, pp1519-1525(1979)
- [6] Francisco Garcia, Jose Elvira, Stephen Brown, Stuart McGill, Effects of abdominal stabilization maneuvers on the control of spine motion and stability against sudden trunk perturbations, Journal of Electromyography and Kinesiology, Vol17, pp556-567(2007)
- [7] 木塚 朝博, 増田 正, 木竜 徹, 佐渡山 亜兵, 表面筋電位, 東京電機大学出版社(2006)
- [8] 芝田 京子, 井上 喜雄, 岩田 祥孝, 片川 準也, 藤井 涼, 腰椎系における椎間板負荷の非侵襲的な推定法, 日本機械学会論文集(C編), 78巻 791号 (2012-7)
- [9] 松田 雅弘, 塩田 琴美, 高梨 晃, 野北 好春, 腰部ベルト装着時の静的・動的立位バランスの特性-健常高齢者による分析-, 理学療法科学 Vol 24, pp489-492(2009)

- [10] 藤村 昌彦, 奈良 勲, 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, 日本職業・災害医学会会誌 JJOMT, Vol 52, No 6, pp341-347(2004)
- [11] 鈴木 俊明, 谷 万喜子, 筋電図からわかること-臨床で筋電図をどう生かすか-, 関西理学, Vol 17, pp1-2(2017)
- [12] 中村 英夫, いまさら聞けない生体計測 1(筋電), 生体医工学, Vol 57, pp149-157(2019)
- [13] 総務省統計局, <https://www.stat.go.jp/>(参照 2021-01-29)
- [14] 内閣府, <https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data.html>(参照 2021-01-29)