

2025 年度

# 卒業論文集

渡邊航平研究室

中京大学

2025 年度 中京大学 スポーツ科学部 渡邊航平研究室 卒業論文集

中高年および高齢者における日常生活の身体活動が上り坂歩行時の身体活動に与える影響

伊藤颯野

異なる筋長条件下における神経筋電気刺激トレーニングが血管機能に及ぼす影響

江間ふうな

疲労局面におけるシャウトがレジスタンストレーニングの反復回数に及ぼす影響

小澤李奈

レジスタンストレーニングによって誘発される非局所性筋疲労の特性

笠井実咲

若年層における自律神経の関連性に対する姿勢の影響

齋藤真奈可

性格特性及びトレーニング中の快・不快の心理的要因が

筋力トレーニングの効果に与える影響

白木健心

課題難易度の変化と聴覚刺激による環境要因が

運動課題の成功率および主観的心理状態に及ぼす影響

高木日菜乃

セット間の神経筋電気刺激がレジスタンストレーニング時の代謝応答に及ぼす影響

田部井優斗

レジスタンストレーニング時の声掛けの大きさが挙上回数に与える影響

中川真之介

Qtrac による短母指外転筋運動単位数測定における測定姿勢と再現性の検討

秦彩葉

家庭用神経筋電気刺激を用いた高齢者の筋力トレーニングにおける筋長条件の影響

服部明日風

大学生ゴルファーにおける最大酸素摂取量が

試合中の主観的疲労およびパッティングの正確性に及ぼす影響

藤川 茉莉

高齢者における筋力トレーニングの実施状況と過去の身体活動量の関係について

村井佑崇

ゴルフバッグの“担ぎ”による歩行時の上り下りが生体に及ぼす影響

守山颯

災害非常食である乾パンの摂食における食後血糖応答の変化

渡邊 翼

中高年および高齢者における日常生活の身体活動が  
上り坂歩行時の身体活動に与える影響

J522006

伊藤颯野

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室





## 抄録

背景：高齢化に伴って要介護者が増加する中、厚生労働省が推奨する身体活動の基準を達成している高齢者は少ない。高齢者の運動に対する障壁には、怪我のリスクや転倒の恐怖、身体活動によって痛みが生じることへの不安がある中、上り坂の歩行は安全性が高く、怪我や痛みのリスクがある人や肥満の人に適した運動とされている。このことから、上り坂の歩行は多くの高齢者に適していると言えるが、上り坂では歩行速度が低下し、身体活動強度が低下する可能性がある。一方で、日常生活での身体活動量が多い人や高い強度の身体活動を行っている人ほど運動中の身体活動強度を維持しやすいと考えられる。本研究は、中高年および高齢者における平地の歩行と上り坂の歩行の身体活動量を比較し、日常生活の身体活動と運動時の身体活動強度の関係を検討することを目的とした。

方法：対象者は中高年および高齢者の男女 33 名で、活動量計とアンケートを用いて調査した。活動量計は平地の歩行と上り坂の歩行の身体活動強度の測定に使用し、アンケートでは、日常の身体活動についての調査に使用した。

結果：上り坂の歩行の身体活動強度は、平地の歩行の身体活動強度と比較して有意に低下した ( $p < 0.05$ )。日常生活での身体活動量と上り坂での身体活動強度との関係に有意な相関関係は見られなかった ( $p > 0.05$ )。1 週間当たりに高い身体活動や中等度の身体活動を行った時間、1 週間当たりに 1 回に 10 分以上続けて歩行を行った時間と、平地の歩行時と上り坂の歩行時の身体活動強度の変化に有意な相関関係は見られなかった ( $p > 0.05$ )。

結論：本研究によって、中高年および高齢者は上り坂の歩行で身体活動強度が低下すること、日常の身体活動と上り坂での身体活動強度に関係は見られないことが明らかとなった。

## 背景

現在、日本では高齢化が進んでおり、総人口に占める高齢者の割合は 29.3%と過去最高である（総務省統計局 2024）。この内、要介護・要支援認定者数は 2023 年では 19.0%、2024 年には 19.4%と年々増加している（厚生労働省 2024）。これは、高齢化が進んでいる日本において非常に重要な問題であり、高齢者の身体機能の維持、向上は大きな課題である。このような課題がある中で、日常生活動作能力の中でも歩行や起居などの移動動作に関わる能力は較的早期から低下するため、高齢者が日常生活において歩行運動を積極的に行うことは、日常生活動作障害に対する初期予防活動として有効である（厚生労働省 2023）。また、2023 年には健康づくりのための身体活動・運動ガイド（高齢者版）には強度が 3 メッツ以上の身体活動を週 15 メッツ・時以上行うことを推奨することが明記された（厚生労働省 2023）。しかし、週 15 メッツ・時以上に相当する歩数を 1 日 6000 歩/日以上とすると、これを満たす高齢者の割合は、男性では 65～74 歳で 45%、75～84 歳で 32%、85 歳以上で 11%であり、女性では 65～74 歳で 38%、75～84 歳で 22%、85 歳以上で 5%だった（厚生労働省 2023）。また、高齢者における運動習慣者の割合の目標は男女共に 50.0%であるが、実際には男性で 41.9%、女性で 33.9%となっており、目標達成には至っていない（厚生労働省 2023）。高齢者が身体活動に対して感じる障壁として、怪我のリスクや転倒の恐怖、身体活動によって痛みが生じることへの不安が多いと報告されている（Kilgour et al. 2024）。こうした身体活動に対する障壁がある中で、筋骨格系の病状や痛みのリスクがある人や肥満の人にとって、上り坂の歩行の方が速い速度での水平の歩行よりも適切な運動であり（Haight et al. 2014）、傾斜の歩行は平地の歩行と比較して、大腿直筋、大殿筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋の筋力が高くなることが報告されている（Bradford et al. 2015）。また、上り坂の歩行は平地の歩行と比較して、エネルギー消費が増加する

ことが報告されている (Looney et al. 2019)。そのため、上り坂の歩行は身体的な負担を抑え、安全性を確保しつつ身体機能を維持、向上させる手段として、多くの高齢者に適している運動と言える。しかし、上り坂の歩行ではストライド長やケイデンス、歩行速度が有意に低下すること報告されている (Ferraro et al. 2013)。また、自己選択速度での歩行は、傾斜が増すと無意識のうちに歩行速度を低下させ、自覚的運動強度 (Rate of perceived exertion, RPE) を調節することが報告されている (Eisenberger et al. 2022)。したがって、中高年および高齢者に上り坂の歩行を提案、実施しても、平地の歩行よりも歩行速度が低下し、運動中の身体活動強度が低下するのではないかと考えた。

一方で、日常生活の身体活動量が多い人ほど、日常生活の身体活動量が少ない人と比較して最大酸素摂取量 ( $VO_2MAX$ ) が高い傾向があり (Dyrstad et al. 2016)、日常生活の1日当たりの身体活動時間が多い人ほど、運動に対する心肺持久力が高まることが報告されている (Kulinski et al. 2014)。このことから、同じ運動を行っても日常生活での身体活動量が多い人ほど強度の高い身体活動を維持しやすい身体状態なのではないかと考えた。また、中等度から高強度の運動を行う習慣のある人ほど、運動強度に対する不快感への耐性が高く (Flack et al. 2017)、この耐性が高い人ほど、高強度の運動中に強度を維持しやすいことが報告されている (Ekkekakis et al. 2007)。したがって、日常生活で高強度の身体活動を行っている人ほど、同じ運動を行った際に強度の高い身体活動強度を維持しやすいのではないかと考えた。以上のことから、ウォーキングの歩行速度が自己選択の場合、同じ運動を行っても、日常生活の身体活動によって運動中の身体活動強度に個人差が生まれると考えられる。このことから、中高年および高齢者に同じ運動を提案、実施しても、日常生活の身体活動量や身体活動強度によって身体活動強度が異なり、想定した運動効果を得ることが出来ない可能性があるのではないかと考えた。そこで、本研究の目的は、

中高年および高齢者における平地の歩行と上り坂の歩行の身体活動量を比較すること、日常生活の身体活動と同じ運動を実施したときの身体活動強度にどのような関係があるかを検討することである。そこで、本研究では、上り坂の歩行は平地の歩行と比べて身体活動強度が低下するが、日常生活で多くの身体活動量がある中高年および高齢者や、高い強度の身体活動を行っている中高年および高齢者ほど、上り坂での歩行でも身体活動量が低下しないのではないかという仮説を立てた。

## 方法

### 対象者

中京大学スポーツ科学部渡邊航平教授によるセミナーを受講者かつ名古屋市交通局と名古屋市立大学、中京大学が開催する「スマホ de 駅ウォーキング」の参加者 33 名（男性 18 名、女性 15 名、年齢： $68.7 \pm 8.0$  歳）が本研究に参加した。

### 実験デザイン

本研究は、2025 年 3 月 23 日に開催された「スマホ de 駅ウォーキング」のルート（図 1）で実施し、活動量計（HJA-750C Active style Pro、オムロン株式会社、京都、日本）（図 2）とアンケートを用いた（図 3 から図 8）。

参加者には、活動量計が斜めに傾かないよう、へその高さで大腿の中心部分にあたる位置のズボンまたはベルトに装着してもらった。また、落下防止のため、活動量計のストラップをズボンやベルトに固定した上で、ウォーキング中の身体活動を測定した（図 9）。

アンケートは、2025 年 3 月 23 日に行われたスマホ de 駅ウォーキングにて書面で実施した。アンケー



図1 ウォーキングの経路(水色の線)



図 2 実験に使用した活動量計

ID : \_\_\_\_\_

本日のウォーキングイベントへの参加、お疲れ様でした。

この度は、本アンケートにご協力いただき、誠にありがとうございます。

本アンケートは、中京大学渡邊航平研究室所属の伊藤が卒業論文研究の一貫として、シニアの方の運動についての調査することを目的としています。ご回答いただいた内容は、卒業論文研究以外の目的で使用されることは一切ありません。また、ご回答いただいた内容は、個人情報として厳重に管理いたします。

フリガナ

氏名 : \_\_\_\_\_ 性別 : 男・女 (当てはまる方に○を付けてください)

生年月日 : \_\_\_\_\_ 年(西暦) \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 (満 \_\_\_\_\_ 歳)

身長 : \_\_\_\_\_ cm 体重 : \_\_\_\_\_ kg

Q1 から Q4 の質問にあたっては、以下の数字を用いて回答してください。

[疲労度 : 6 を安静時として、数字が増えるほど身体への負担が高いことを意味しています]

6	10	14	18
7 非常に楽である	11 楽である	15 きつい	19 非常にきつい
8	12	16	20
9 かなり楽である	13 ややきつい	17 かなりきつい	

Q1. スタート地点から東山荘までに感じた疲労度を、上図を参考に 6 から 20 の数字で表してください。



疲労度 : \_\_\_\_\_

図3 アンケート調査 (1/6)



Q2.東山荘から総合リハビリセンター駅までに感じた疲労度を、上図を参考に 6 から 20 の数字で表してください。



疲労度： \_\_\_\_\_

Q3.総合リハビリセンター駅からゴール地点までに感じた疲労度を、上図を参考に 6 から 20 の数字で表してください。



疲労度： \_\_\_\_\_

Q4.スタート地点からゴール地点までに感じた平均的な疲労度を、上図を参考に 6 から 20 の数字で表してください。

疲労度： \_\_\_\_\_

Q5.本日の名古屋市立大学から中京大学までのウォーキングの満足度を教えてください。当てはまる位置に×を付けてください。(まったく満足していないを 0、どちらともいえないを 5、大変満足したを 10 としてお答えください)

0										10
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

図4 アンケート調査 (2/6)



Q6.今後も定期的にウォーキングや運動をしたいと思いますか。当てはまる位置に×を付けてください。  
(まったく思わないを0、どちらともいえないを5、非常にしたいと思うを10としてお答えください)

0					5					10
---	--	--	--	--	---	--	--	--	--	----

Q7.本日のウォーキングイベントは何人で、どのような関係性(家族、友人など)の方と応募しましたか。

人数：\_\_\_\_\_人      関係性：\_\_\_\_\_

Q8.本日の名古屋市立大学から中京大学までのウォーキングは、1人で行いましたか。複数人で行いましたか。当てはまる方の□にチェックをつけてください。

☐ 1人 (→Q15へ)      ☐ 複数人 (→Q13へ)

Q9.本日の名古屋市立大学から中京大学までのウォーキングでは、会話しながら行いましたか。当てはまる方の□にチェックをつけてください。

☐ はい (→Q14へ)      ☐ いいえ (→Q15へ)

Q10.本日の名古屋市立大学から中京大学までのウォーキングでは、どの程度の時間、会話しながら行いましたか。名古屋市立大学から中京大学までのウォーキングにかかった時間を100%として、会話していた時間が何%程度であったかをお答えください。当てはまる位置に×を付けてください。  
(例：名古屋市立大学から中京大学までのウォーキングが2時間かかり、そのうち30分程度、会話をした場合、25%の位置に×を付けてください)

0%					50%					100%
----	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	------

Q11.昨日の就寝時間と今日の起床時間を教えてください。

就寝時刻：\_\_\_\_\_時\_\_\_\_\_分      起床時刻：\_\_\_\_\_時\_\_\_\_\_分

Q12.朝食は食べましたか。

☐ はい (→Q17へ)      ☐ いいえ (→Q19へ)

図5 アンケート調査 (3/6)

Q13.朝食では炭水化物（米、食パンなど）を食べましたか。

☐ はい（→Q18 へ）      ☐ いいえ（→Q19 へ）

Q14.朝食で食べた炭水化物はどのくらいの量でしたか。写真の炭水化物の量を 100%として、ご自身が食べた炭水化物の量は何%程度であったかをお答えください。当てはまる位置に×を付けてください。ご自身が食べた炭水化物の量が 150%以上だった場合、150%の位置に×を付けてください。（例：米を画像の 120%程度食べた場合、120%の位置に×を付けてください。）



〔6枚切り（厚さ2cm程度）の食パン2枚〕



〔中盛り（150g）のごはん〕



Q15~Q22の質問にあたっては以下の点にご注意ください。

- ◆強い身体活動とは、身体的にきついと感じるような、かなり呼吸が乱れるような活動を意味します。
- ◆中等度の身体活動とは、身体的にやや負担がかかり、少し息がはずむような活動を意味します。

以下の質問では、1回に付き少なくとも10分間以上続けて行った身体活動についてのみ考えてお答え下さい。

Q15.この1週間で、強い身体活動（重い荷物の運搬、ジョギング、テニスのシングルスなど）を行った日は何日ありましたか。

☐ 週\_\_\_\_\_日（→Q20 へ）      ☐ ない（→Q23 へ）

Q16.この1週間で、強い身体活動を行った日は、平均で、1日合計してどのくらいの時間そのような活動を行いましたか。

1日\_\_\_\_\_時間\_\_\_\_\_分程度

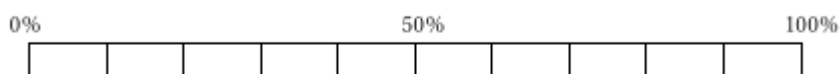
図6 アンケート調査（4/6）

Q.17 この1週間で、強い身体活動を行った日は、1人で行いましたか。複数人で行いましたか。日によって異なる場合も教えてください。当てはまる方の□にチェックをつけてください。

☐ 1人 (→Q23へ)      ☐ 複数人 (→Q22へ)

☐ 日によって異なる 1人で行った日数: \_\_\_\_\_日 複数人で行った日数: \_\_\_\_\_日 (→Q22へ)

Q18.この1週間で、強い身体活動を行った日は、どの程度の時間、会話しながら行いましたか。強い身体活動を行った時間を100%として、会話していた時間が何%程度であったかをお答えください。当てはまる位置に×を付けてください。



Q19.この1週間では、**中等度の**身体活動(軽い荷物の運搬、子供との鬼ごっこ、ゴルフなど)を行った日は何日ありましたか? **歩行やウォーキングは含めない**でお答えください。

☐ 週 \_\_\_\_\_日 (→Q24へ)      ☐ ない (→Q27へ)

Q20.中等度の身体活動を行った日は、平均で、1日合計してどのくらいの時間そのような活動を行いましたか。

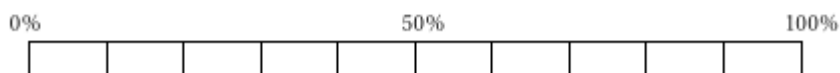
1日 \_\_\_\_\_時間 \_\_\_\_\_分程度

Q21.この1週間で、中等度の身体活動を行った日は、1人で行いましたか。複数人で行いましたか。日によって異なる場合も教えてください。当てはまる方の□にチェックをつけてください。

☐ 1人 (→Q27へ)      ☐ 複数人 (→Q26へ)

☐ 日によって異なる 1人で行った日数: \_\_\_\_\_日 複数人で行った日数: \_\_\_\_\_日 (→Q23へ)

Q22.この1週間で、中等度の身体活動を行った日は、どの程度の時間、会話しながら行いましたか。中等度の身体活動を行った時間を100%として、会話していた時間が何%程度であったかをお答えください。当てはまる位置に×を付けてください。



Q23.この1週間では、10分以上続けて歩くことは何日ありましたか?ここでの歩くとは仕事や日常生活

図7 アンケート調査 (5/6)

☐ 週\_\_\_\_\_日 (→Q28へ)      ☐ ない (→Q31へ)

1日\_\_\_\_\_時間\_\_\_\_\_分程度

☐ 1人 (→Q31へ)      ☐ 複数人 (→Q30へ)

1日 時間 分程度

図8 アンケート調査（6/6）



図 9 活動量計の装着図

ト構成は、基本事項、ウォーキング RPE、ウォーキングに対する満足度、ウォーキングに誰と参加したか、当日の健康状態、日常の身体活動の 6 項目としたが、本研究に使用する質問は、基本事項と当日の健康状態、日常の身体活動の 3 項目である。基本事項の質問は、生年月日と年齢、身長、体重を記入する方式とし、性別は当てはまるもの 1 つに○を付けてもらった。当日の健康状態に関する質問は、前日の就寝時刻と当日の起床時刻を記入する方式とした。また、当日の朝食に関する質問は当てはまるもの 1 つにチェックを付けてもらい、「はい」にチェックを付けた人により当日の朝食で摂取した炭水化物の量を添付した画像と比較してもらい、添付した画像を 100%として、15 段階（0 %から 150%）で当てはまる欄に×を付けて回答する方式とした。日常の身体活動の質問は、国際標準化身体活動質問票（IPAQ）に基づき、1 週間で強い身体活動を行った日数と時間、1 週間で中等度の身体活動を行った時間と日数、1 週間で 10 分以上続けての歩行を行った日数と時間を記入する方式とした。

結果を示すにあたり、東山荘の地点を a、総合リハビリセンター駅の地点を b、ゴール地点を c とする。また、スタート地点 a 間は平地、bc 間は上り坂である。

## アンケート内容

基本事項を明らかにするため、生年月日と年齢、身長、体重を記入する方式とし、性別は当てはまるもの 1 つに○を付けてもらった。以下に、各質問項目の説明を示す。Q11、前日の就寝時刻と当日の起床時刻を明らかにするため、数字を記入する方式で尋ねた。Q12 から Q14、当日の健康状態を確認する事で外れ値の確認を行うために設けた。朝食で炭水化物を食べたかを明らかにするため、朝食を食べたか、朝食で炭水化物を食べたかについて当てはまるものにチェックを付けてもらい、炭水化物を食べた量は、添付した画像を 100%として自身が食べた炭水化物の量を 15 段階（0 %から 150%）で評価する

方式で尋ねた。Q15、Q16、1週間で強い身体活動行ったかとその状況を明らかにするため、1週間で強い身体活動を行った日数、強い身体活動を行った日の強い身体活動を行った時間を記入する方式で尋ねた。Q19、Q20、1週間で中等度の身体活動を行ったかとその状況を明らかにするため、1週間で中等度の身体活動を行った日数、中等度の身体活動を行った日の中等度の身体活動を行った時間を記入する方式で尋ねた。Q23、Q24、1週間で10分以上続けて歩行したかとその状況を明らかにするため、1週間で10分以上続けて歩行した日数、10分以上続けて歩行した日の10分以上続けて歩行した時間を記入する方式で尋ねた。Q1からQ10、Q17、Q18、Q21、Q22、Q25からQ27は本研究の解析には用いていないため、詳細な記述は割愛する。

## 統計解析

平地を歩行している時と上り坂を歩行しているときの身体活動強度の差を確認するためにFriedmanの順位符号検定を用いて解析した。日常の身体活動量と上り坂での身体活動強度の変化、日常の身体活動強度と上り坂での身体活動強度の変化の相関関係を確認するためにSpearmanの順位相関係数を使用した。また、日常の身体活動強度と上り坂での身体活動強度の変化の相対関係確認のため、Spearmanの順位相関係数を使用した。有意水準は0.05未満とした。全ての統計解析はSPSSソフトウェア（version25.0、SPSS、東京、日本）を利用した。

## 結果

スタート地点a間からbc間までの身体活動強度が低下したのは33名中25名で、身体活動強度は有意に低下した（ $p<0.05$ ）（図10）。日常生活での身体活動量と上り坂で身体活動強度が低下するかどうかには有意な差は見られなかった（ $p>0.05$ ）（図11）。1週間当たりに高い身体活動を行った時間とスタート

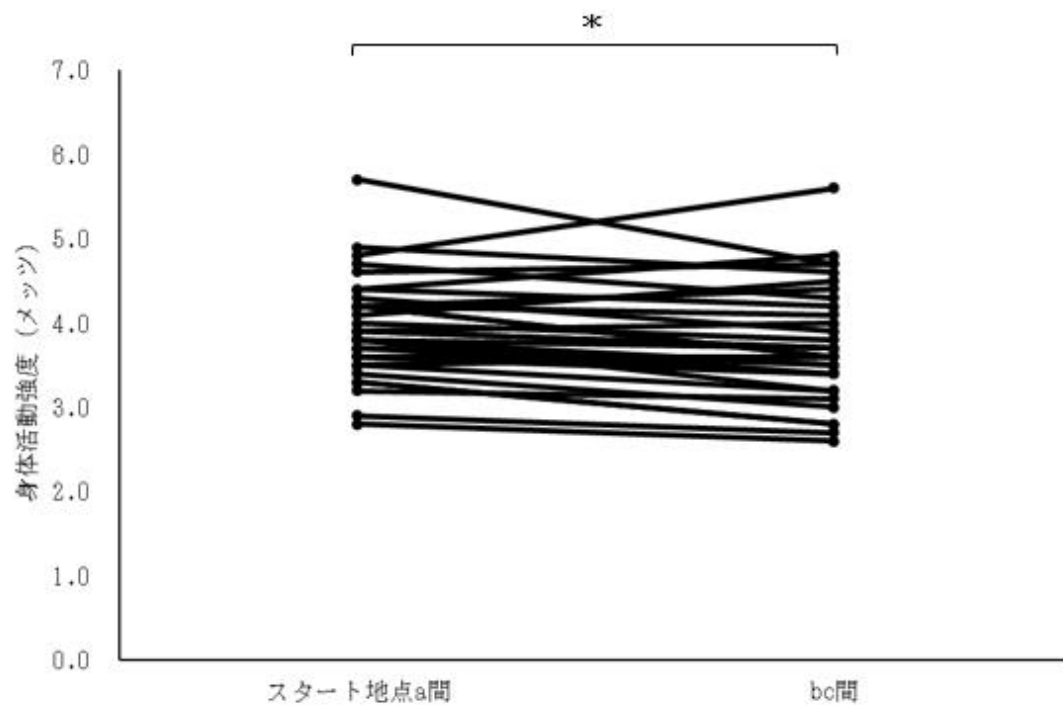


図 10 スタート地点 a 間から bc 間までの身体活動強度の変化

\* :  $p < 0.05$



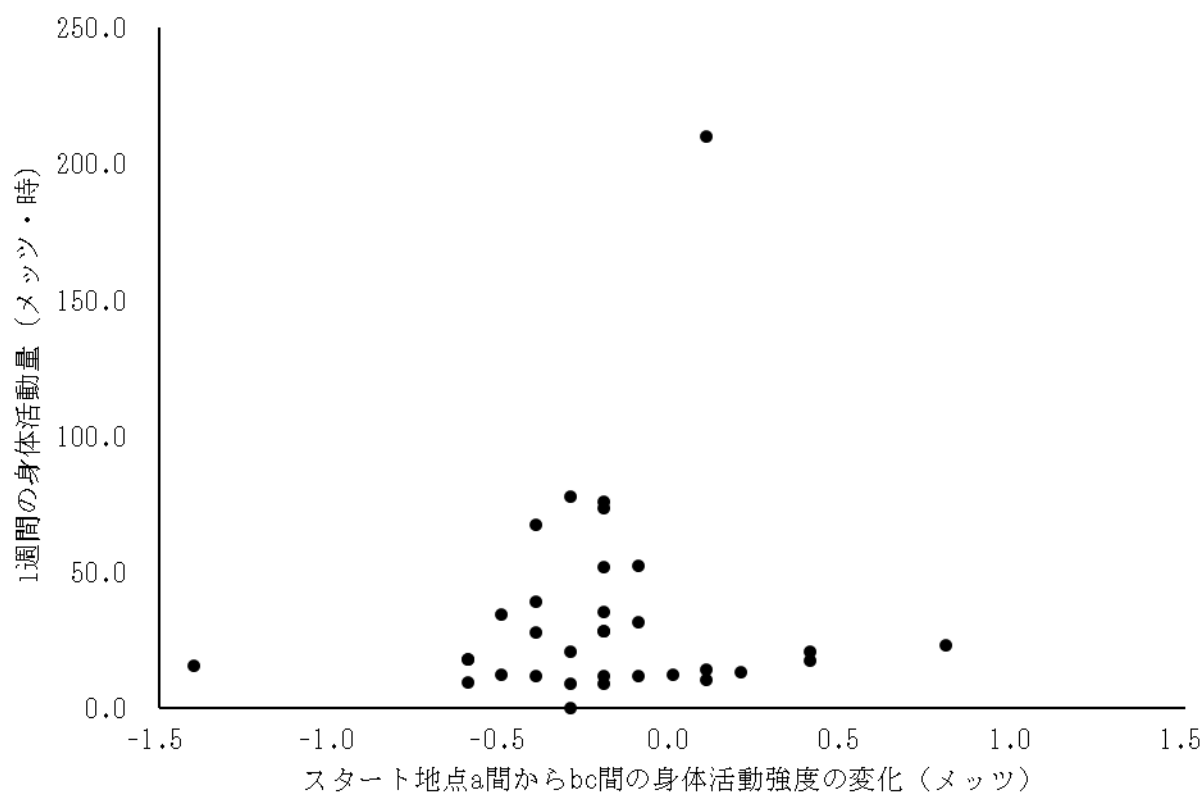


図 11 1 週間の身体活動量とスタート地点 a 間から bc 間の身体活動量の身体活動強度

地点 a 間から bc 間までの身体活動強度の変化に有意な相関関係は見られなかった ( $p>0.05$ ) (図 12)。

1 週間当たりに中等度の身体活動を行った時間とスタート地点 a 間から bc 間までの身体活動強度の変化に有意な相関関係は見られなかった ( $p>0.05$ ) (図 13)。1 週間当たりに 1 回に 10 分以上続けて歩行を行った時間とスタート地点 a 間から bc 間までの身体活動強度の変化に有意な相関関係は見られなかった ( $p=0.836>0.05$ ) (図 14)。

## 考察

本研究では、日常の身体活動が運動中の身体活動強度に及ぼす影響について検討した。その結果、

1) 上り坂の歩行は平地の歩行よりも身体活動強度が低下すること、2) 日常生活で十分な身体活動量があるかどうかと上り坂で身体活動強度が低下するかどうかに有意な相関関係は見られないこと、3) 日常生活で行っている身体活動の強度と上り坂で身体活動強度が低下するかどうかに有意な相関関係は見られないこと、が明らかになった。これらの結果は、一部の仮説を支持している。

1) 上り坂の歩行は平地の歩行よりも身体活動強度が低下することが明らかになった。したがって、仮説は支持された。なお、本研究に使用した活動量計に搭載されている 3 軸加速度計は、傾斜歩行の負荷を過小評価する傾向があり、上り坂の歩行での身体活動強度が十分に反映されない可能性があることが指摘されている (Terrier et al. 2001)。しかし、本研究では身体活動強度の増減による相対的な評価を行うため、考察を行うことに大きな支障はないと考えられる。上り坂の歩行で身体活動強度が低下したことについて、自己選択速度での歩行は、傾斜が増すと無意識のうちに歩行速度を低下させ、RPE を調節することや (Eisenberger et al. 2022)、上り坂の歩行ではストライド長やケイデンス、歩行速度が有意に低下することが報告されていることから (Ferraro et al. 2013)、本研究は歩行速度が自己

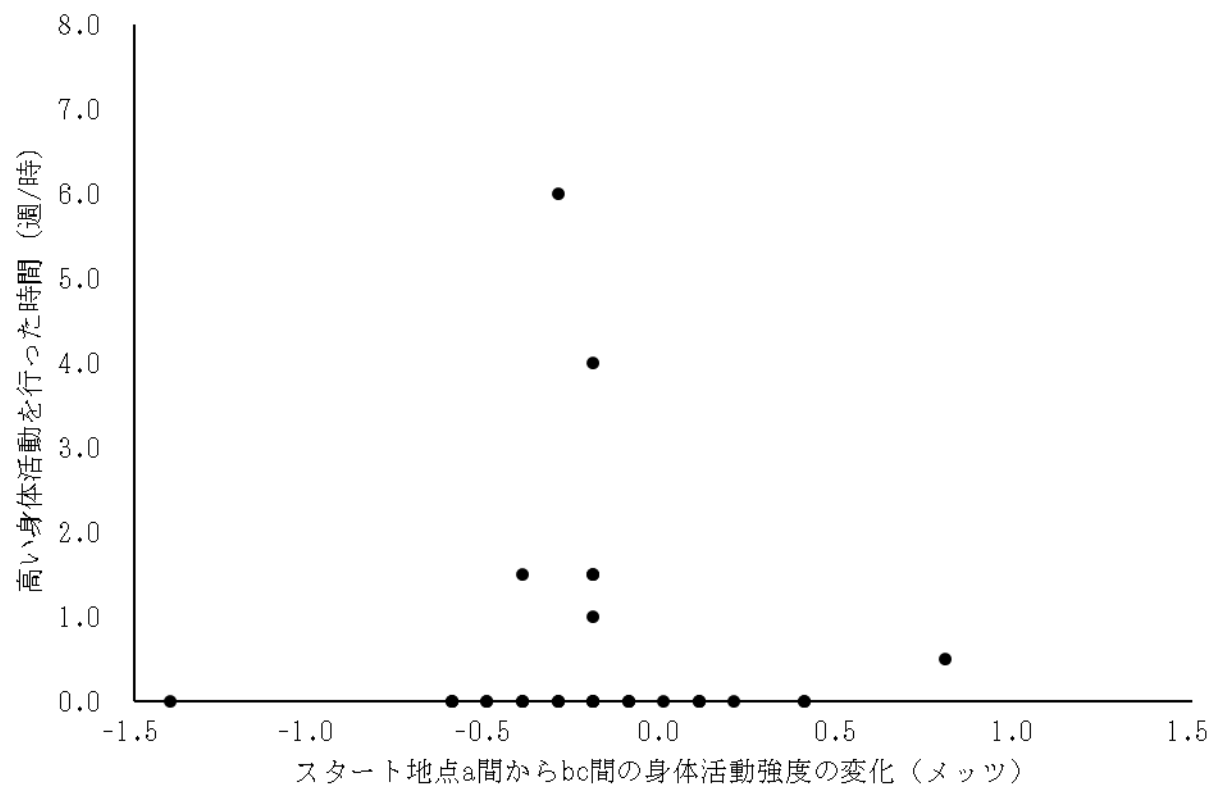


図 12 1 週間あたりに高い身体活動を行った時間とスタート地点 a 間から bc 間までの身体活動強度  
の変化

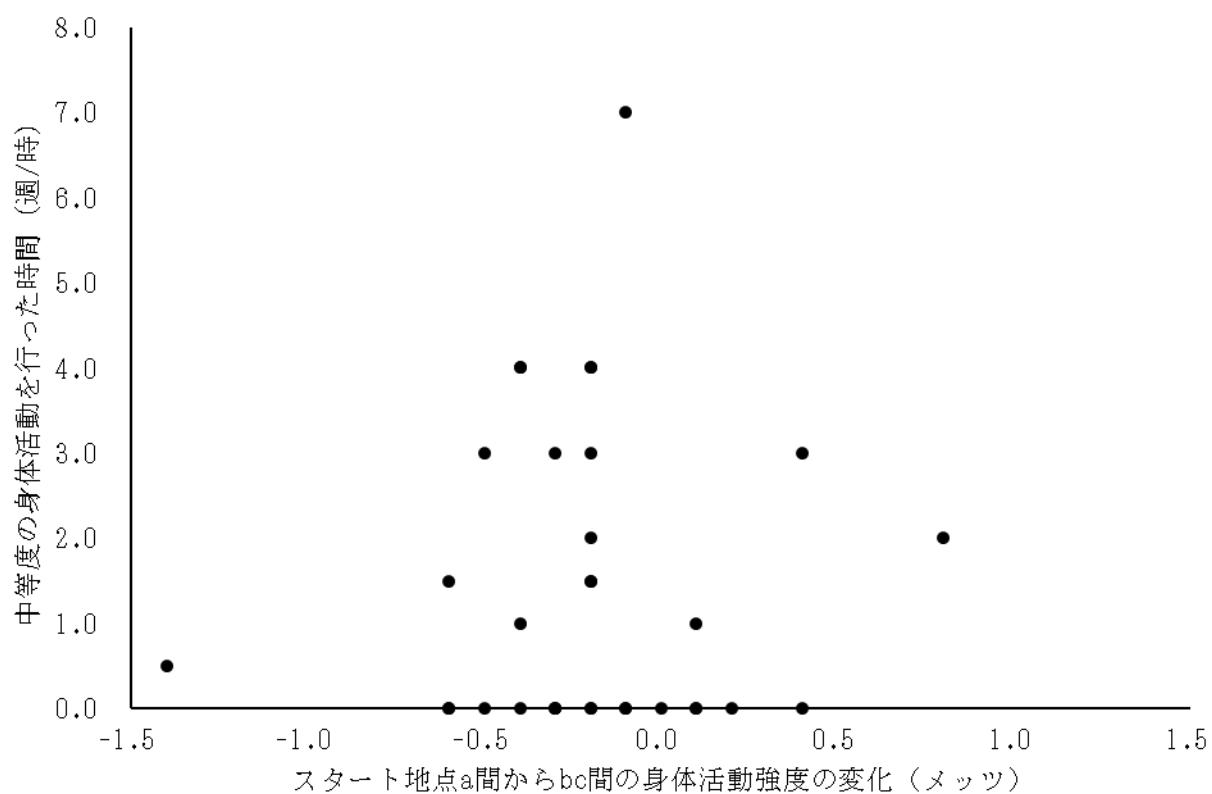


図 13 1 週間あたりに中等度の身体活動を行った時間とスタート地点 a 間から bc 間までの身体活動強度の変化

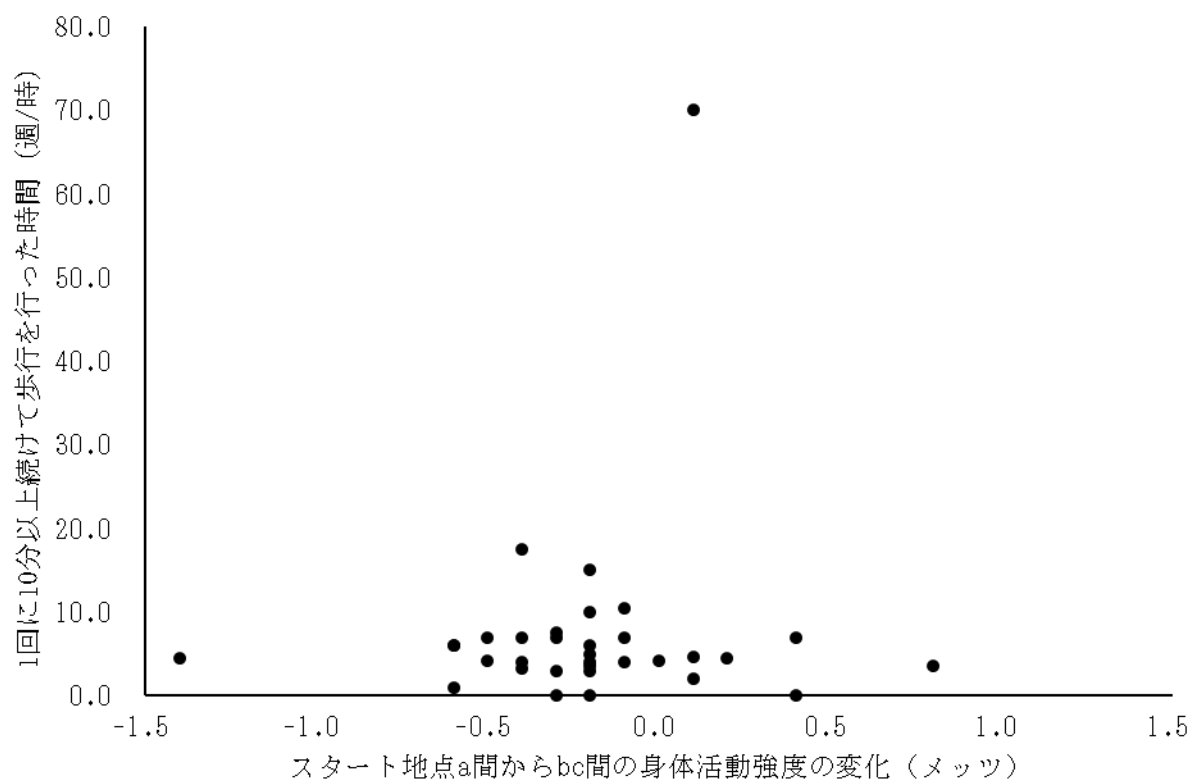


図 14 1 週間あたりに 1 回に 10 分以上続けて歩行を行った時間とスタート地点 a 間から bc 間までの  
身体活動強度

選択だったため、被験者が無意識のうちに歩行速度を低下させたことにより身体活動強度が低下したと考えられる。そのため、上り坂の歩行を中高年および高齢者の運動として実施際には、自己選択速度での歩行ではなく、トレッドミルの歩行などの設定速度での歩行が適していると言える。

2) 日常生活の身体活動量と上り坂で身体活動強度が低下するかどうかには有意な相関関係は見られないことが明らかになった。したがって、仮説は支持されなかった。日常生活での身体活動量が多い人ほど  $VO_2MAX$  が高い傾向にあり (Dyrstad et al. 2016)、運動に対する心肺持久力が高まることが報告されていることから (Kulinski et al. 2014)、日常生活での身体活動量が多い人ほど強度の高い身体活動を維持しやすい身体状態であることが考えられる。一方で、自己選択速度での歩行は、傾斜が増すと無意識のうちに歩行速度を低下させ、RPE を調節することが報告されている (Eisenberger et al. 2022)。このことから、身体活動を維持しやすい身体状態にある被験者であっても、上り坂の歩行で RPE を調節しようとする反応が働き、身体活動強度が低下したことが考えられる。さらに、上り坂の歩行で RPE を調節しようとする反応の個人差によって、身体活動強度の変化にばらつきが生じたと考えられる。また、上り坂の歩行では平地の歩行と比較して、下肢の筋力が求められるため (Bradford et al. 2015)、下肢の筋力が発達している被験者ほど、上り坂で身体活動強度が低下せず、身体活動強度の変化にばらつきが生じたと考えられる。本研究において、日常生活の身体活動量と上り坂の身体活動強度の変化に有意な相関関係は見られなかったことは、日常生活の身体活動量が多い中高年および高齢者であっても、必ずしも強度の高い身体活動を維持出来るとは限らないことを示唆している。したがって、中高年および高齢者に対して運動指導を提案、実施する際には、日常生活の身体活動量が多いことを過信しないことが必要であると考えられる。

3) 日常生活で行っている身体活動の強度と上り坂で身体活動強度が低下するかどうかには有意な相関関係は見られないことが明らかになった。したがって、仮説は支持されなかった。中等度から高強度の運動を行う習慣のある人ほど、運動強度に対する不快感への耐性が高く (Flack et al. 2017)、この耐性が高い人ほど、高強度の運動中に強度を維持しやすいことが報告されている (Ekkekakis et al. 2007)。一方で、自己選択速度での歩行は、傾斜が増すと無意識のうちに歩行速度を低下させ、RPEを調節することが報告されている (Eisenberger et al. 2022)。このことから、運動強度に対する不快感への耐性が高い被験者であっても、上り坂の歩行で RPE を調節しようとする反応が働き、身体活動強度が低下したことが考えられる。また、高強度の身体活動は、筋力やパワーの向上を示すが、持久力や敏捷性に有意に影響を与えないことや (Wang et al. 2023)、傾斜歩行の長期トレーニングは歩行速度や持久力を改善することが報告されている (Alemu et al. 2025)。このことから、日常生活で高い身体活動強度の運動を行っている被験者よりも、日常生活で上り坂を歩行する機会が多い被験者ほど、上り坂の歩行に適応しており、RPE を調節しようとする反応が弱く、上り坂の歩行で身体活動強度が低下しなかったことにより、身体活動強度の変化にばらつきが生じたと考えられる。本研究において、日常生活で行っている身体活動の強度と上り坂の身体活動強度の変化に有意な相関関係は見られなかったことは、日常生活で高い強度の身体活動を行っていたとしても、特定の運動に適応することにはならないことを示唆している。したがって、中高年および高齢者に対して運動指導を提案、実施する際には、特定の運動に対する能力を考慮する必要があると考えられる。

以上3つのことから、中高年および高齢者の運動指導を提案、実施する際には、日常生活の身体活動のみから対象者の特性を評価することには限界があるため、多角的な視点から対象者の特性を評価する

ことが重要だと考えられる。また、中高年および高齢者の運動指導で上り坂の歩行を実施する場合、歩行速度の低下を防ぐために設定速度での歩行を検討する必要がある。さらに上り坂の歩行を実施する際、同時に下肢の筋力トレーニングを実施することで歩行速度の向上が期待され (Ohta et al. 2017)、より効果的な運動指導に繋がることが考えられる。

本研究の限界や課題として、3軸加速度計を搭載した活動量計のみで上り坂の身体活動強度を評価したため、身体活動強度を正確に評価することが出来なかった点が挙げられる。今後の研究では、身体活動強度の計測に活動量計のみではなく、心拍数センサーなどを用いることで、より正確な身体活動の評価を行うことが重要である。

## 結論

本研究では、中高年および高齢者における平地の歩行と上り坂の歩行の身体活動量の変化と、日常生活の身体活動と同じ運動を実施したときの身体活動強度にどのような関係について検討した。本研究によって、上り坂の歩行は平地の歩行よりも身体活動強度が優位に低下すること、日常生活の身体活動量と上り坂の歩行で身体活動強度が低下するかどうかには有意な相関関係は見られないこと、日常生活で行っている身体活動の強度と上り坂で身体活動強度が低下するかどうかには有意な相関関係は見られないことが明らかになった。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、渡邊航平教授には指導教員として多大なるご指導とご支援をいただきました。



心より感謝申し上げます。また、本実験にご参加いただいた皆様、そしてご協力いただいた渡邊研究室の皆様にも深く感謝いたします。

## 参考文献

- Alemu Y, Tadesse T, Birhanu Z. The effects of uphill training on the maximal velocity and performance of middle-distance runners: a randomized controlled trial. Sci Rep. 2025 Jul 2;15(1):22709.
- Bradford JC, Lukos JR, Ferris DP. Electro cortical activity distinguishes between uphill and level walking in humans. J Neurophysiol. 2016 Feb 1;115(2):958-66.
- Dyrstad SM, Anderssen SA, Edvardsen E, Hansen BH. Cardiorespiratory fitness in groups with different physical activity levels. Scand J Med Sci Sports. 2016 Mar;26(3):291-8.
- Eisenberger L, Mayr B, Beck M, Venek V, Kranzinger C, Menzl A, Jahn I, Sareban M, Oberhoffer-Fritz R, Niebauer J, Böhm B. Assessment of Exercise Intensity for Uphill Walking in Healthy Adults Performed Indoors and Outdoors. Int J Environ Res Public Health. 2022 Dec 12;19(24):16662.
- Ekkekakis P, Lind, Hall EE, Petruzzello SJ. Can self-reported tolerance of exercise intensity play a role in exercise testing? Med Sci Sports Exerc. 2007 Jul;39(7):1193-9.
- Ferraro RA, Pinto-Zipp G, Simpkins S, Clark M. Effects of an inclined walking surface and balance abilities on spatiotemporal gait parameters of older adults. J Geriatr Phys Ther. 2013 Jan-Mar;36(1):31-8.

- Flack KD, Johnson L, Roemmich JN. Aerobic and resistance exercise reinforcement and discomfort tolerance predict meeting activity guidelines. *Physiol Behav.* 2017 Mar 1;170:32-36.
- Haight DJ, Lerner ZF, Board WJ, Browning RC. A comparison of slow, uphill and fast, level walking on lower extremity biomechanics and tibiofemoral joint loading in obese and nonobese adults. *J Orthop Res.* 2014 Feb;32(2):324-30.
- Kilgour AHM, Rutherford M, Higson J, Meredith SJ, McNiff J, Mitchell S, Wijayendran A, Lim SER, Shenkin SD. Barriers and motivators to undertaking physical activity in adults over 70—a systematic review of the quantitative literature. *Age Ageing.* 2024 Apr 1;53(4):afae080.
- Kulinski JP, Khera A, Ayers CR, Das SR, de Lemos JA, Blair SN, Berry JD. Association between cardiorespiratory fitness and accelerometer-derived physical activity and sedentary time in the general population. *Mayo Clin Proc.* 2014 Aug;89(8):1063-71.
- Looney DP, Santee WR, Hansen EO, Bonventre PJ, Chalmers CR, Potter AW. Estimating Energy Expenditure during Level, Uphill, and Downhill Walking. *Med Sci Sports Exerc.* 2019 Sep;51(9):1954-1960.
- Ohta J, Seki M, Ao M, Okajima R, Kuwabara A, Takaoka H, Aoyama K, Tanaka K. Comparison of lower leg muscle strength and grip strength for diagnosing slower gait speed in the elderly. *Osteoporos Sarcopenia.* 2017 Sep;3(3):128-131.
- Wang X, Soh KG, Samsudin S, Deng N, Liu X, Zhao Y, Akbar S. Effects of high-intensity functional training on physical fitness and sport-specific performance among the athletes: A

systematic review with meta-analysis. PLoS One. 2023 Dec 8;18(12):e0295531.

- ・総務省統計局、統計からみた我が国の高齢者

<https://www.stat.go.jp/data/topics/pdf/topics142.pdf>、2024

- ・厚生労働省、令和5年度介護保険事業状況報告

[https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/23/dl/r05\\_point.pdf](https://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/23/dl/r05_point.pdf)、2024

- ・厚生労働省、健康づくりのための身体活動・運動ガイド2023

<https://www.mhlw.go.jp/content/001194020.pdf>、2023

異なる筋長条件下における神経筋電気刺激トレーニングが  
血管機能に及ぼす影響

J522010

江間ふうな

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：現在日本では高齢化が進行しており、高齢者においても筋力トレーニングの重要性が高まっている。2023 年改訂の「健康づくりのための身体活動・運動ガイド」では、高齢者にも週 2～3 日の筋力トレーニングが推奨されているが、高強度トレーニングは心血管系リスクを伴う可能性がある。近年、低強度で速筋線維を刺激可能な神経筋電気刺激トレーニングが注目されている一方、家庭用 NMES は出力が低く効果に限界がある。筋長の違いはトレーニング効果や血管反応に影響することが報告されており、本研究では、筋長の異なる条件下での神経筋電気刺激トレーニングが筋機能および血管機能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

方法：健康な高齢者 46 名を対象に、筋長の短い座位群および筋長の長い立位群に分け、6 週間の神経筋電気刺激トレーニングを実施した。0 週、3 週、6 週で筋厚、足趾屈曲筋力、足関節底屈筋力、血圧を測定し、群間および時間の経過で比較した。

結果：両群とも介入後に筋力の有意な増加がみられたが、群間に差はみられなかった。筋厚は有意な変化がみられなかった。血圧は座位群において有意に低下し、立位群では有意な変化はみられなかった。

考察：本研究では、神経筋電気刺激トレーニングにおいて筋長の違いが筋機能および血管機能に影響を及ぼす可能性が示唆された。筋機能に差が認められなかった要因として、筋長差が先行研究と比較して小さかったことや介入期間が短かったことが考えられる。一方、座位群では血流増加による血圧低下が生じやすい可能性が示され、神経筋電気刺激トレーニングにおける筋長の設定が血圧変化に関与する可能性が示唆された。

結論：神経筋電気刺激トレーニングは筋長の違いに関わらず筋力が向上したが、血圧変化に関しては座位群でのみ血圧低下がみられた。本研究の結果は、筋長が長く心血管系への負荷が高くなりやすい立位群においても、NMES を用いることで心血管系へのリスクを抑制しながらトレーニング効果を得られる可能性を示唆する。

## 背景

現在、日本では高齢化が進行しており、高齢化率は 29.3%に達している(内閣府 2025)。2070 年には 2.6 人に 1 人が 65 歳以上、4 人に 1 人が 75 歳以上になると予測されており、今後も高齢者人口は増加する見込みである(内閣府 2025)。高齢者には 3 メッツ以上の身体活動を週 15 メッツ・時以上行うことが推奨されており、これを行う高齢者は、身体活動をほとんど行わない高齢者と比べて総死亡及び心血管疾患死亡のリスクが約 30%程度低下すると報告されている(健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023)。また有酸素運動だけでなく筋力トレーニングやバランス運動など多要素な運動の実施が重要とされている(健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023)。そこで厚生労働省は 2023 年に健康づくりのための身体活動・運動ガイド高齢者版の基準に筋力トレーニングを週 2～3 日行うことを追加した(厚生労働省 2023)。

しかし筋力トレーニングは心血管系にリスクをもたらす場合がある。高強度の筋力トレーニング習慣がある中高年男性では非トレーニング群と比較して動脈コンプライアンスが約 30%低下し、動脈ステイフネスの増大および左心室肥大がみられた(Miyachi et al. 2002)。心血管疾患予防としては有酸素運動が広く知られているが、低強度および中強度の筋力トレーニングにおいても血圧低下や脈波伝播速度(PWV)の減少がみられることが報告されている(Figueroa et al. 2018)。

筋肉は速筋線維と遅筋線維で構成されており、このうち速筋線維は加齢に伴う減少が著しいとされている(Ladora 1994)。速筋線維は筋力やパワー発揮に大きく関与しており、減少することにより歩行能力の低下や転倒リスクの増大に関与するという観点からも高齢者にとって重要な筋線維である(Larsson et al. 2018)。しかし速筋線維を鍛えるためには一般的に高強度の筋力トレーニングが必要とされており

(Fry 2012)、高齢者にとっては運動技術の習得や身体的負担の観点から自身での継続が難しいとされている (Fragala et al. 2019)。そこで近年では筋力トレーニングの代替として NMES を使用した神経筋電気刺激トレーニング (NeuroMuscular Electrical Stimulation, NMES) が注目されている。神経筋電気刺激トレーニングは低強度で速筋線維に刺激ができ (Natsume et al. 2018)、手軽に実施できるトレーニング方法である。もともとは医療現場で使用されてきたが、近年では家庭用 NMES 機器も普及している。しかし医療用 NMES が 60~100mA なのに対し家庭用 NMES は 4.85mA と出力が小さいため (Watanabe et al. 2017)、家庭用 NMES 機器での神経筋電気刺激トレーニングには限界があるといえる。そこで本研究では筋長に違いをもたらすことでトレーニング効果を増強できる可能性に注目した。先行研究では、筋長が長い状態でのトレーニングの方が短い状態よりも筋肥大がおこることが報告されている (Kinoshita et al. 2023)。そこで本研究では、神経筋電気刺激トレーニングにおいても筋長の違いによるトレーニング効果の違いがあるのかについて検討する。

さらに NMES は筋力トレーニング効果のみならず、心血管系へも影響を与える。大腿上部、下部、足首への低強度 NMES では足首拡張期血圧と平均血圧が低下し、動脈硬化に対して有酸素運動と同等の急性的な効果があると報告されている (Oda et al. 2022)。また大腿四頭筋、腓腹筋への神経筋電気刺激群と自転車エルゴメーターでの有酸素運動群の 6 週間の介入実験において両者とも血管の柔軟性が有意に増加したことが報告されている (Deftereios et al. 2010)。NMES は心血管系への影響として、従来心血管疾患予防運動とされてきた有酸素運動と同等の効果があるといえる。

筋長の違いによる心血管状態では、長い状態でのトレーニングの方が短い状態よりも血圧が上昇し、内在的負荷がかかっていることが報告されている (Mizuno et al. 2010)。しかし神経筋電気刺激トレーニング

グにおける筋長の違いによる心血管系への影響は明らかにされていない。

本研究の目的は効果が限定的であろう家庭用 NMES 機器において筋長を長くすることでトレーニング効果をあげられる可能性があるが、このようなトレーニング効果の増強による血管機能に対する影響を検討することである。そこで神経筋電気刺激トレーニングでは心血管系リスクを軽減させ、心血管系リスクが高まる可能性のある筋長の長い状態での運動においても心血管系リスクを抑えられると仮説を立てた。

## 方法

### 研究対象者

健康な高齢男性 22 名 (年齢  $74.1 \pm 4.4$  歳、身長  $165.4 \pm 7.2$  cm、体重  $65.4 \pm 8.4$  kg)、高齢女性 24 名 (年齢  $71.2 \pm 6.3$  歳、身長  $153.8 \pm 4.9$  cm、体重  $50.8 \pm 7.3$  kg) が本研究に参加した。研究対象者は研究の目的や参加に伴うリスクについて詳細な説明を受けた後、実験を行った。

### 実験デザイン

研究対象者は合計 4 回実験室 (中京大学豊田キャンパス 17 号館 1 階スポーツ工学実験室) に訪れた。1 回目訪問では超音波診断装置を用いた腓腹筋とヒラメ筋の筋厚測定、等尺性足趾屈曲筋力測定装置を用いた片足足趾筋力 MVC の測定、研究室自作装置を用いた片足足関節底屈筋力 MVC の測定を行った。1 回目訪問時のデータをもとに、Footfit を用いて座位でトレーニングする群 ( $n=23$ )、立位でトレーニングする群 ( $n=23$ ) に研究対象者を振り分けた。その後 2 回目の訪問で筋厚測定、片足足趾屈曲筋力 MVC の測定、片足足関節底屈筋力 MVC の測定に加え、全自動 PWV/ABI 分析装置を用いた血管機能の測定を行った。2 回



目訪問の後、研究対象者に6週間のトレーニング介入を継続させた。2回目訪問から3週間後の3回目訪問、6週間後の4回目訪問では2回目訪問と同様の測定を行い、筋長の違うトレーニング介入が血管機能に及ぼす影響を評価した。訪問の12時間前からカフェイン、アルコールの摂取を控え、2時間前までに食事を済ませた。

#### 神経筋電気刺激トレーニング介入

本研究ではFootfit(家庭用電気刺激装置 Sixpad Footfit3, MTG)を用いて1日15分を週6日、6週間継続して行った。強度は25段階で設定可能であり、座位にて調整を行った。下腿三頭筋が収縮した際に足関節が底屈位に動くまで強度をあげ、痛みを感じない範囲で可能な限り高い強度に設定した。決定した強度は自宅での記録表に記入し、6週間の実施期間中に被験者が刺激に慣れてきた場合には、徐々に強度を増加させるように指導した。

座位群では、膝を軽度伸展( $160^{\circ}$ )した状態で壁に発泡スチロールブロック( $18\text{cm} \times 36\text{cm} \times 8.5\text{cm}$ )を固定し、Footfitを傾けて足関節を底屈位に保持した状態で電気刺激を実施した(図1)。立位群では、壁に発泡スチロールを固定してFootfitを傾け、その上に立つようにした。壁に手をついてバランスを保持しながら、足関節が背屈位となるようにし座位にて設定した強度で電気刺激を実施した(図2)。参加者全員が神経筋電気刺激トレーニング介入を完遂した。

#### 腓腹筋およびヒラメ筋の筋厚測定

超音波診断装置(LOGIQ e; GE Medical systems Co., Ltd Made in China)を用いて測定した。参加者は裸足で自然立位姿勢をとり、膝を自然伸展位とした状態で測定した。脛骨内側顆および踵骨隆起を触診により確認し、両点間をメジャーで直線的に結びその距離を測定した。この線上でふくらはぎが最も膨



図1 神経筋電気刺激トレーニング座位群姿勢



図 2 神経筋電気刺激トレーニング立位群姿勢

隆している部位を特定し、その部位を測定点として皮膚上にマークした(図 3)。測定点に超音波プローブを皮膚に対して垂直に軽く接触させ(図 4)、横断像を 5 枚取得し ImageJ を用いて長さを計測した(図 5)。

ImageJ では腓腹筋およびヒラメ筋の長さを 1 メモリの長さで割ることで筋厚を算出した(図 6)

#### 片足足趾筋力 MVC の測定

等尺性足趾屈曲筋力測定装置(竹井機器製)(Kojima et al. Phys Ther Res 2021, 24:272-279)を用いて右足で測定した。参加者は股関節および膝関節がそれぞれ 90° になるように座り、足趾の第 1 関節が測定装置のバーに軽く接触し、足趾で掴める位置でベルトを固定した(図 7)。測定位置は記録し、毎回同一位置で測定できるようにした。上肢は自然に下した状態で足趾屈曲するように指示し、MVC を測定した。

#### 片足足関節底屈筋力 MVC の測定

研究室自作装置(Watanabe et al J Biomech 2022, 145:111380)を用いて右足で測定した。参加者は股関節および膝関節がそれぞれ 90° になるように座り、測定足の膝および踵が張力センサ(KYOWA Made in JAPAN)の真下に位置するように調整した。座面や足台の高さを板やプレートで調整しながら測定足が動かないように固定した(図 8)。使用した板やプレートの枚数を記録し毎回同一条件で行った。参加者は前方の支持棒を両手で握り、張力センサで測定した。センサで得られた電位を測定用アンプ(図 9)によって力に変換し、足関節底屈筋力 MVC を測定した。

#### 心血管系機能

平均動脈圧(MBP)は全自動 PWV/ABI 分析装置 (HBP-8000 OMRON 京都 日本)を用いて測定した(図 10)。仰臥位で最低 5 分は安静をとってから測定を行った。四肢カフを両上腕および両下腿にそれぞれ巻き、カフの内圧を調整することで上腕および後脛骨動脈圧を測定した。

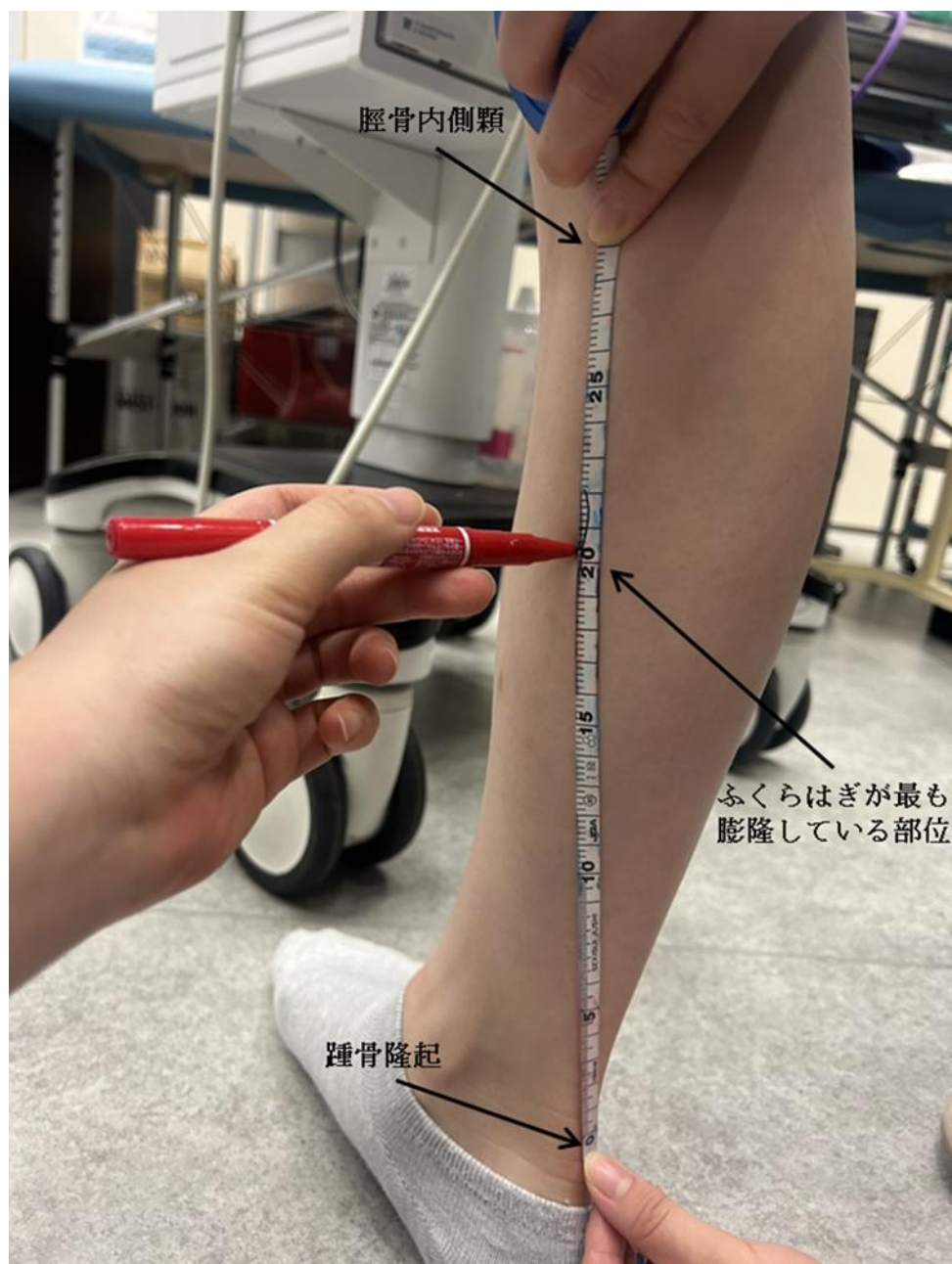


図3 筋厚測定点





図4 超音波プローブのあて方

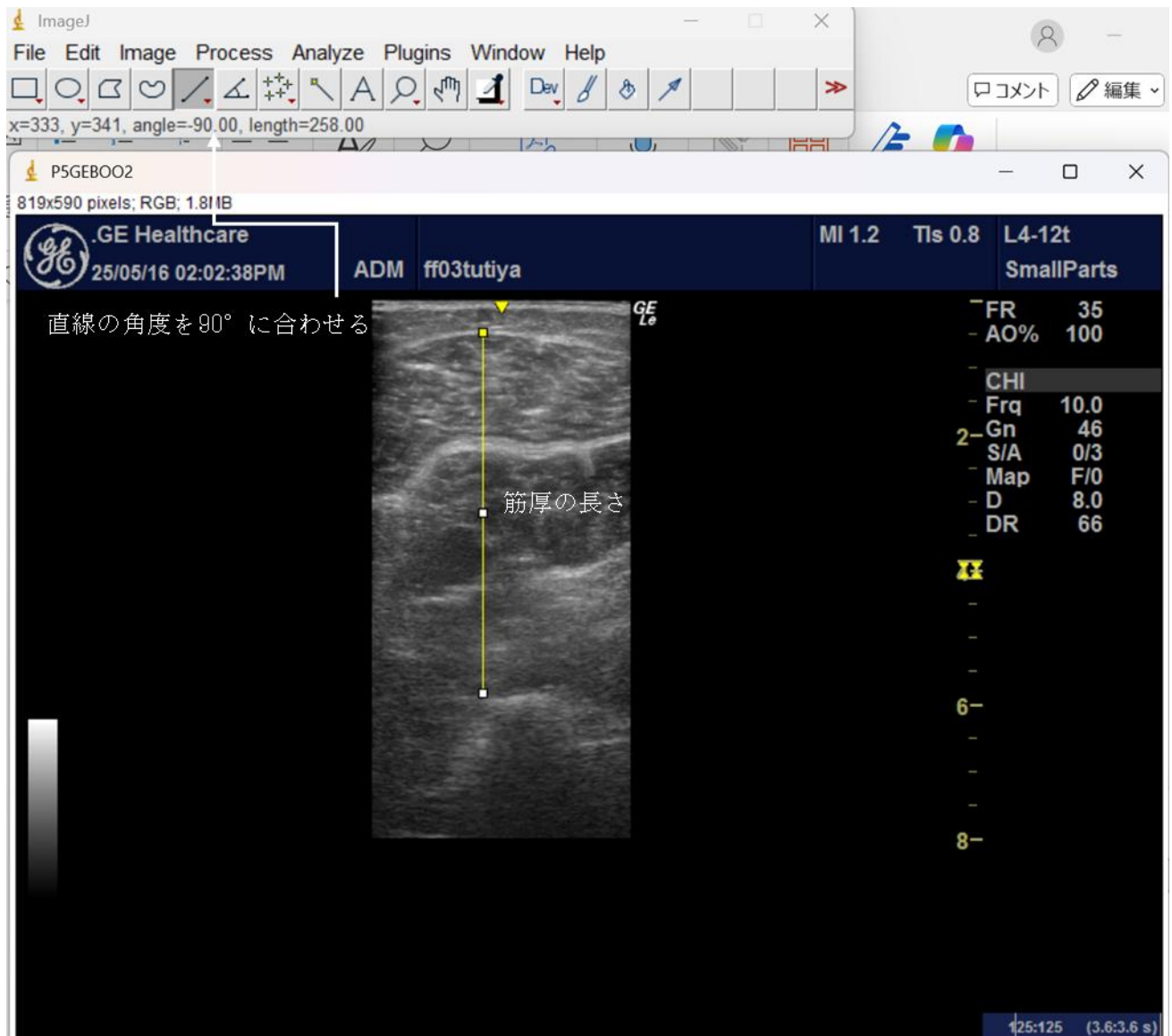


図 5 超音波画像長さ計測の方法

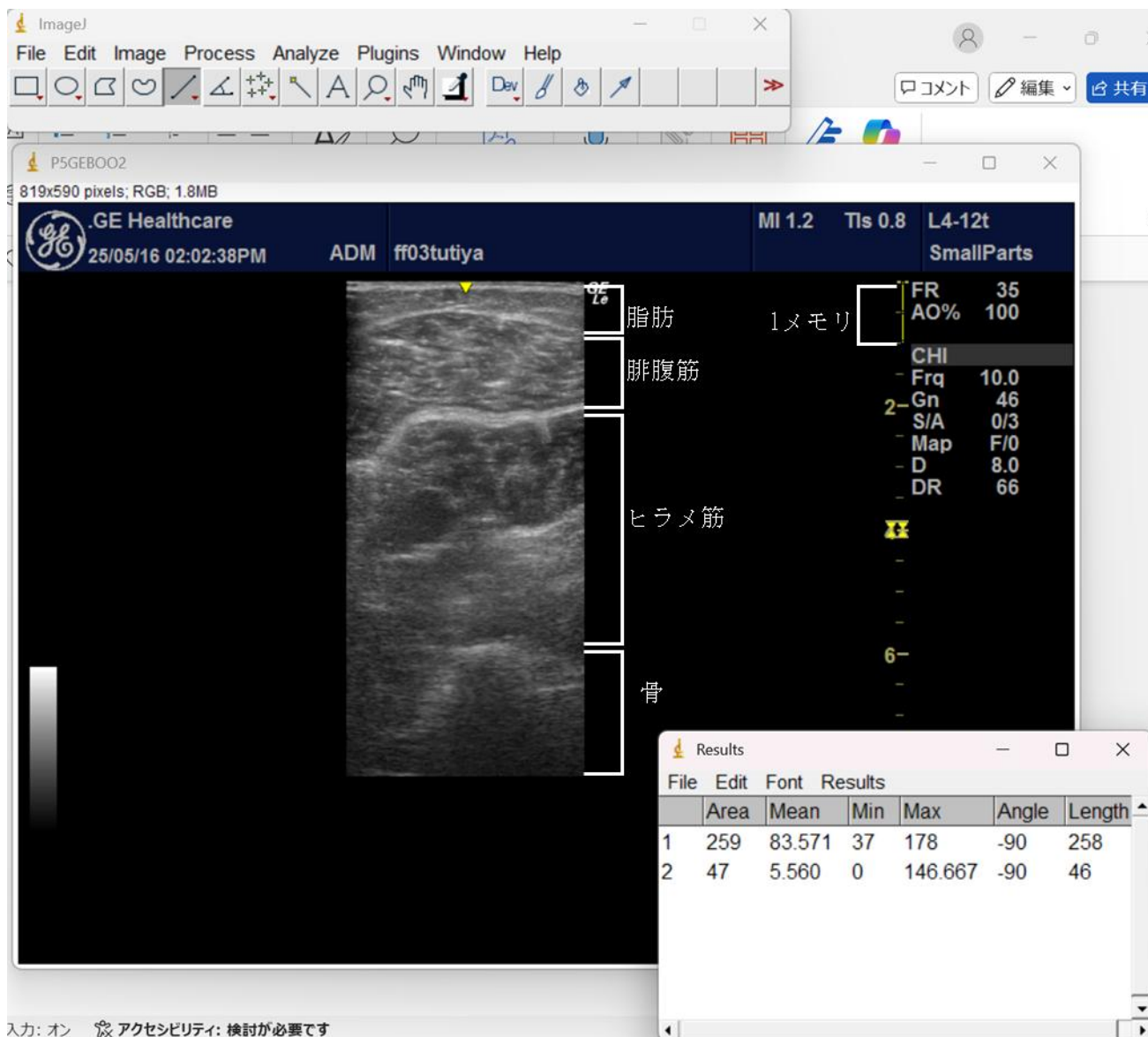


図 6 超音波画像と長さの出し方





図 7 片足足趾筋力測定



図8 片足足関節底屈筋力測定





図 9 測定用アンプ



図 10 全自動 PWV/ABI 分析装置

## 筋長の算出

神経筋電気刺激トレーニング実施時における筋長を定量化するため、反射マーカールを用いた静止画像解析を行った。対象筋は、足関節底屈筋群であるヒラメ筋、腓腹筋、長趾屈筋、短趾屈筋とした。各筋の起始および停止部位に反射マーカールを貼付し、筋長を変化させた条件下で側方から写真撮影を行った。撮影条件は、それぞれの足関節における最大背屈位、最大底屈位、座位群のトレーニング姿勢、立位群のトレーニング姿勢とした(図 11～図 16)。さらに先行研究(Noorikoiv et al. 2015)との比較を目的として、膝関節角度により大腿四頭筋の筋長を変化させた条件下でも写真撮影を行った。先行研究(Noorikoiv et al. 2015)より、膝完全伸展角度を  $0^{\circ}$  とした。座位姿勢において膝関節角度を  $0^{\circ}$ 、 $40^{\circ}$ 、 $87.5^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$  に設定し(図 17～図 20)、大腿四頭筋の起始から停止までの距離を測定することで筋長を算出した。算出された筋長は、各筋における最大筋長および最小筋長を基準として正規化し、最大筋長に対する割合(%)として相対筋長を算出した。

## 統計解析

結果は平均値±標準偏差で示す。統計解析は SPSS ソフトウェア(version 25 ;SPSS、東京、日本)を用いて実施した。ノンパラメトリック検定を用い、0 週、3 週、6 週の 3 つの時間における比較には Freedman 検定を、座位群および立位群の 2 群間比較には Man-Whitney-U 検定を用いて解析した。有意水準は 0.05 未満とした。

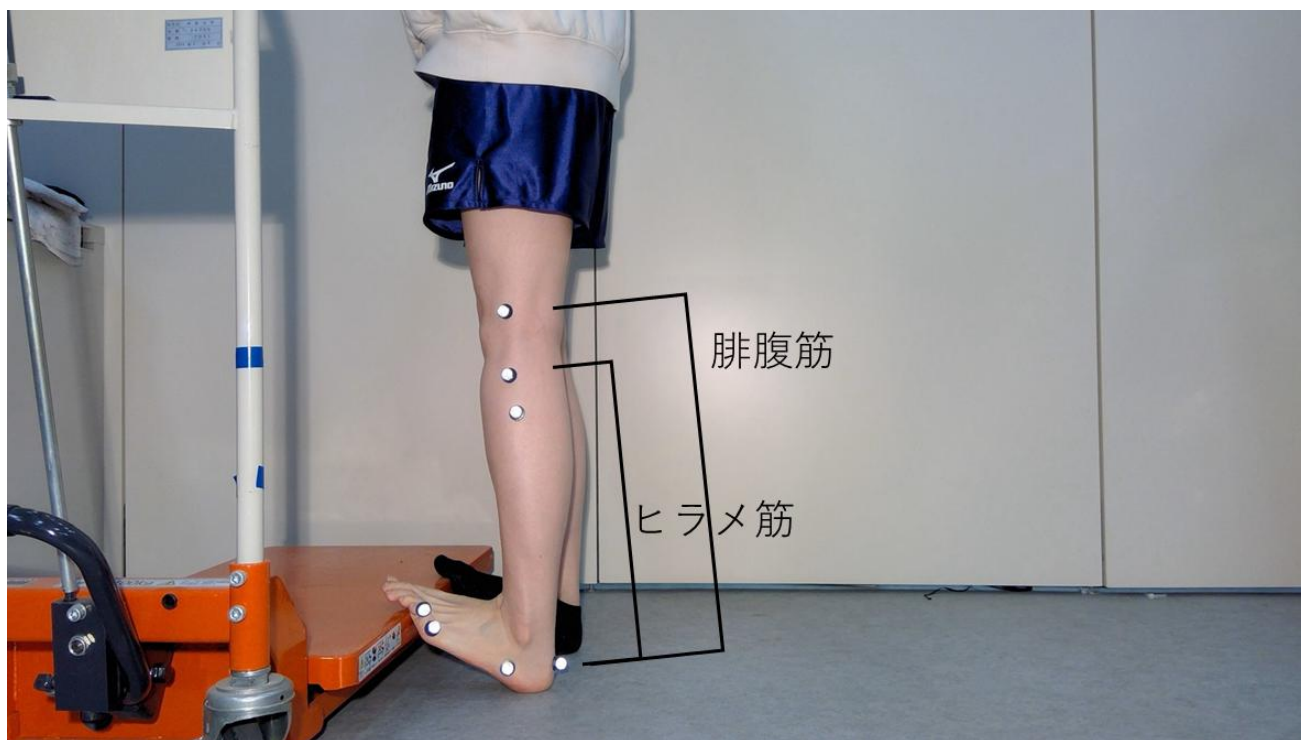


図 11 腓腹筋およびヒラメ筋の最大筋長姿勢

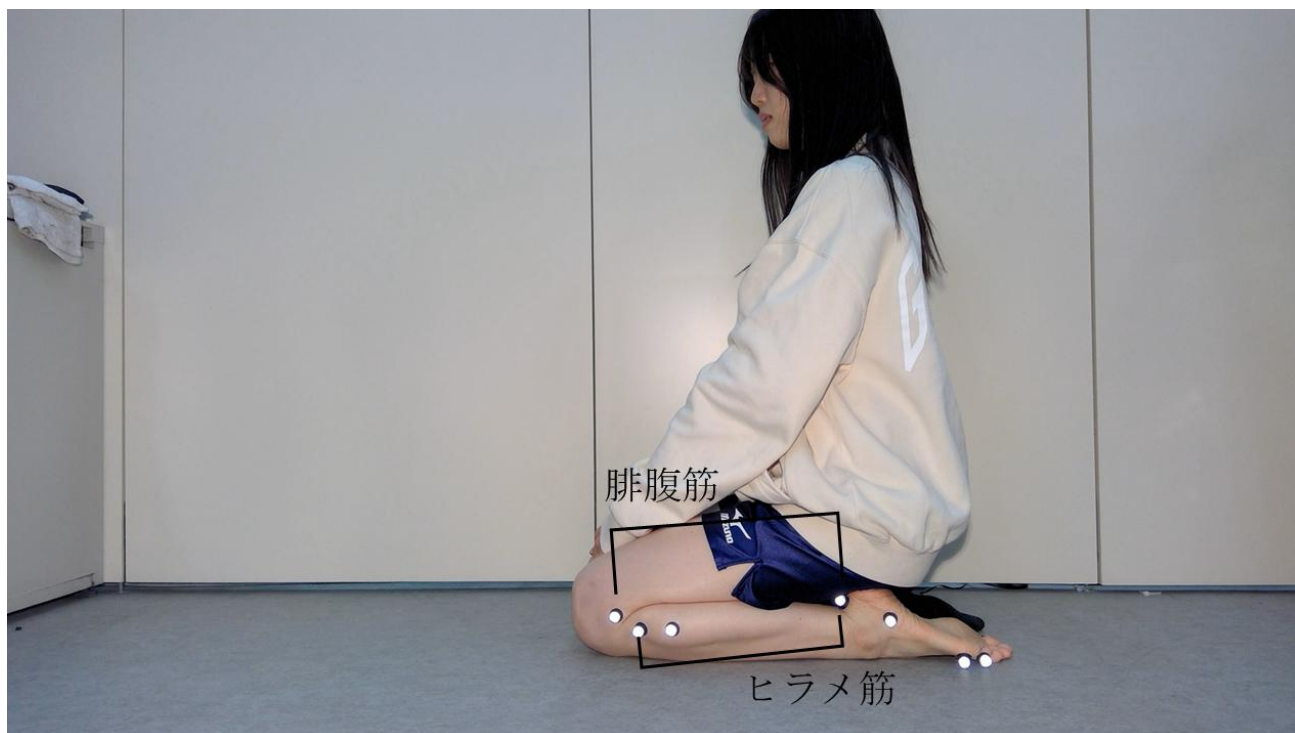


図 12 腓腹筋およびヒラメ筋の最小筋長姿勢





図 13 長趾屈筋および短趾屈筋の最大筋長姿勢





図 14 長趾屈筋および短趾屈筋の最小筋長姿勢

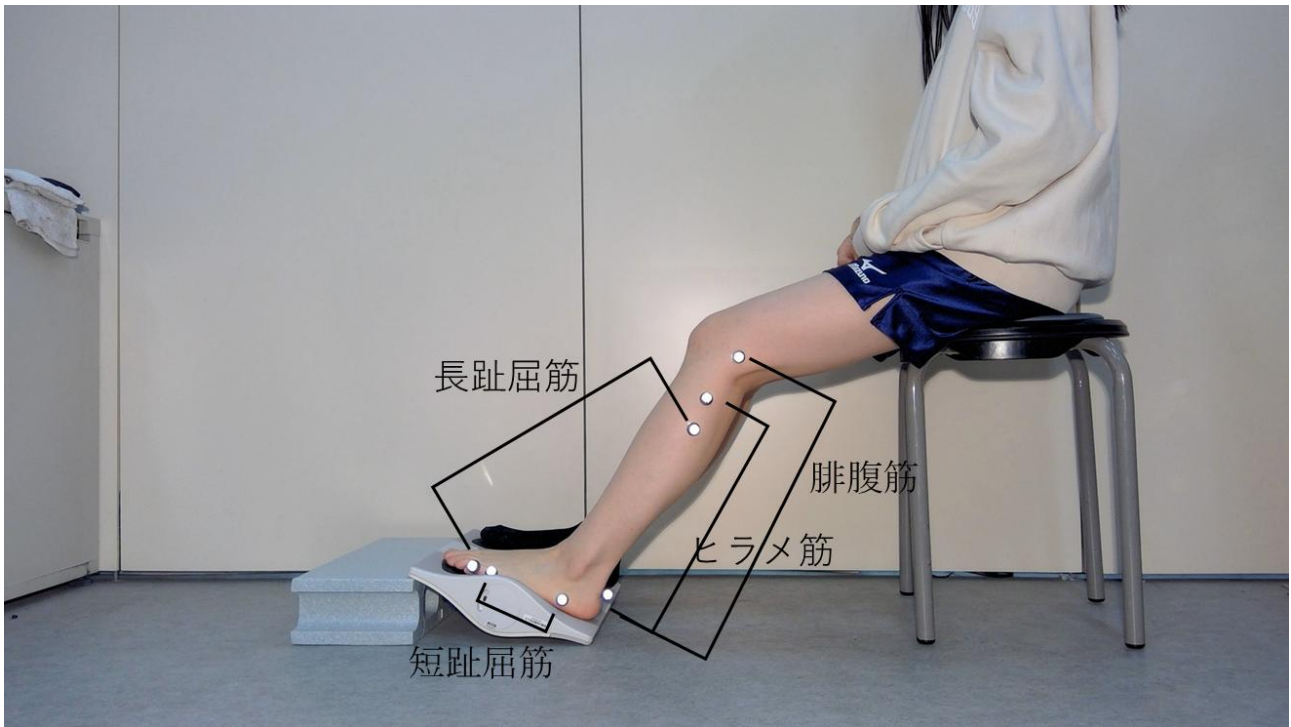


図 15 神経筋電気刺激トレーニングの座位群姿勢

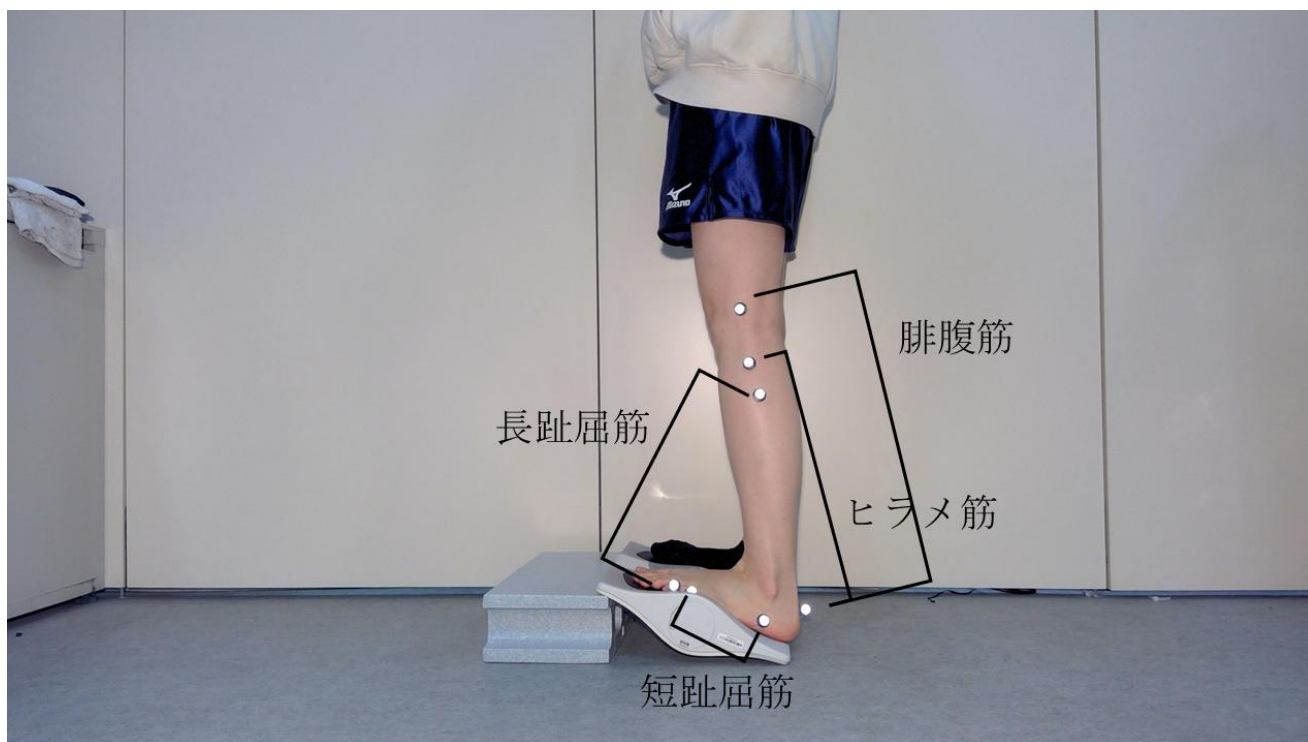


図 16 神経筋電気刺激トレーニングの立位群姿勢



図 17 膝関節角度  $0^{\circ}$  (大腿四頭筋の最小筋長姿勢)



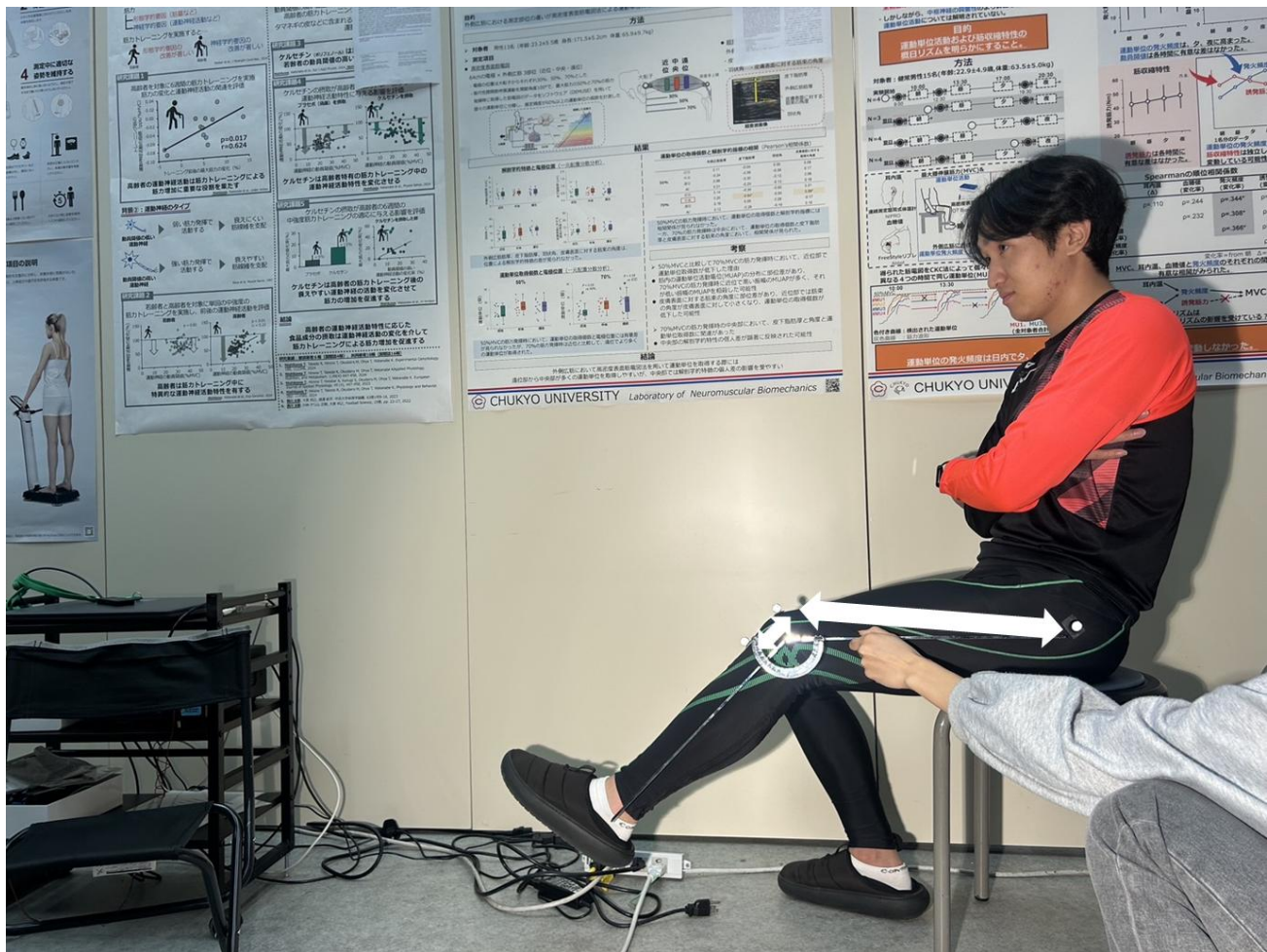


図 18 膝関節角度  $40^{\circ}$



図 19 膝関節角度  $87.5^{\circ}$





図 20 膝関節角度 180° (大腿四頭筋の最小筋長姿勢)

## 結果

### 筋厚の変化

座位群および立位群のいずれにおいても、介入前後で筋厚に有意な変化は認められなかった(座位群： $p=0.918$ 、立位群： $p=0.688$ ) (図 21、図 22)。

### 片足足趾屈曲筋力の変化

座位群では、0 週から 3 週 ( $p=0.025$ )、0 週から 6 週 ( $p<0.001$ )、および 3 週から 6 週 ( $p=0.016$ ) において、いずれも足趾屈曲筋力が有意に増加した。立位群では、0 週から 3 週 ( $p=0.175$ ) では有意差はなかったが、0 週から 6 週 ( $p<0.001$ ) および 3 週から 6 週 ( $p=0.004$ ) において有意に増加した (図 23、図 24)。

### 片足足関節底屈筋力の変化

座位群では、0 週から 3 週 ( $p=0.161$ ) では有意差はなかったが、3 から 6 週 ( $p=0.022$ )、および 0 週から 6 週 ( $p<0.001$ ) では足関節底屈筋力が有意に増加した。立位群では、0 週から 3 週 ( $p=0.274$ ) では有意差はなかったが、3 週から 6 週 ( $p=0.029$ ) および 0 週から 6 週 ( $p=0.01$ ) において有意に増加した (図 25、図 26)。

### 腕収縮期血圧の変化

座位群では、0 週から 3 週 ( $p=0.185$ ) および 3 週から 6 週 ( $p=0.077$ ) では有意差はなかったが、0 週から 6 週において腕収縮期血圧の有意に低下した ( $p=0.002$ )。立位群では、有意差がみられなかった ( $p=0.867$ ) (図 27、図 28)。

### 腕拡張期血圧の変化



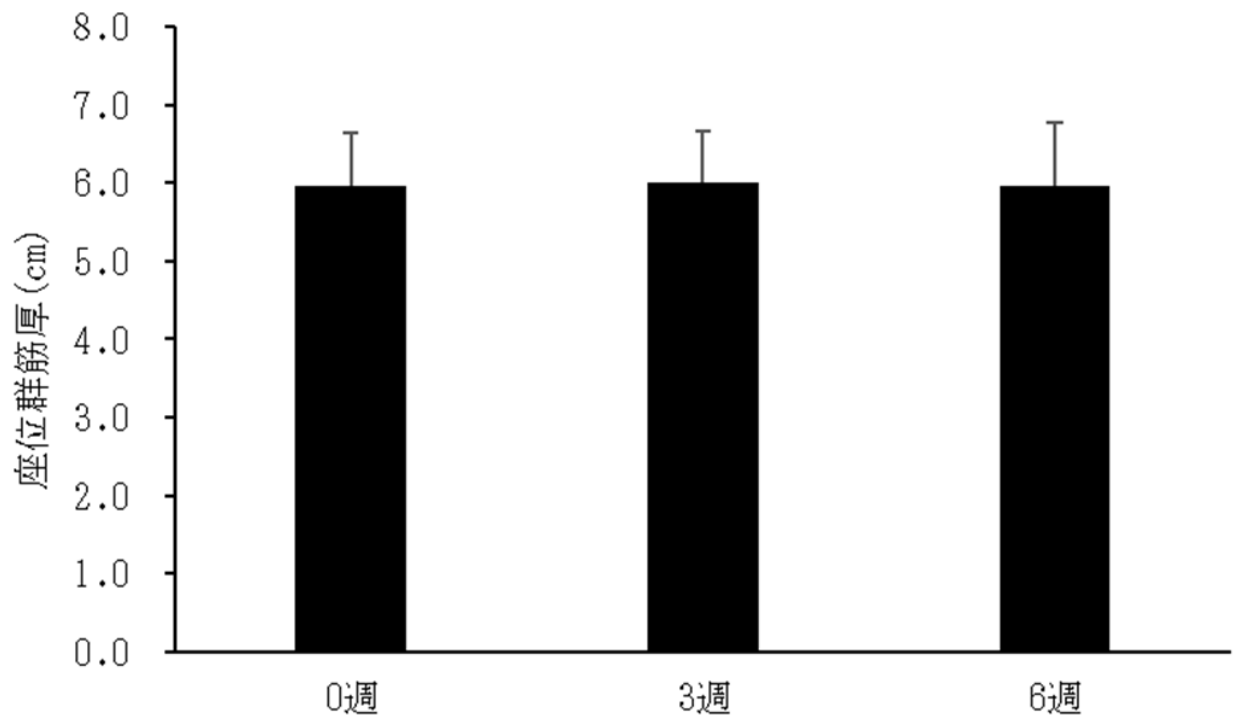


図 21 座位群の筋厚の変化

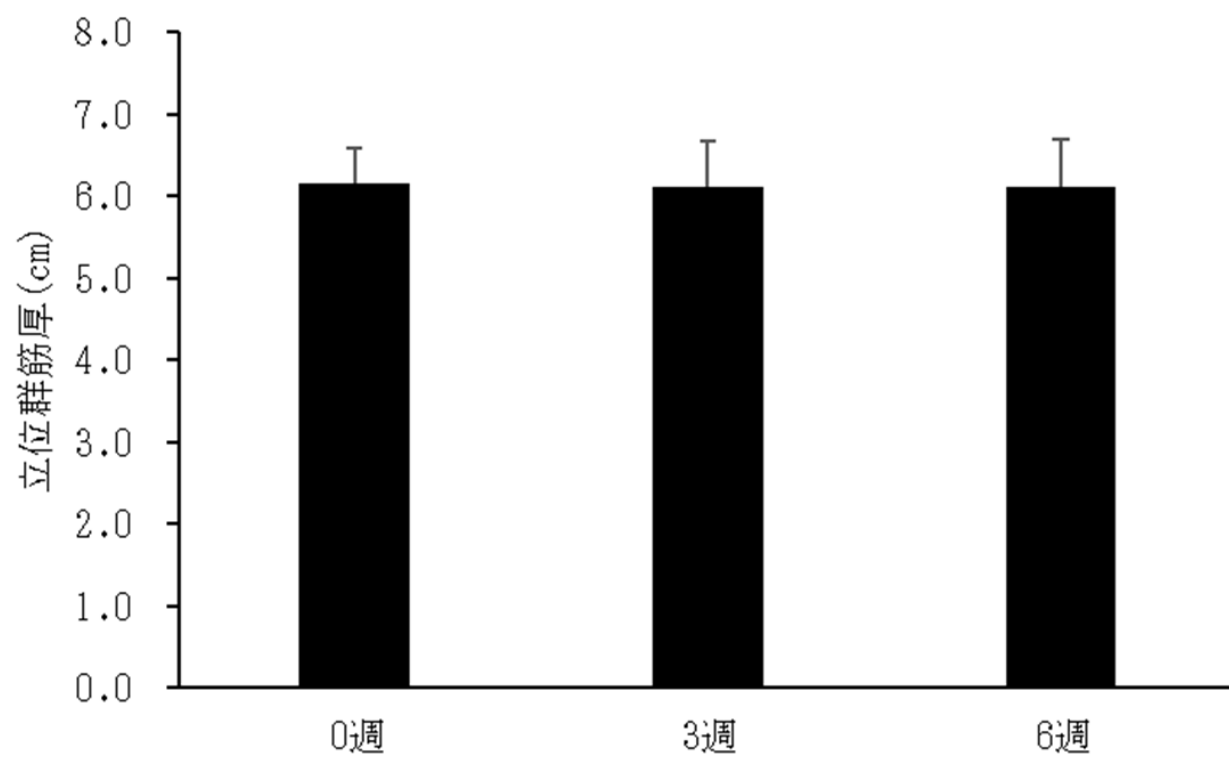


図 22 立位群の筋厚の変化

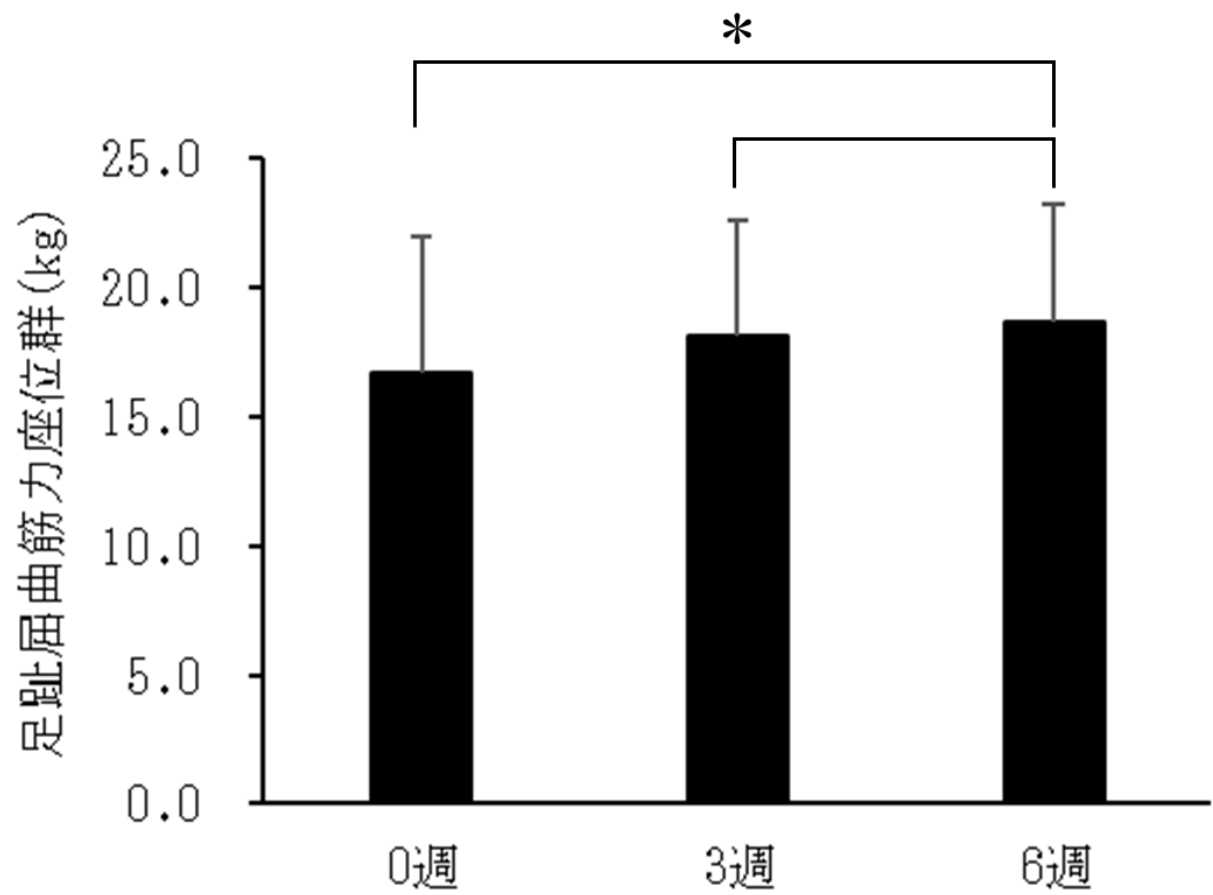


図 23 座位群の足趾屈曲筋力の変化 \*  $p < 0.05$

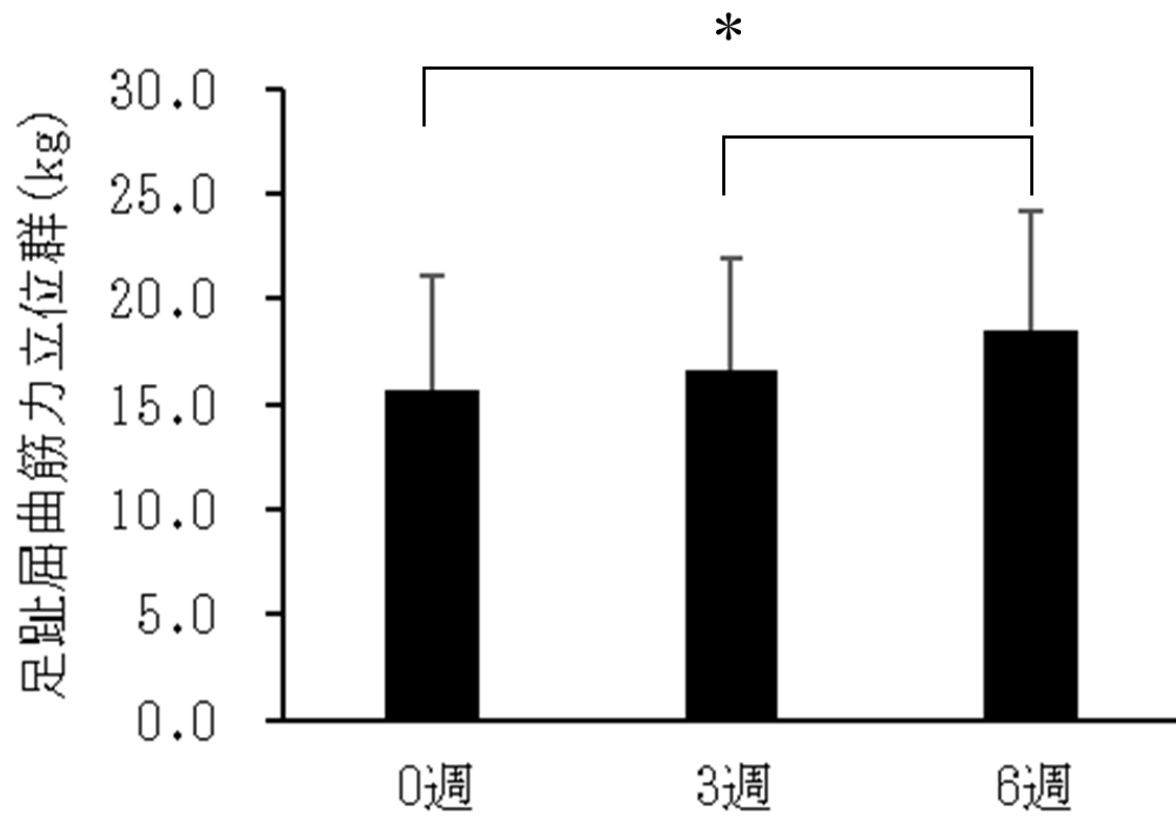


図 24 立位群の足趾屈曲筋力の変化 \*  $p < 0.05$

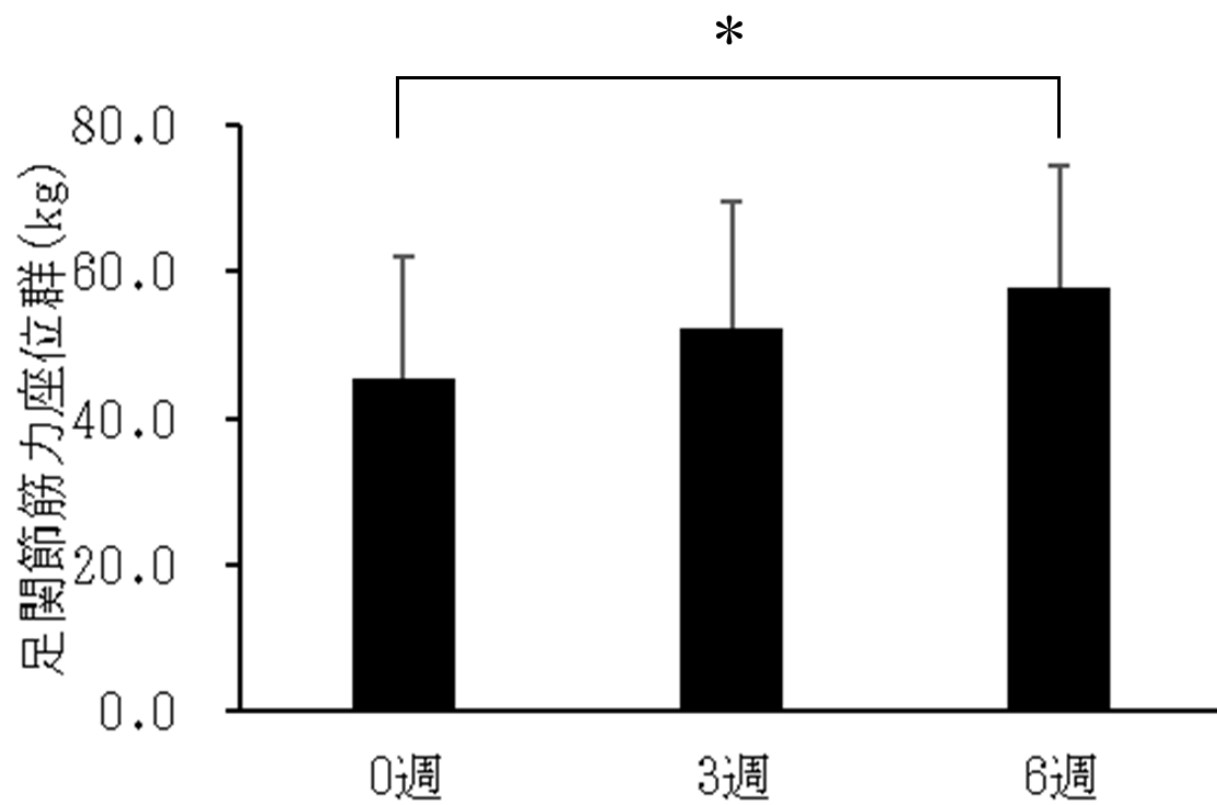


図 25 座位群の足関節筋力の変化 \*  $p < 0.05$

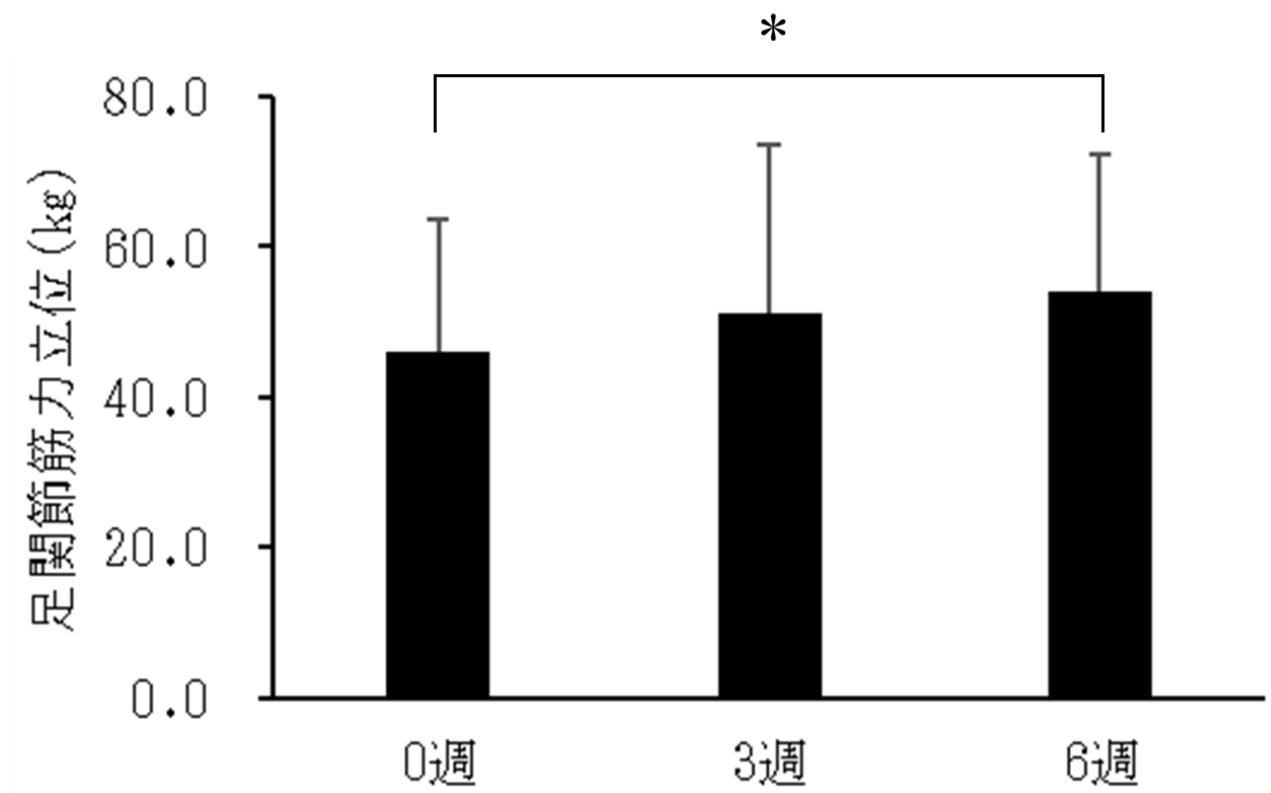


図 26 立位群の足関節筋力の変化 \*  $p < 0.05$

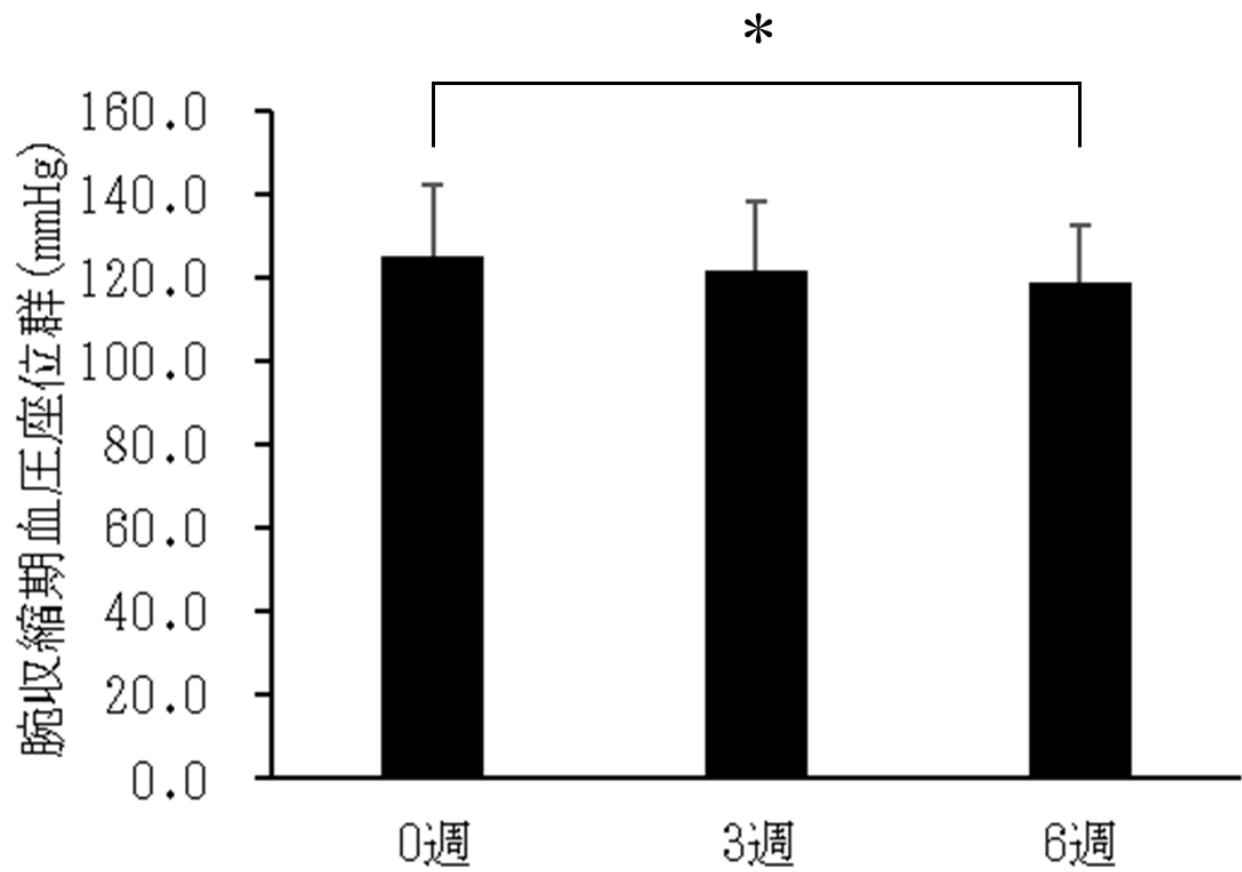


図 27 座位群の収縮期血圧の変化 \*  $p < 0.05$

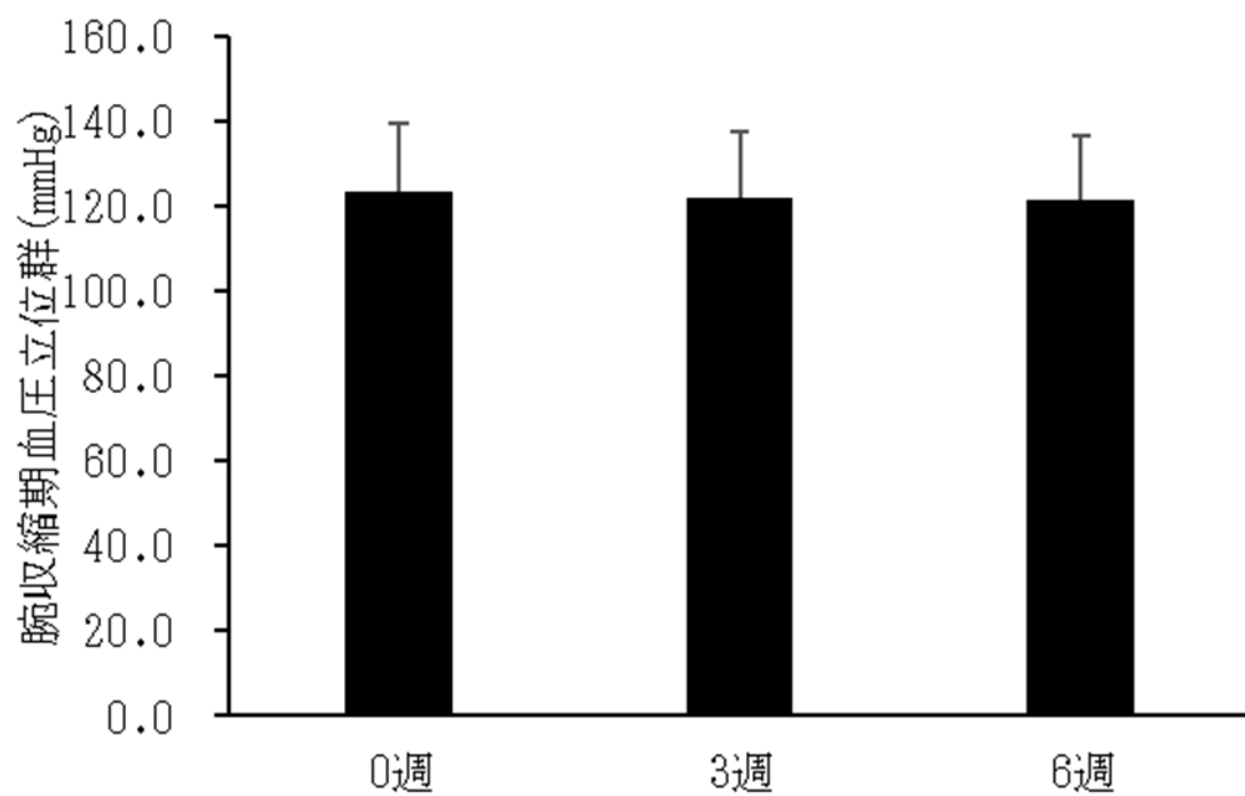


図 28 立位群の腕収縮期血圧の変化



座位群では、3 週から 6 週 ( $p=0.941$ ) では有意差はなかったが、0 週から 3 週 ( $p=0.003$ ) および 0 週から 6 週 ( $p=0.003$ ) において、腕拡張期血圧の有意な低下が認められた。立位群では、有意差がみられなかった ( $p=0.364$ ) (図 29、図 30)。

#### 足収縮期血圧の変化

座位群では 0 週から 3 週 ( $p=0.14$ ) で有意差はなかったが、0 週から 6 週 ( $p<0.001$ ) および 3 週から 6 週 ( $p=0.033$ ) において、足収縮期血圧が有意に低下した。立位群では、有意差がみられなかった ( $p=0.39$ ) (図 31、図 32)。

#### 足拡張期血圧の変化

座位群では、0 週から 3 週 ( $p=0.14$ ) では有意差はなかったが、0 週から 6 週 ( $p<0.001$ ) および 3 週から 6 週 ( $p=0.033$ ) において、足拡張期血圧が有意に低下した。立位群では、有意差がみられなかった ( $p=0.39$ ) (図 33、図 34)。

#### 筋長の相対値

各筋の筋長は、最小筋長を 0%、最大筋長を 100%として正規化し、筋長の相対値 (%) として算出した。ヒラメ筋の筋長相対値は、座位群で 21.6%、立位群で 49.0%であり両群間の差は 27.4%であった。腓腹筋では、座位群で 34.3%、立位群で 57.8%となりその差は 23.5%であった。一方、長趾屈筋では、座位群で -21.0%、立位群で -10.7%となり差は 10.3%であった。短趾屈筋では座位群で -27.5%、立位群で -9.1%となり差は 18.4%であった。また、先行研究 (Noorkoiv et al. 2015) における膝関節角度の変化による大腿四頭筋の筋長相対値は、膝角度  $40^{\circ}$  で 30.0%、 $87.5^{\circ}$  で 68.4%と差は 38.4%であった。すなわち、本研究よりも先行研究の方が筋長の差が大きかった。

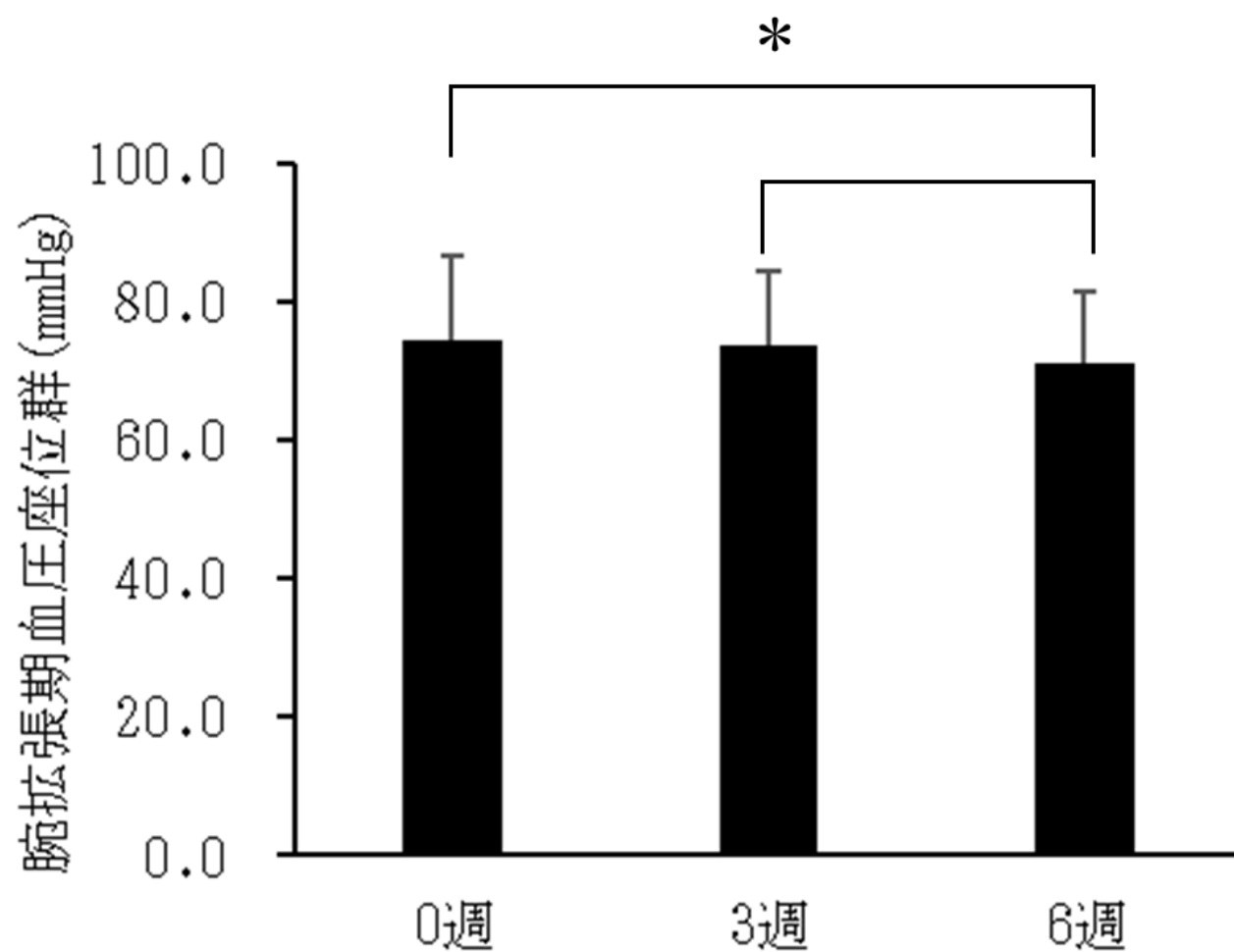


図 29 座位群の腕拡張期血圧の変化 \*  $p < 0.05$

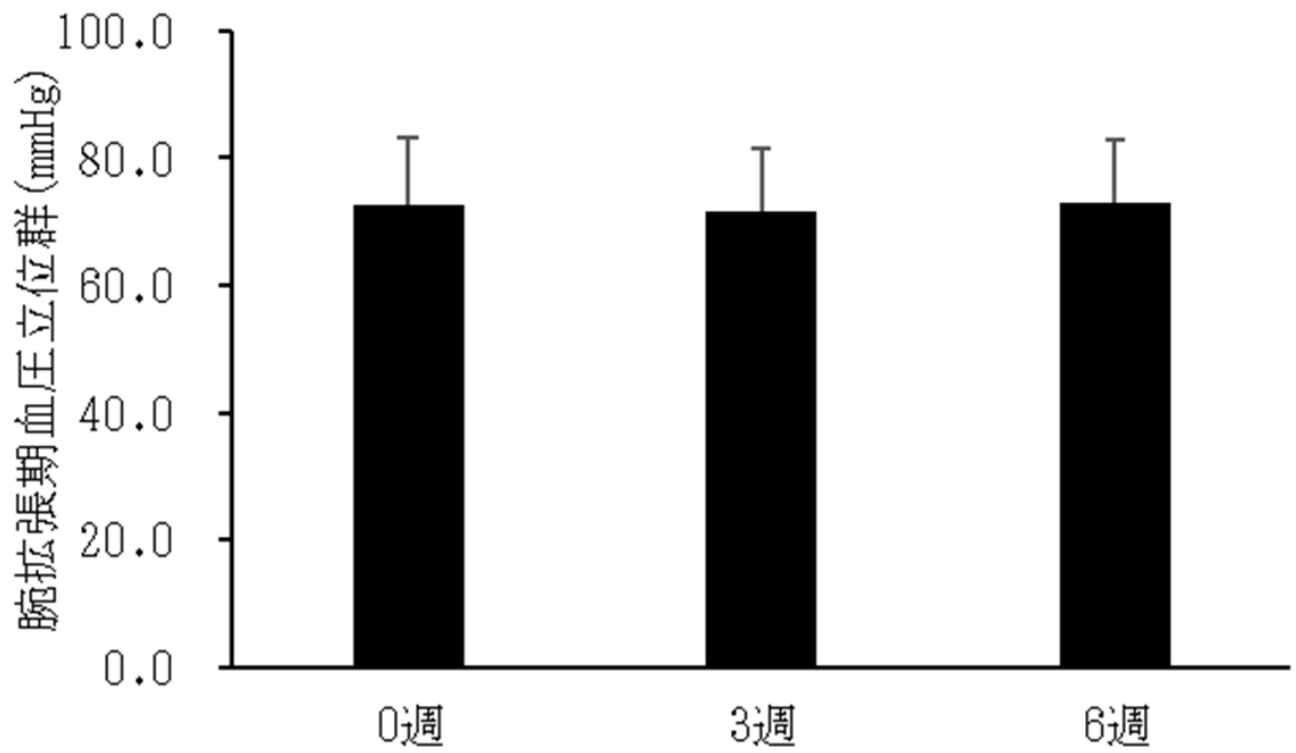


図 30 立位群の腕拡張期血圧の変化

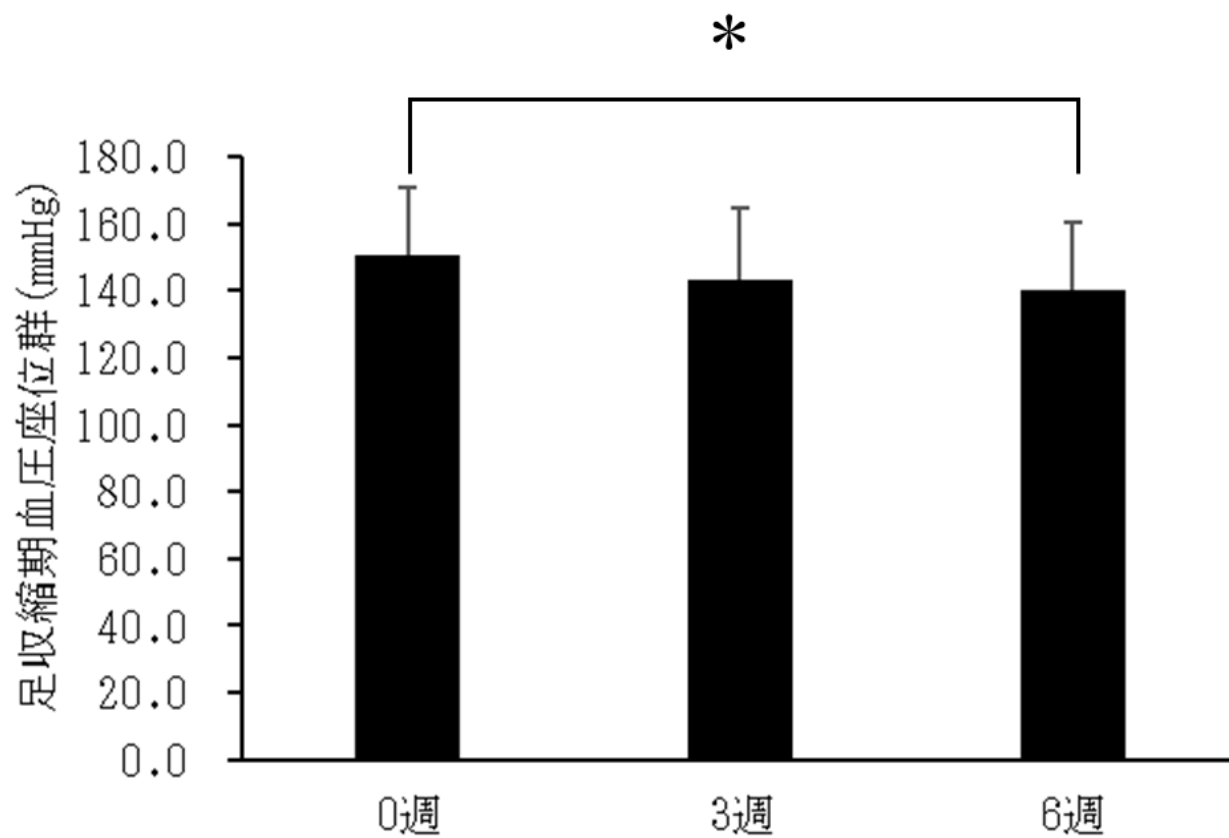


図 31 座位群の足収縮期血圧の変化 \*  $p < 0.05$

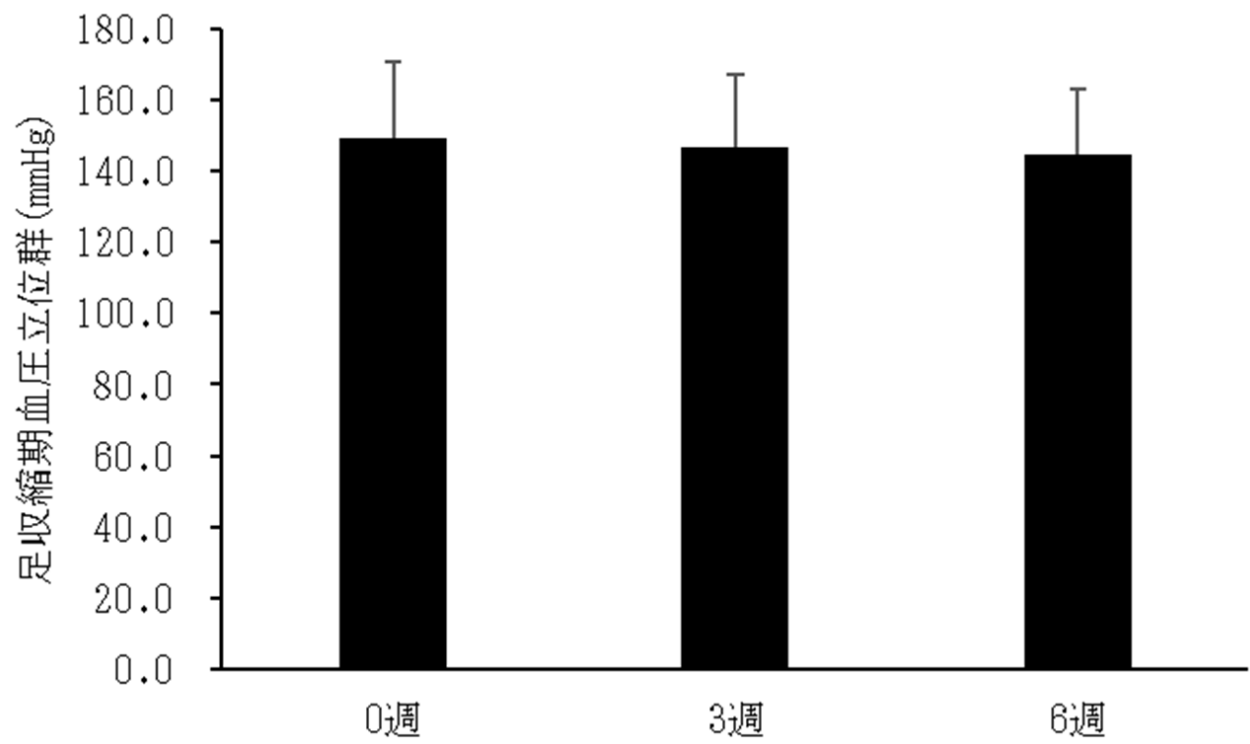


図 32 立位群の足収縮期血圧の変化

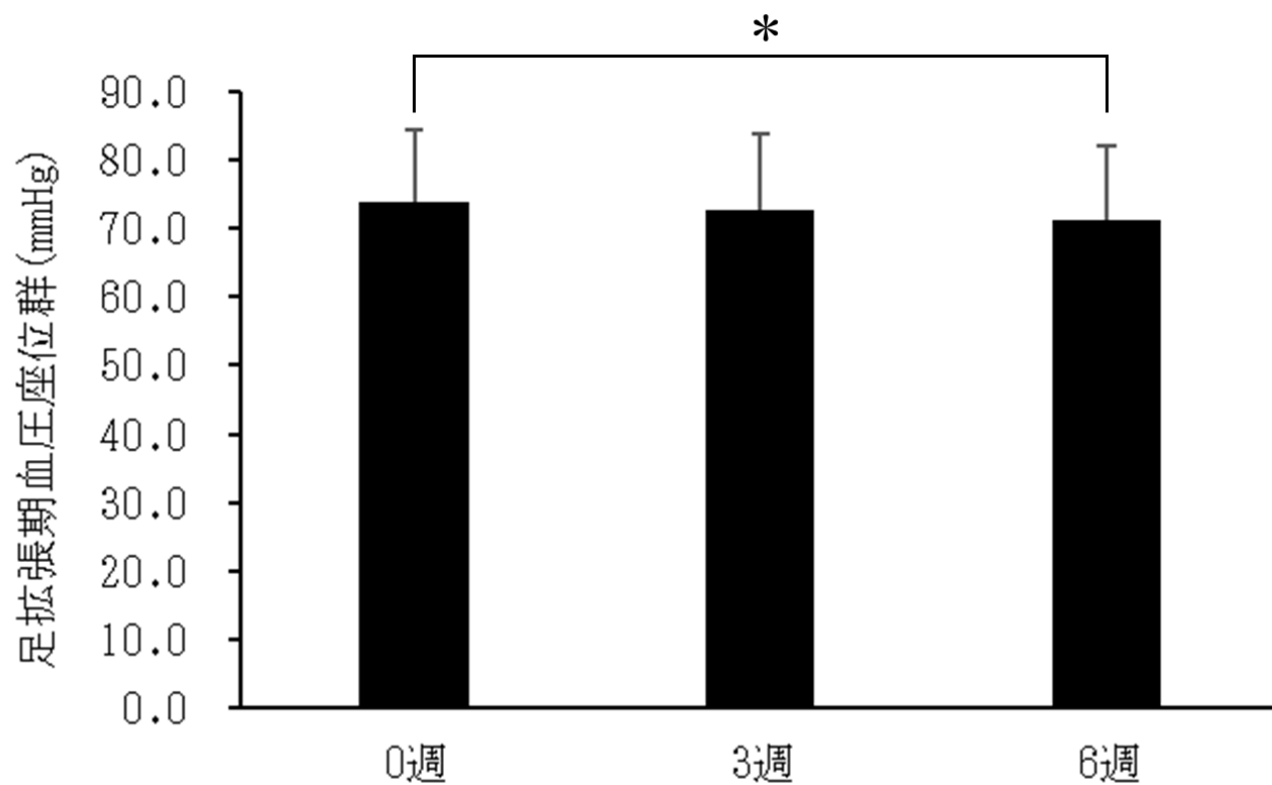


図 33 座位群の足拡張期血圧の変化 \*  $p < 0.05$

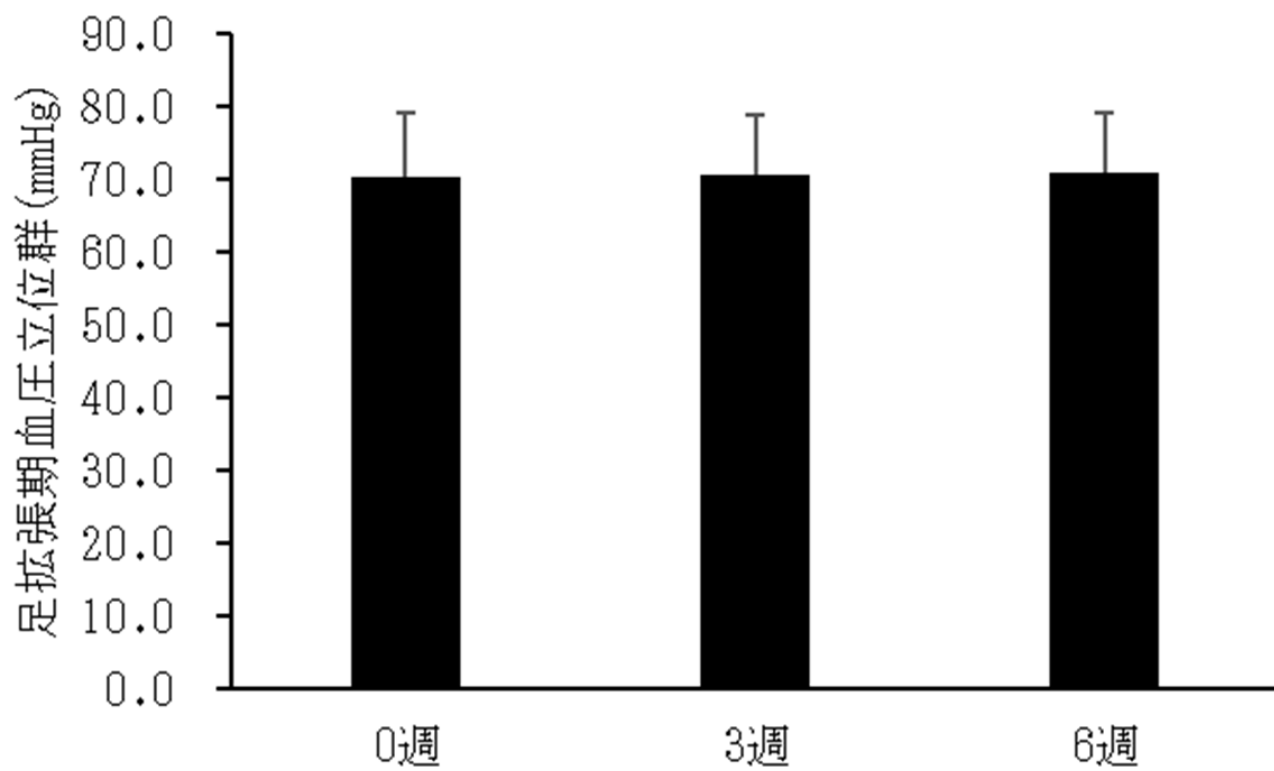


図 34 立位群の足拡張期血圧の変化

## 考察

本研究では電気刺激トレーニングにおける筋長の違いが血管機能に及ぼす影響を調査した。本研究の主な結果は以下の 3 点である。1) 神経筋電気刺激トレーニングによって筋力は上がったが筋肥大は起こらなかった。2) 筋長の違いによるトレーニング効果の差はみられなかった。3) 筋長の違いによる血圧変化の差がみられた。これらの結果は、一部の仮説を支持したが、そうでない結果もみられた。

### 1) 神経筋電気刺激トレーニングによる筋力と筋厚の変化

6 週間の神経筋電気刺激トレーニングによって足趾屈曲筋力および足関節底屈筋力の両群に筋力の向上がみられた。これは神経筋電気刺激トレーニングが高齢者の筋力向上に有効であるとする先行研究と一致している (Rahmati et al. 2021)。一方で筋厚に関しては、両群とも有意な差はみられず筋肥大は起こらなかった。先行研究では高齢者を対象に大腿、腰部への神経筋電気刺激を 8 週間実施した結果、大腿外側広筋および腰部多裂筋の筋厚がそれぞれ 8.6%、7.1%増加したことが報告されている (Jandova et al. 2020)。また若年者ではレジスタンストレーニング開始後 3~4 週と早期に筋肥大が生じるのに対し、高齢者は同様のトレーニングを行っても 9 週間要したことが報告されている (Manoel et al. 2016)。しかし本研究では介入期間が 6 週間と先行研究と比較して短く、筋肥大が生じなかった要因として介入期間が十分でなかった可能性が考えられる。

### 2) 筋長の違いによるトレーニング効果の差

本研究では、筋長の違いによるトレーニング効果の差はみられなかった。その要因として、介入時における筋長の差が十分に大きくなかった可能性が考えられる。先行研究では、膝関節角度を変化させることで大腿四頭筋の筋長に差を設け、6 週間のアイソメトリックトレーニングにより筋長の長い群にお



いて動的トルクの増加および筋肥大がみられた (Marika et al. 2015)。そこで先行研究で用いられた膝関節角度の平均値をもとに筋長を算出した結果、相対差は約 38.9%であった。一方、本研究では反射マーカーを用いて算出した足関節底屈筋群から座位、立位のそれぞれのトレーニング姿勢の筋長差を算出した。その結果、筋長の相対差はヒラメ筋 27.4%、腓腹筋 23.5%、長趾屈筋 10.3%、短趾屈筋 18.4%であった。本研究における筋長の差は先行研究の相対差 38.9%をいずれも下回っていた。このことから、本研究では筋長の差が先行研究と比較して小さかったため、筋長の違いによるトレーニング効果の差が生じなかったと考えられる。

### 3)筋長の違いによる血圧変化の差

本研究では、筋長の違いによって血圧変化に差がみられた。先行研究において神経筋電気刺激トレーニングは心血管系に対して有酸素運動と同等の効果があるといわれている (Oda et al. 2022)。本研究においては、座位群では介入後に血圧の低下がみられたが、立位群では血圧に変化はみられなかった。

筋長の長い状態でのアイソメトリックトレーニングでは、筋酸素化指数の低下により筋代謝受容器反射を引き起こし急性的に血圧が上昇することが報告されている (Mizuno et al. 2010)。一方で筋長の短い状態でのアイソメトリックトレーニングでは、筋酸素化指数の低下は小さく急性的な血圧上昇も長いときと比較して小さいことが報告されている (Mizuno et al. 2010)。本研究は、運動前後の急性反応ではなく介入前後の安静時血圧を評価している点が先行研究とは異なるが、NMES による筋収縮が血流を増加させることが報告されている (Oda et al. 2022)。

さらに先行研究において血流を遮断した条件下では、筋長の違いによる血圧反応の差はみられなかったことから (Mizuno et al. 2010)、血流量の変化が筋長のちがいによる血圧変化に関与している可能性

が示唆される。したがって、本研究では NMES によって血流が増加した結果、筋長の短い座位群では血圧低下が生じ、筋長の長い立位群においても血流増加により血圧上昇が抑制された可能性が考えられる。

## 結論

本研究では、異なる筋長条件下における神経筋電気刺激トレーニングが血管機能に及ぼす影響について検討した。その結果、神経筋電気刺激トレーニングでは筋長の違いに関わらず筋力は向上した一方で、血圧変化には差がみられ、座位群では血圧低下が立位群では変化がみられなかった。これらの結果から、筋長が長く心血管系への負荷が高くなりやすい群においても、NMES を用いることで心血管系へのリスクを抑制しながらトレーニング効果を得られる可能性が示唆された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご指導とご助言を賜りました渡邊航平教授をはじめ、研究室の皆さまに深く感謝申し上げます。また、本研究において6週間にわたるトレーニングおよび測定にご協力いただいた参加者の皆さまにも、心より御礼申し上げます。さらに、測定を共に行い、助言し合いながら研究を進めてきたゼミ生の仲間たちにも深く感謝申し上げます。

## 参考文献

Deftereos S, Giannopoulos G, Raisakis K, Kossyvakis C, Kaoukis A, Driva M, Pappas L, Panagopoulou V, Ntzouvara O, Karavidas A, Pyrgakis V, Rentoukas I, Aggeli C, Stefanadis C.

Comparison of muscle functional electrical stimulation to conventional bicycle exercise on endothelium and functional status indices in patients with heart failure: The American Journal of Cardiology. 106:1621-5, 2010

Figuerola A, Okamoto T, Jaime S, Fahs C. Impact of high- and low-intensity resistance training on arterial stiffness and blood pressure in adults across the lifespan: a review: Pflugers Archiv - European Journal of Physiology. 471:467-478, 2019

Fragala M, Cadore E, Dorgo S, Dorgo S, Izquierdo M, Kraemer W, Peterson M, Ryan E. Resistance Training for Older Adults: Position Statement From the National Strength and Conditioning Association : Journal of Strength and Conditioning Research. 33(8):2019-2052, 2019

Fry A. The Role of Resistance Exercise Intensity on Muscle Fibre Adaptations: Sports Medicine. 34:663-679, 2004

Jandova T, Narici M, Steffl M, Bondi D, D' Amico M, Pavlu D, Verratti V, Fulle S, Pietrangelo T. Muscle Hypertrophy and Architectural Changes in Response to Eight-Week Neuromuscular Electrical Stimulation Training in Healthy Older People: Front Physiol. 10:3390, 2025

Kinoshita M, Maeo S, Kobayashi Y, Eihara Y, Ono M, Sato M, Sugiyama T, Kanehisa H, Isaka T. Triceps surae muscle hypertrophy is greater after standing versus seated calf-raise training: Frontiers in Physiology. 14:1272106, 2023

Ladora T. Effect of age and training on skeletal muscle physiology and performance: Physical therapy. 74(1):71-81, 1994

Larsson L, Degens H, Li M, Salviati L, Lee Y, Thompson W, Kirkland J, Sandri M. Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function: American physiological society. 99(1):427-511, 2018

Lixandrao M, Damas F, Chacon-Mikahil M, Cavaglieri C, Ugrinowitsch C, Bottaro M, Vechin F, Conceição M, Berton R, Libardi C. Time Course of Resistance Training-Induced Muscle Hypertrophy in the Elderly: Journal of Strength and Conditioning Research. 30(1):159-163, 2016

Miyachi M, Donato A, Yamamoto K, Takahashi K, Gates P, Moreau K, Tanaka H. Greater Age-Related Reductions in Central Arterial Compliance in Resistance-Trained Men: Hypertension. 41(1):130-135, 2003

Mizuno M, Tokizawa K, Muraoka I. Changes in perfusion related to muscle length affect the pressor response to isometric muscle contraction: Advances in Experimental Medicine and Biology. 662:371-377, 2010

Natsume T, Ozaki H, Kakigi R, Kobayashi H, Naito H. Effects of training intensity in electromyostimulation on human skeletal muscle: European Journal of Applied Physiology. 118:1339-1347, 2018

Noorkoiv M, Nosaka K, Blazeovich J. Effects of isometric quadriceps strength training at different muscle lengths on dynamic torque production: Journal of Sports Sciences. 33(18):1952-1961, 2015

Oda H, Fujibayashi M, Matsumoto N, Nishiwaki M. Acute Effects of Low-Intensity Electrical

Stimulation on Segmental Arterial Stiffness: Frontiers in Physiology.13:828670,2022

Rahmati M, Gondin J, Malakoutinia F. Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation on Quadriceps Muscle Strength and Mass in Healthy Young and Older Adults: A Scoping Review: Physical Therapy Rehabilitation Journal. 101:1-14,2021

Watanabe K, Kawabe S, Moritani T. Effect of electrode position of low intensity neuromuscular electrical stimulation on the evoked force in the quadriceps femoris muscle: BMC Research Notes.10:300,2017

Watanabe K, Kunugi S. Comparisons in muscle compound action potential parameters measured during standing, walking, and running: Journal of Biomechanics.145:111380,2022

厚生労働省 健康・医療身体活動・運動の推進 2023

[https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou\\_iryuu/kenkou/undou/index.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/undou/index.html)

厚生労働省 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023

<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001171393.pdf>,

内閣府 令和7年版 高齢社会白書(概要版) 2025

<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2025/gaiyou/pdf/1s1s2s.pdf>

疲労局面におけるシャウトが  
レジスタンストレーニングの反復回数に及ぼす影響

J522018

小澤李奈

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：筋肥大や筋力向上を目的としたレジスタンストレーニングにおいて、十分なトレーニングボリュームを確保することは重要である。しかし、セット終盤では疲労の蓄積により反復回数が低下しやすい。先行研究では、シャウトが最大筋力を一時的に高める可能性が示唆されているが、疲労を伴う反復課題への影響や個人差は十分に検討されていない。本研究の目的は、疲労局面におけるシャウトが反復回数に及ぼす影響を検討し、その効果とトレーニング経験の有無、および大声を出すことへの抵抗感との関連を明らかにすることであった。

方法：対象者は健常大学生 12 名（トレーニング経験者 6 名、非経験者 6 名）とした。アームカール運動課題では負荷を 70%1RM とし、1・2 セット目は各 8 回、3 セット目は限界まで反復した。シャウトあり条件とシャウトなし条件を無作為順で実施する被験者内比較とした。測定項目は、反復回数、等尺性肘屈曲最大随意筋力（MVC）、主観的運動強度（RPE）、および視覚的アナログ尺度（VAS）による人前で大声を出すことへの抵抗感であった。

結果：3 セット目の反復回数は、シャウトなし条件と比較してシャウトあり条件で有意に高かった（ $P < 0.05$ ）。トレーニング歴別の比較においても、両群ともにシャウトあり条件で反復回数の有意な増加が認められた（ $P < 0.05$ ）。運動前後の MVC はいずれの条件においても有意に低下したが（ $P < 0.05$ ）、MVC 低下率には条件間で有意差は見られなかった（ $P > 0.05$ ）。また、シャウト開始直前の局所 RPE は、トレーニング歴あり群がなし群よりも有意に低かったが（ $P < 0.05$ ）、3 セット目終了時の局所 RPE や、大声を出すことへの抵抗感と反復回数の変化量との間には有意な相関関係は見られなかった（ $P > 0.05$ ）。

結論：シャウトは疲労局面における反復回数を増加させる一方、その効果の大きさはトレーニング経験や大声を出すことへの抵抗感の強さに左右されない可能性が示された。

## 背景

近年、筋肥大や筋力向上を目的としたレジスタンストレーニングは、競技者のみならず一般層においても行われている。スポーツ庁の令和6年度「スポーツの実施状況等に関する世論調査」によると、週1日以上運動・スポーツを行った者は52.7%にのぼり、運動種目としては「ウォーキング」が最も多く、「トレーニング」を実施した者も13.3%存在している。また、運動・スポーツを行う理由としては「体力増進・維持」や「筋力増進・維持」が多く挙げられており、運動の目的として「健康のため」が最も高い割合を占める一方で、「自己の記録や能力の向上」を目的とする者も7.8%存在することから、健康増進とは異なる目的で運動を実施する層が一定数存在することが示されている（令和6年度スポーツの実施状況等に関する世論調査、2025）。

筋力トレーニングは、身体能力の向上や身体組成の改善を目的とした運動手段として位置づけられており、成果を高めるためのトレーニング方法に対する関心が高まっている。筋肥大や筋力向上を目的としたトレーニングにおいては、トレーニングボリュームと呼ばれる運動刺激の総量を十分に確保することが重要であり、低ボリュームでも筋肥大は生じるものの、高ボリュームの方がその効果は大きくなることが報告されている（Schoenfeld et al. 2017, Schoenfeld et al. 2019）。一方、実際のトレーニングにおいてはセットの進行に伴い疲労が蓄積し、発揮できる力が低下した結果、目標とする反復回数に到達できない、あるいは十分に追い込めないといった状況が生じる（Taylor et al. 2006, Enoka & Duchateau. 2008）。したがって、疲労が進行する局面においても反復回数を維持し、トレーニングボリュームを確保するために随意的な力発揮を引き出す方法を検討することは重要な課題である。このような課題に対し、負荷や休息の調整、ドロップセット法など、さまざまな手法が用いられてきた。しかし、こ



これらの多くはトレーニング条件や外部環境を変化させる方法であり、疲労によって生じる中枢神経系の要因や心理的抑制に直接作用するものではない (Gandevia et al. 1996, Gandevia. 2001, Enoka & Duchateau. 2008)。このことから、疲労によって反復回数が低下しやすい局面において、トレーニング条件を変えずに随意的な力発揮を引き出し、反復回数を維持する手段を検討する必要がある。運動の継続に伴い生じる疲労は、筋の収縮機能の低下に起因する末梢性疲労と、中枢神経系が筋を随意的に活性化能力の低下に起因する中枢性疲労に分けられる (Gandevia et al. 1996, Gandevia. 2001)。

経頭蓋磁気刺激 (TMS) を用いた研究では、最大随意収縮中であっても運動皮質からの神経駆動は必ずしも最大とは限らず、刺激によって追加的な力発揮が誘発されることが報告されている (Gandevia et al. 1996, Taylor et al. 2006)。このことは、最大努力時の筋力発揮が末梢の収縮機能のみで決まるわけではなく、中枢神経系や心理的抑制によって影響を受けることを示している。Ikai らは、筋力発揮が生理的限界だけでなく心理的要因によって制限され得ること、また銃声や自己の発声、催眠暗示などによって最大筋力が変化することを報告している。また、社会的な羞恥に関連する経験が随意的な力発揮を制限する一因となる例についても述べられている (Ikai and Steinhaus. 1961)。

Takarada らは、シャウトを伴う最大随意収縮時に、最大筋力が増加するとともに皮質サイレントピリオドの短縮が観察されたことを報告しており、発声を伴う努力が運動皮質における抑制状態に影響を与える可能性を示唆している (Takarada and Nozaki. 2022)。しかし、こうした報告は単発の最大筋力発揮や短時間の運動課題を中心とするものが多く、レジスタンストレーニングの疲労が蓄積している局面において、シャウトが反復回数に与える影響については十分に検討されていない。さらに、トレーニング経験や大声を出すことへの抵抗感といった個人差による違いについては、十分な知見が得られていない。

一方で、継続的なレジスタンストレーニングは、運動単位の発火頻度の増加やばらつきの低下といった神経適応をもたらすことが報告されている (Duchateau et al. 2006)。また、筋力発揮は運動単位の動員数と発火頻度の調節によって制御され、運動単位の動員数は最大筋力の約 85%付近で上限に達し、それ以上の力発揮は発火頻度の増大によって達成されることが示されている (Duchateau et al. 2006)。これらの知見を踏まえると、トレーニング経験が豊富な者では、運動単位を制御する神経系の適応がすでに十分になされている可能性があり、シャウトによる追加的な神経出力の増幅効果は非トレーニング経験者に比べて相対的に小さくなる可能性がある。

本研究の目的は、疲労が蓄積していくレジスタンストレーニングの最終局面において、シャウトの実施が反復回数に及ぼす影響を明らかにし、その効果がトレーニング経験の有無および大声を出すことへの抵抗感によってどのように異なるのかを検証することである。トレーニング経験が豊富な者ほどシャウトによる反復回数の増加効果は相対的に小さく、また大声を出すことへの抵抗感が強い者ほど効果は限定的であると仮説を立てた。これらの仮説を検証するため、同一対象者内でシャウトあり条件となし条件を設定し、反復課題における反復回数を評価した。

## 方法

### 研究対象者

本研究には、健常な大学生 12 名（男性 6 名、女性 6 名）が参加した。対象者の年齢は  $22.0 \pm 0.85$  歳、身長は  $165.04 \pm 6.40$  cm、体重は  $60.57 \pm 9.36$  kg であった。過去 6 か月間に週 1 回以上の筋力トレ

ーニングを継続して行っていた者をトレーニング経験者群（n=6）、同期間に筋力トレーニング習慣のなかった者を非トレーニング経験者群（n=6）として分類した。

## 実験デザイン

本研究は、同一対象者に対してシャウトの有無による2つの条件を比較した。測定は各対象者につき計3回実施し、各測定日の間隔は48時間以上空けた。第1回目の測定では、質問紙を用いて対象者の基本情報（年齢、身長、体重、トレーニング歴）および大声を出すことへの抵抗感を調査し、ダンベルアームカールの1回最大挙上重量（1RM）を測定した。大声を出すことへの抵抗感は、視覚的アナログ尺度（VAS）を用いて評価した。第2回目および第3回目の測定は運動課題日とし、等尺性肘屈曲最大随意筋力（MVC）の測定および運動課題を実施した。すべての運動課題およびMVC測定は右上肢で実施した。シャウトあり条件およびシャウトなし条件は無作為な順序で実施した。また、対象者には測定前24時間の激しい運動およびアルコール摂取、測定前12時間のカフェイン摂取を控えるよう指示した。

## 測定項目

### ダンベル 1RM 測定

アームカールの1RM測定には、可変式ダンベル（シャフト2 kg、プレート0.5～5 kg）を使用した。対象者は脚を肩幅より広く開き、膝関節角度が90度となる姿勢で椅子に座り、肘は同側膝の内側に固定させ、左手は左脚の上に乗せるよう指示した。拳上動作中は上体の反動を用いないよう指示し、床に最も近い位置を開始位、肘関節最大屈曲位を終了位とした。最初に4.5 kg（シャフト2 kg、プレート

2.5 kg) フォームの確認とフォーミングアップを行ない、主観的余裕度および反復可能回数を確認し

0.5～2.5 kg 刻みで重量を増加させた。最終的に 1 回のみ挙上可能であった重量を 1RM と定義した。

#### 等尺性肘関節屈曲最大随意筋力

等尺性肘関節屈曲最大随意筋力(MVC)の測定には、等尺性肘屈曲機器（竹井機器工業株式会社、新潟、日本）およびダイナモメーター（竹井機器工業株式会社、新潟、日本）を使用した(図 1, 図 2)。

等尺性肘屈曲機器は 60 度に設定した。測定中の機材の浮き上がりや机の歪みを防ぐため、ダンベル用プレート（約 3.75～11.25 kg）を机の奥側に設置した。対象者は実験室内の椅子に膝関節角度が 90 度となる姿勢で椅子に座り、前腕を機器の黒い固定板と平行に保ち、肘が機器に密着する位置に椅子を調整した。左手は等尺性肘屈曲機器の左奥にある金の棒を握るよう指示した。また、MVC 測定時は脚で踏ん張ったり上体を後ろに引いたりしないよう指示した。前腕および手関節を機器のアタッチメントに装着し、等尺性肘関節屈曲運動を実施し、MVC が測定された(図 3)。対象者は、標準化されたウォームアッププロトコル（30%、50%、70%の最大下等尺性収縮）を実施した後、MVC を 2 ～3 回実施した。MVC の測定の際には、2～3 秒かけて発揮筋力を徐々に増加させ、次の 2-3 秒で最大努力をするよう指示した。各筋力発揮の間には 60 秒の休息時間を設けられた。運動課題後の MVC は、3 セット目終了直後に RPE を聴取した後、速やかに測定した。測定姿勢はすべての測定で統一し、椅子の高さや腕の位置が同一となるよう調整した。解析には各測定時における測定で得られた最大値を MVC として分析に使用した。

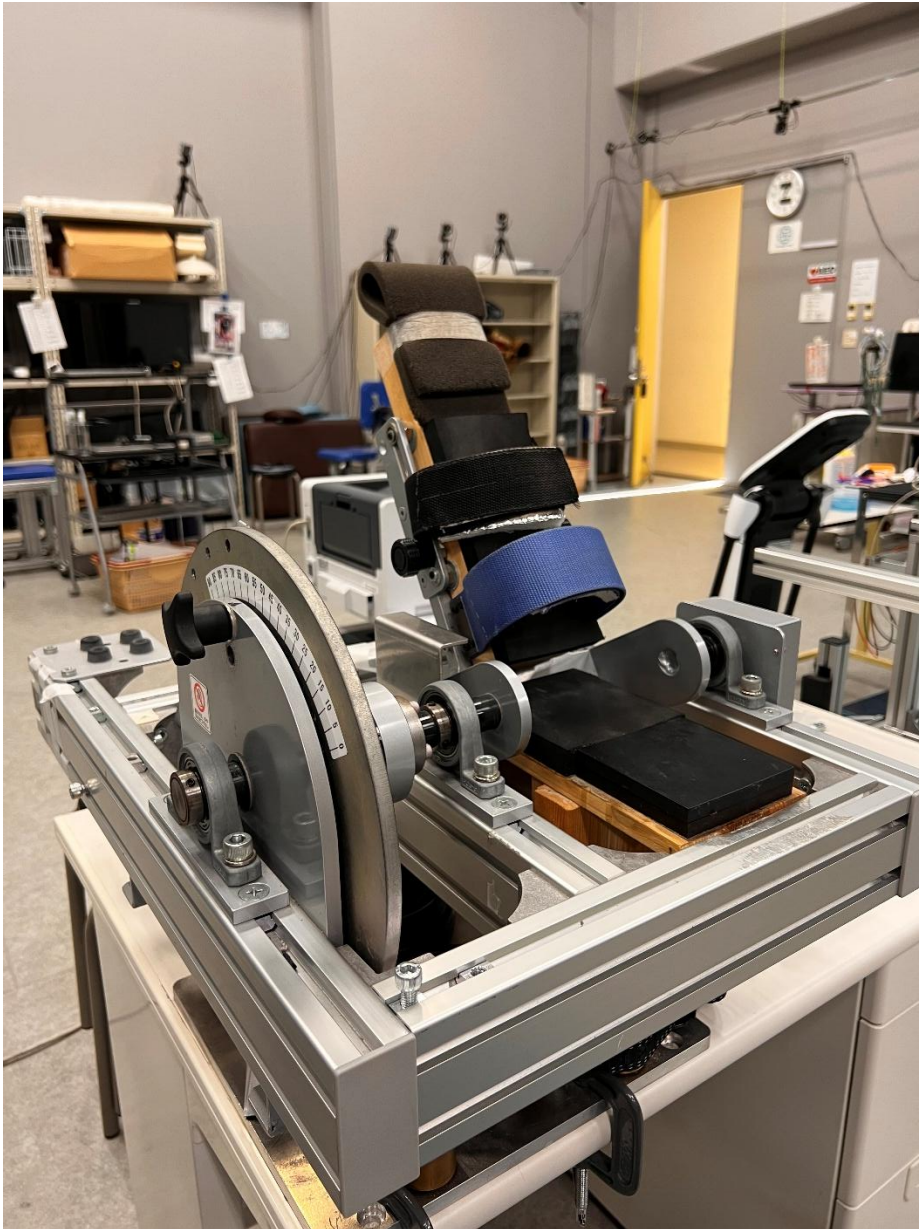


図 1 等尺性肘屈曲機器（竹井機器工業株式会社、新潟、日本）

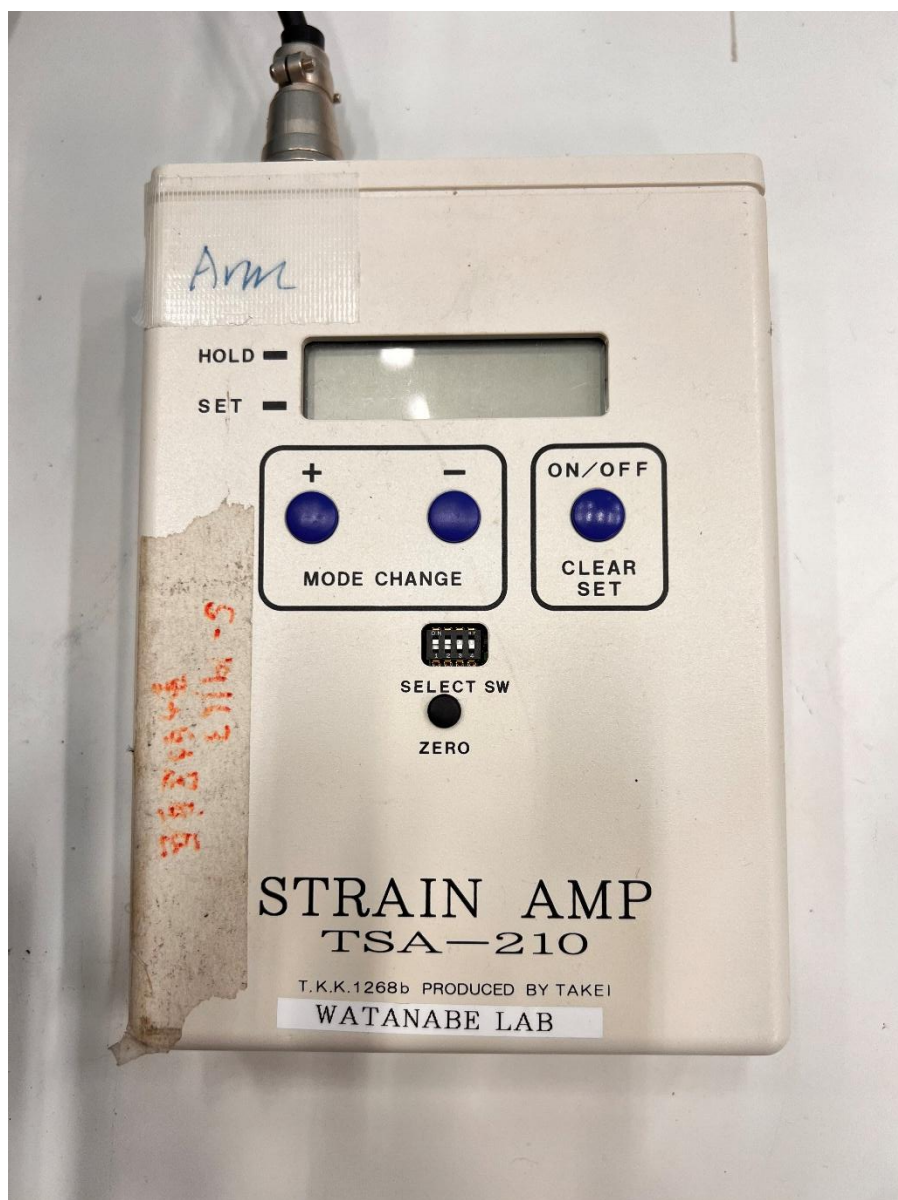


図 2 ダイナモメーター（竹井機器工業株式会社 日本 新潟）



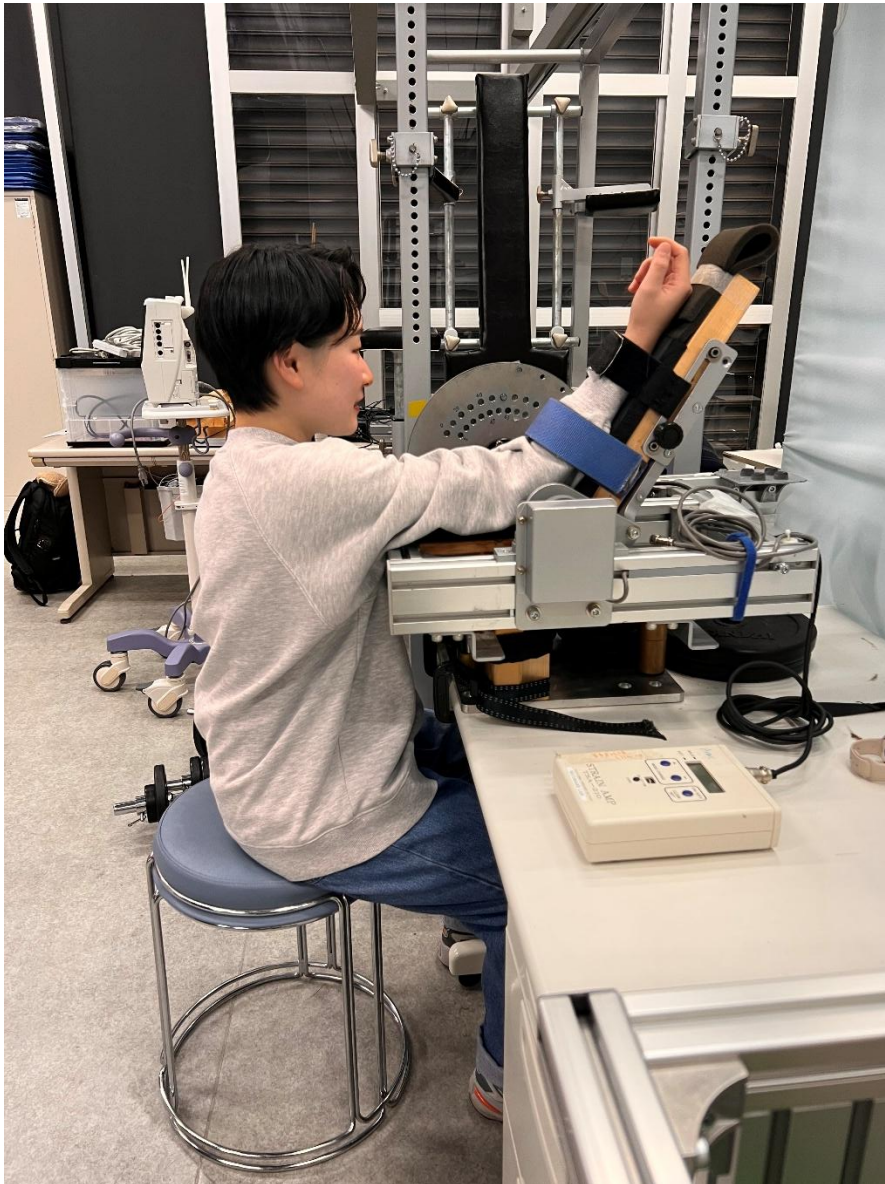


図 3 等尺性肘関節屈曲最大随意筋力測定姿勢

## 上肢運動課題

運動課題はアームカールとし、負荷は第 1 回目測定で算出した 1RM の 70%に相当する重量に設定した。セット数は 3 セットとし、1・2 セット目は 8 回、3 セット目はオールアウトまでとした。動作速度は、メトロノーム (Smart Metronome & Tuner) を用いて 2 秒間の短縮性収縮、2 秒間の伸張性収縮 (2-0-2) に統一した。失敗の判定基準は、メトロノームに合わせて最大屈曲位まで挙上できない動作が 2 回連続して生じた場合とした。セット間休憩は 1 分間とした。なお、運動課題時の姿勢は 1RM 測定時と同様とした。

## シャウト

シャウトあり条件では、対象者自身が次の反復で限界に達すると判断した時点から発声を開始するよう指示した。シャウトを開始してから失敗するまで毎レップシャウトをするよう指示した。発声の内容は任意とし、必要に応じて単純な母音発声の例を提示した。発生の強度は、対象者の最大声量に近い大きな声を出すよう促した。

## 主観的運動強度 (RPE)

主観的運動強度は Borg スケール (6-20) を用い、各セット終了後に全身 RPE および腕の局所 RPE を口頭で回答させた。シャウトあり条件では、シャウト開始する直前のレップにおける RPE についても 3 セット目終了後に聴取した。

## 統計解析



結果は平均±標準偏差で示す。条件間（シャウトあり条件、シャウトなし条件）における反復回数、最大随意筋力（MVC）、主観的運動強度（RPE）の差を確認するため、Wilcoxon の符号付順位検定を用いて比較した。また、トレーニング経験の有無によるシャウト効果の差異を検討するため、反復回数、MVC 低下率および主観的運動強度（RPE）について Mann-Whitney U 検定を用いて比較した。過去 6 か月間の総トレーニング時間および大声を出すことへの抵抗感 VAS と、レップ変化量または主観的運動強度（RPE）との関連については、Spearman の順位相関係数を使用した。すべての統計解析における有意水準は 5%未満（ $p < 0.05$ ）とした。統計解析は、Statistical Package for the Social Science (SPSS ver. 25.0、IBM Japan Inc.、東京、日本) を使用して実施した。

## 結果

### 反復回数の変化

3 セット目における反復回数は、シャウトあり条件がシャウトなし条件より有意に高かった（ $P < 0.05$ 、図 4）。トレーニング歴別における反復回数では、いずれの条件においても群間に有意差はなかった（ $P > 0.05$ 、図 5）。一方、両群において、シャウトあり条件の反復回数はシャウトなし条件より有意に高かった（トレーニング歴あり群： $P < 0.05$ 、トレーニング歴なし群： $P < 0.05$ ）。

### 主観的運動強度の変化

シャウトあり条件において、シャウト開始直前と 3 セット目終了時の主観的運動強度（RPE）では全身 RPE および局所 RPE はいずれも有意に増加した（全身 RPE： $P < 0.05$ 、局所 RPE： $P < 0.05$ 、図 6）。ト

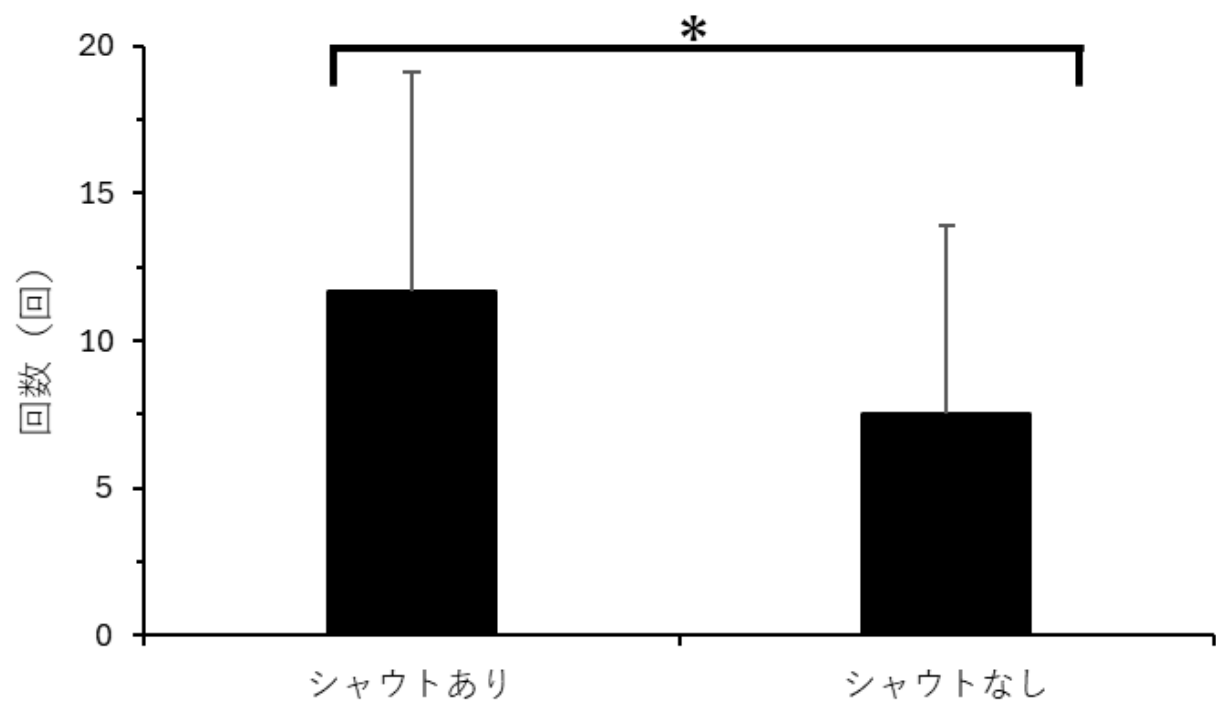


図 4 条条件間における 3 セット目の反復回数の比較 \*  $P < 0.05$

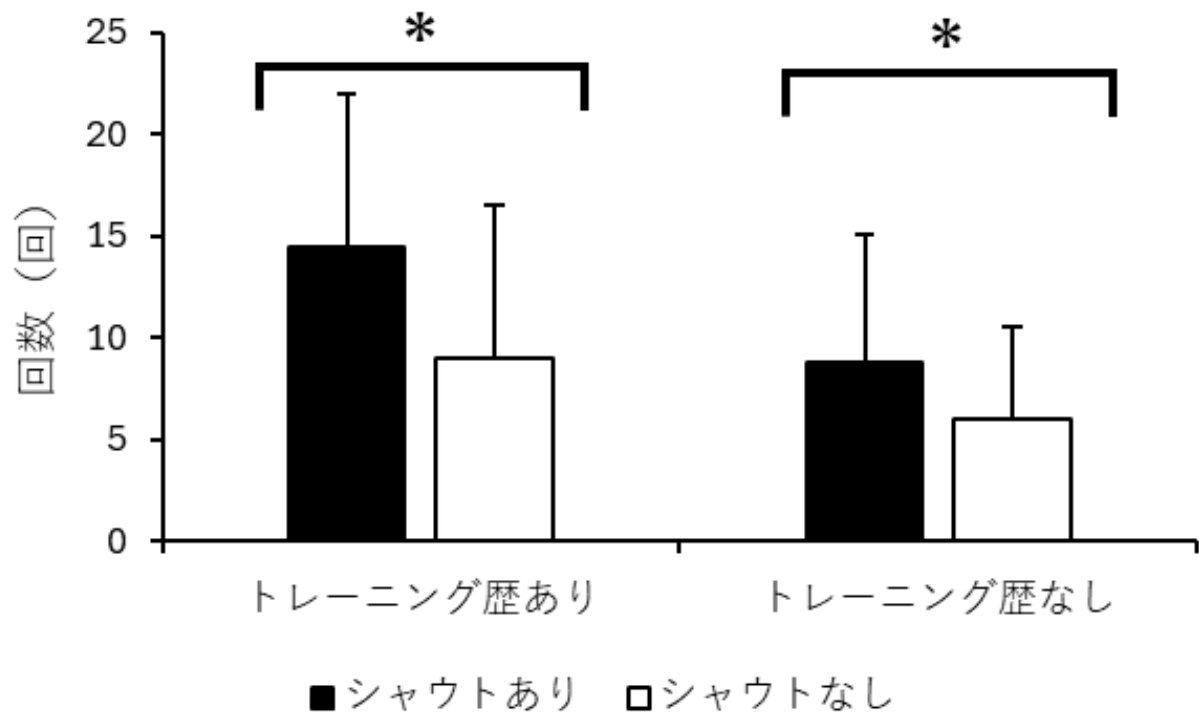


図 5 トレーニング歴の有無別における条件間の反復回数比較 \* $P < 0.05$

レーニング歴別に局所 RPE を比較したところ、3 セット目終了時の局所 RPE では、条件間の違いによる影響は見られず、またいずれの条件においてもトレーニング歴による有意差はなかった（シャウトあり条件： $P > 0.05$ 、シャウトなし条件： $P > 0.05$ 、図 7）。一方、シャウト開始直前の局所 RPE では、トレーニング歴あり群がトレーニング歴なし群よりも有意に低かった（ $P < 0.01$ ）。

#### 等尺性肘屈曲最大随意筋力（MVC）の変化

MVC はいずれの条件においても運動前と比較して運動後の MVC は有意に低下した（ $P = 0.002$ 、図 8）。一方、MVC 低下率について条件間に有意な差はなかった（ $P > 0.05$ 、図 9）。

#### 大声を出すことへの抵抗感（VAS）

大声を出すことへの抵抗感と反復回数の変化量、3 セット目終了時の局所 RPE、およびシャウト開始直前の局所 RPE の間にはいずれも有意な相関関係は見られなかった（反復回数： $P > 0.05$ 、図 10）（3 セット目終了時の局所 RPE： $P > 0.05$ 、図 11）（シャウト開始直前の局所 RPE： $P > 0.05$ 、図 12）。

#### 考察

本研究では、アームカール運動におけるシャウトの有無が反復回数におよぼす影響を、トレーニング経験および大声を出すことへの抵抗感の観点から検討した。その結果、1) 反復回数はシャウトあり条件において増加した。2) 両条件において局所 RPE は運動終了時には同程度まで上昇したが、シャウト開始直前の値にはトレーニング経験による差が見られた。3) MVC は運動後に低下した一方、MVC 低下率は条件間

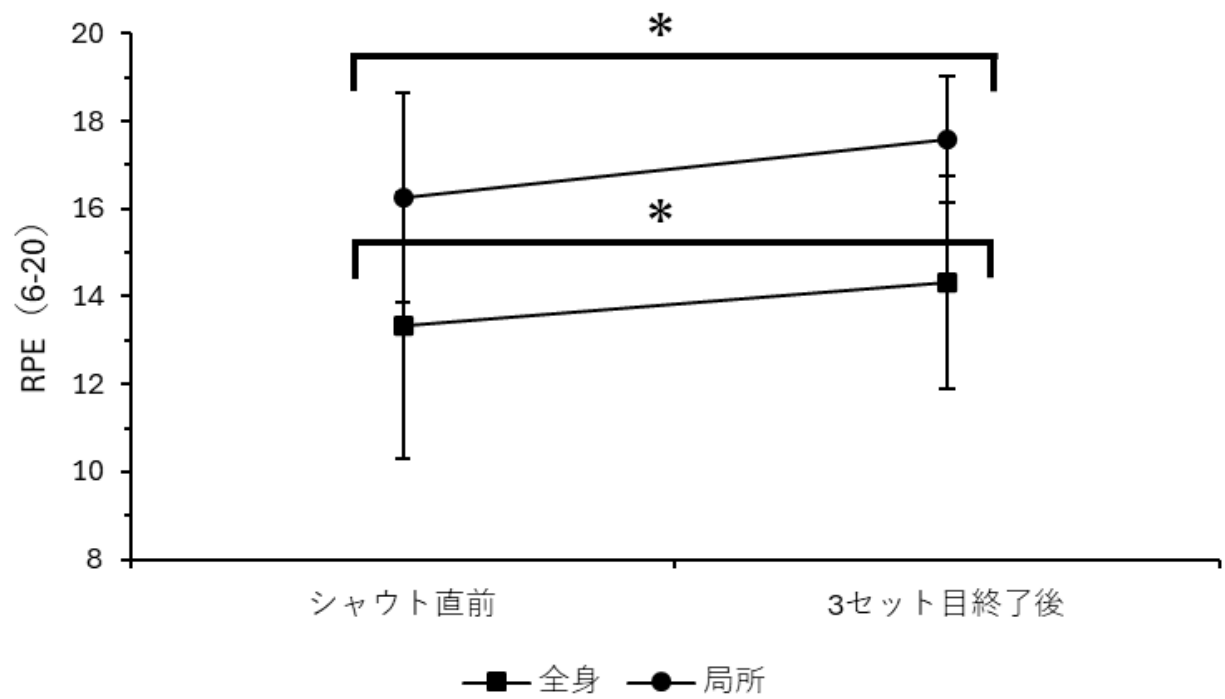


図 6 シャウトあり条件における運動中の主観的運動強度（RPE）の変化 \* P<0.05

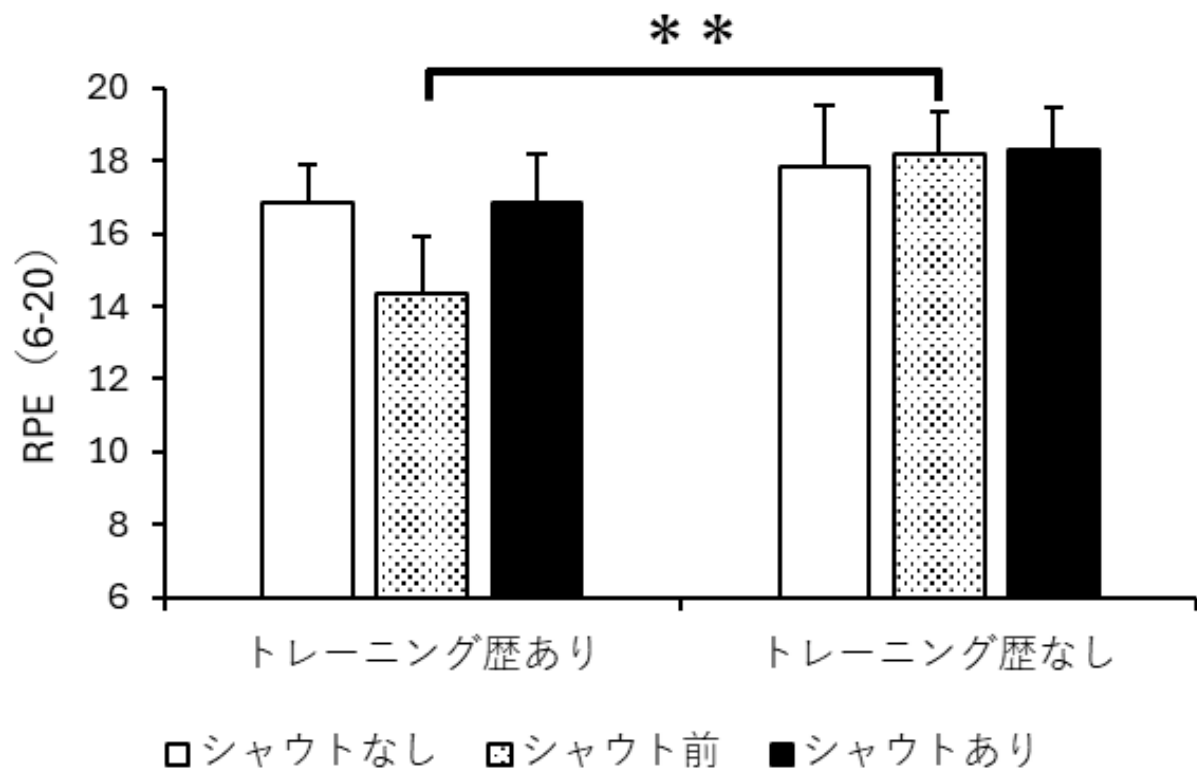


図 7 トレーニング歴の有無別における 3 セット目終了時の局所 RPE \*\*P<0.01

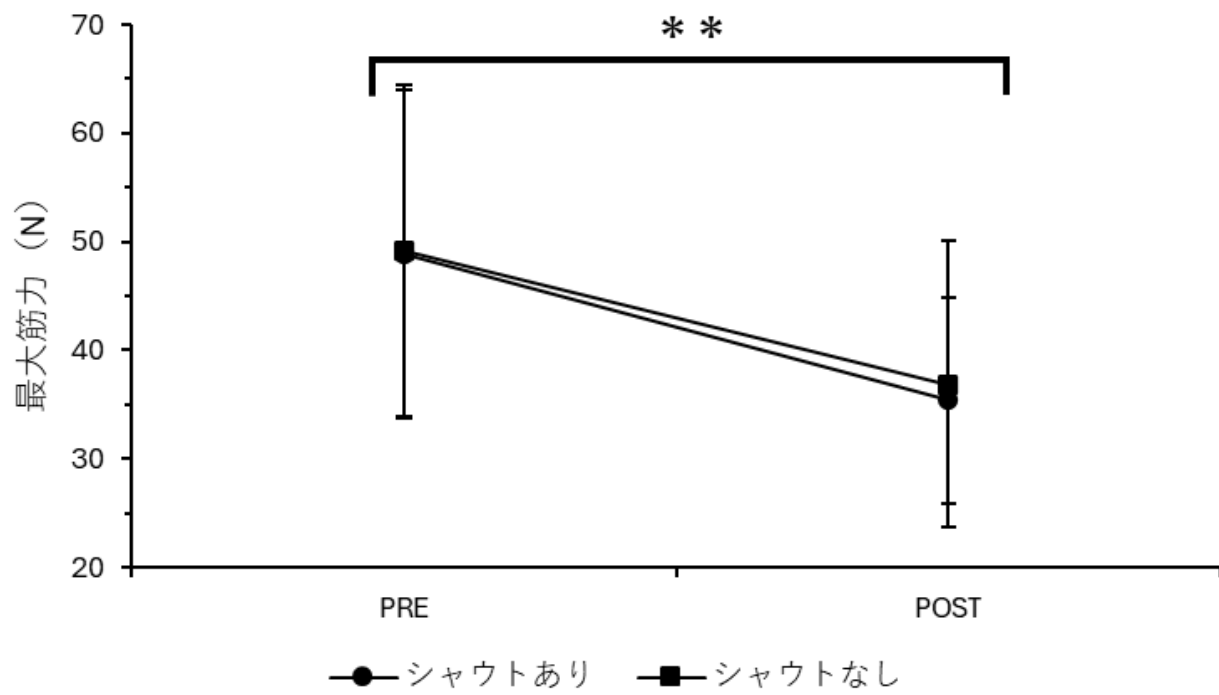


図 8 条件間における運動前後の最大随意筋力 (MVC) の変化 \*\*  $P < 0.01$

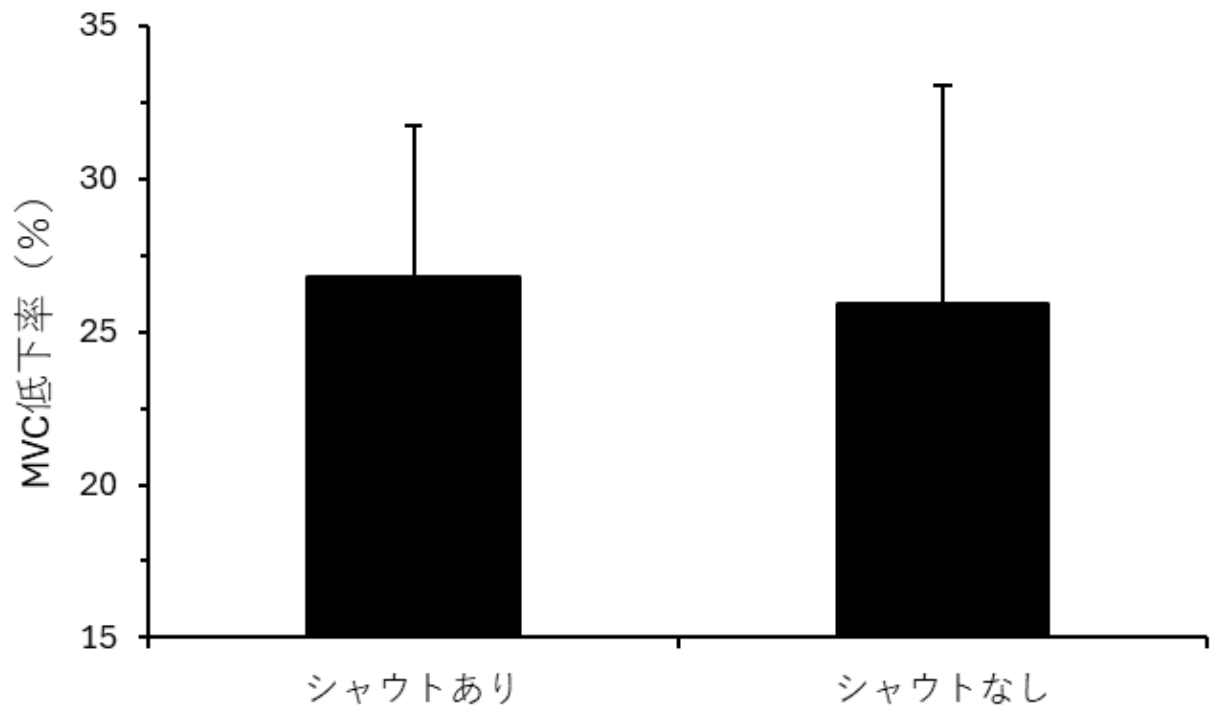


図 9 条件間における最大随意筋力（MVC）低下率の比較



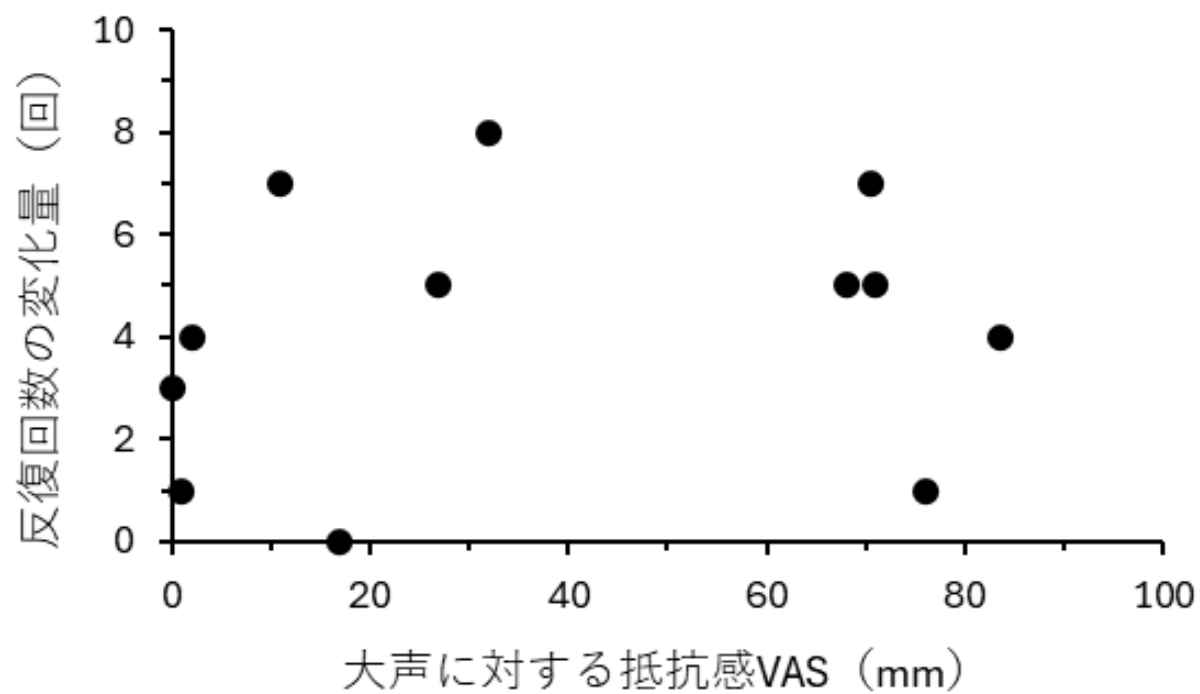


図 10 大声を出すことへの抵抗感（VAS）とシャウトによる反復回数の変化量との関係

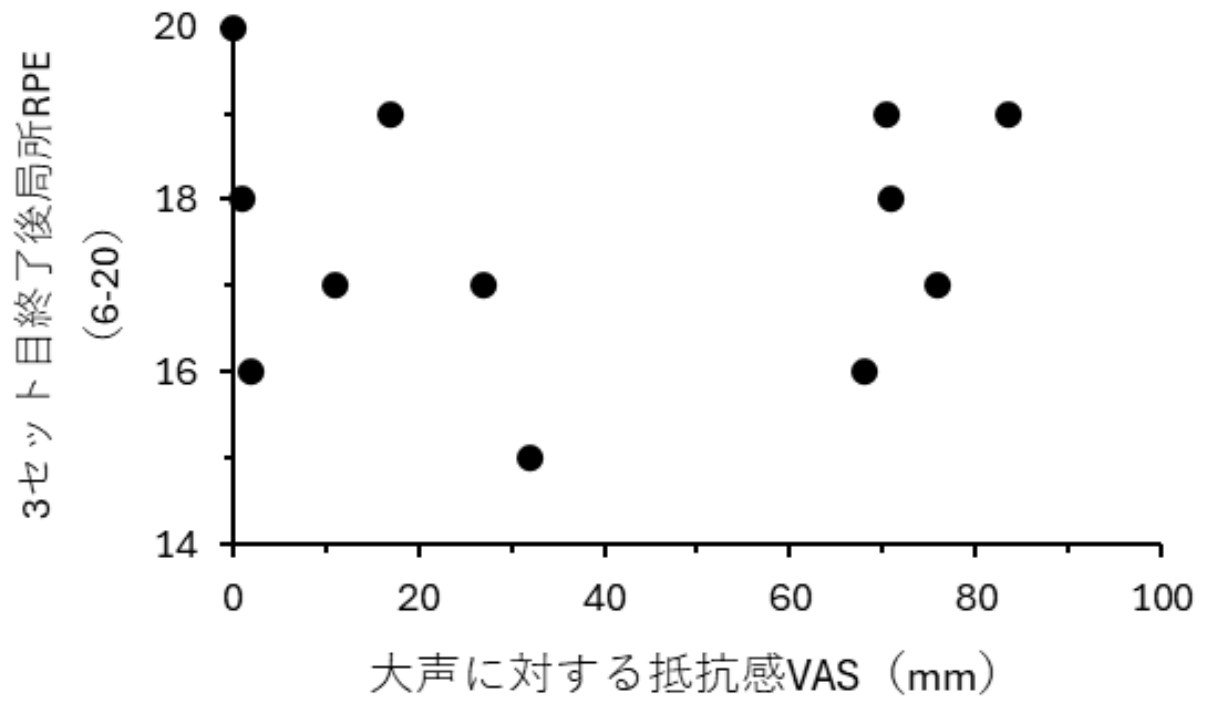


図 11 大声を出すことへの抵抗感（VAS）とシャウトあり条件での3セット目終了後局所RPE との関係

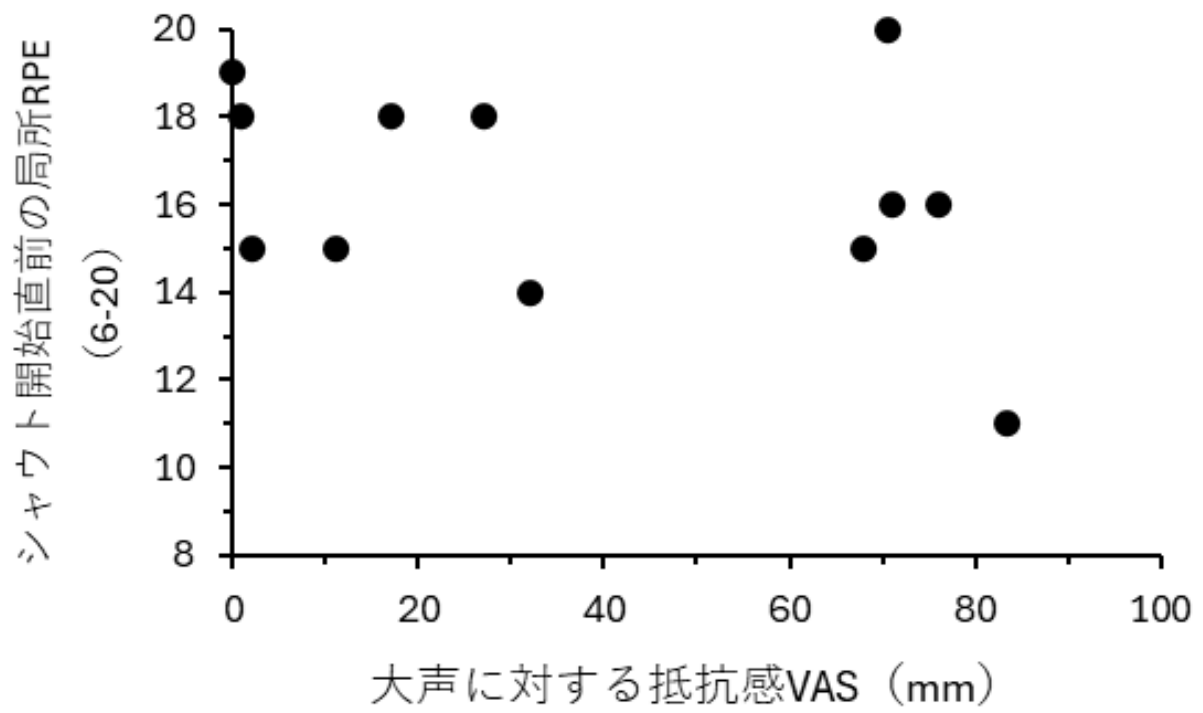


図 12 大声を出すことへの抵抗感 (VAS) とシャウト開始直前の局所 RPE との関係

で同程度であった。抵抗感 VAS と反復回数の変化量や RPE との関連は認められなかった。本研究結果は、トレーニング経験および抵抗感がシャウト効果に影響を及ぼすという仮説とは異なる結果を得た。

#### 1) シャウトによる反復回数の変化

本研究の主要な結果として、シャウトあり条件では、シャウトなし条件と比較して 3 セット目の反復回数が有意に増加した(図 4)。この結果は、シャウト等の刺激が最大努力時の随意的力発揮を引き上げることや疲労局面でのシャウト条件の方が高い力発揮を維持したことを報告する先行研究の方向性と一致する(Ikai and Steinhaus. 1961, Takarada and Nozaki. 2022)。また、本研究では条件間での反復回数差を先行研究で用いられる MVC 変化率と比較しやすくする目的で、Brzycki 推定式を補助的に用いて推定最大筋力変化率へ換算した(Matt et al. 1993, Richens et al. 2014)。全体平均の反復回数の差は約 16.6%に相当し、Ikai らが疲労局面の最大努力で報告した筋力増加率約 12.2%や、Takarada らが持続的 最大随意収縮を用いた研究で報告した約 30%の維持効果と同様に、シャウトにより出力が高まることを示した。ただし、Brzycki 推定式は反復回数が多い領域で妥当性が低下し得ること、根拠データが明示されていない点が指摘されているため、換算値は厳密な最大筋力変化を表すものではなく、先行研究との比較を補助する概算指標として換算値は参考値として位置づける (Matt et al. 1993, Richens et al. 2014)。

反復回数の変化率については条件間・群間ともに差が認められず、シャウトによる反復回数増加の程度がトレーニング経験の違いによって異なるとは言えなかった(図 9、図 13)。このことは、シャウトがトレーニング経験の有無に関わらず、同様の効果をもたらす手法であることを示唆している。シャウトなどの

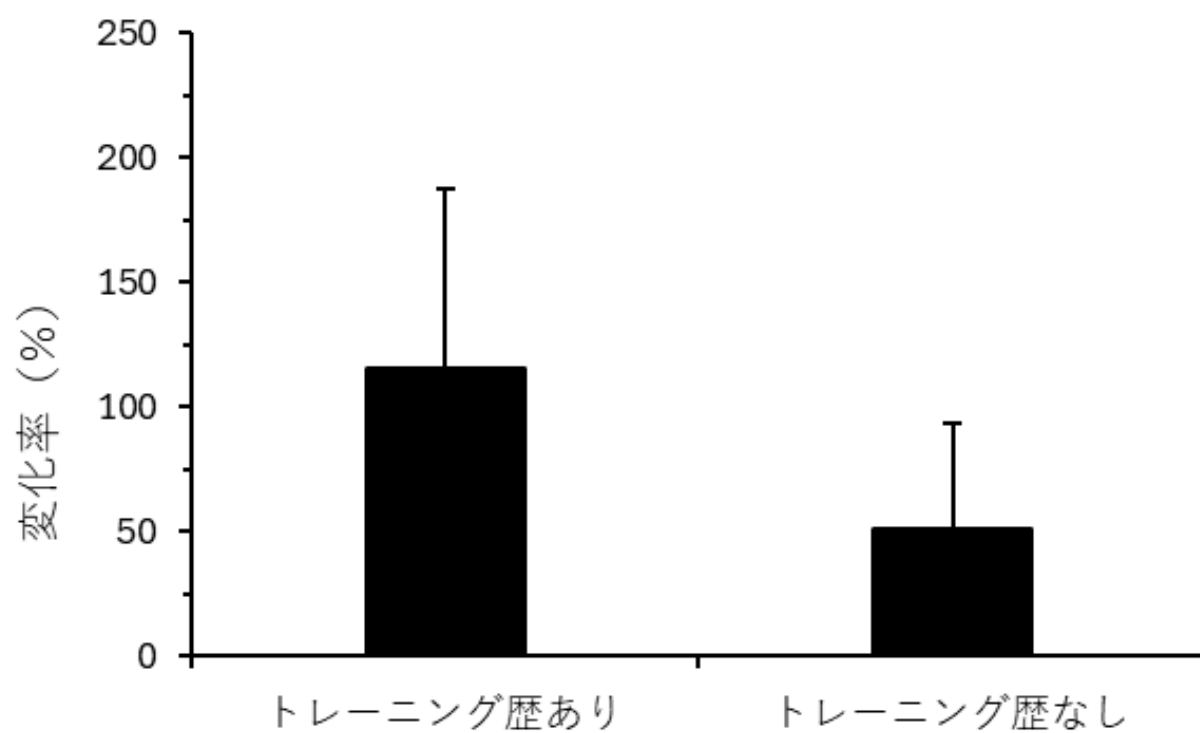


図 13 トレーニング歴の有無別における反復回数の変化率の比較

認知的戦略の効果がトレーニング経験によって一定の傾向を示すとは限らないとされており、本研究においても経験者ほど効果が小さいという仮説は支持されなかった (Tod et al. 2015)。

## 2) 疲労に伴う RPE の上昇とトレーニング経験による影響

シャウトあり条件において、シャウト開始直前から3セット目終了時にかけて全身 RPE および局所 RPE が有意に増加した(図 6)。加えて、シャウト開始直前の局所 RPE はトレーニング歴あり群がトレーニング歴なし群よりも有意に低かった(図 7)。一方で、3セット目終了時の局所 RPE は条件間・群間ともに有意差が認められず、同程度の主観的運動強度に達していた。運動終了時の RPE が 17-20 に多く分布すると報告されている (Scherr et al. 2013)。本研究で観察された局所 RPE は 16-17 であり、課題が主観的な限界付近まで実施されていた可能性がある。さらに、運動終了時の局所 RPE が条件間で同程度であったにもかかわらず反復回数には条件差が認められた点は、シャウトを用いることで同程度の主観的限界に到達するまでに行うことができる仕事量に変化したと考えられる。シャウト開始直前の局所 RPE に群差が認められたことは、シャウトを始めるタイミングの判断や主観的運動強度の捉え方に影響している可能性を示す。RPE を手がかりに運動強度を調整する能力はトレーニング経験を積むほどその調整が上手くなる可能性が報告されている (Eston et al. 2005)。本研究でも、シャウト直前の局所 RPE がトレーニング歴あり群で有意に低かったことから、シャウト開始の限界に近いとみなす基準が群によって異なっていた可能性がある。ただし、シャウト開始の判断過程は本研究では直接評価していない。

## 3) MVC 低下率および大声を出すことへの抵抗感と反応の個人差

本研究では、運動課題前後で MVC がいずれの条件においても有意に低下し(図 8)、運動課題により筋疲労が確認された。一方、3 セット終了後の MVC 低下率は条件間に有意差はなかった(図 9)。反復回数が増加したにもかかわらず MVC 低下率が同程度であった点は、シャウトによる反復回数の上乗せが、MVC の低下率を増大させるものではない可能性がある。これは、パフォーマンスの変化と筋疲労の変化が必ずしも一致しないという報告と一致する (Marcora et al. 2009)。

抵抗感 VAS と反復回数の変化量、局所 RPE、MVC 低下率の間に有意な相関が認められなかったことから、大声を出すことへの抵抗感が強い人ほどシャウト効果が限定的であるという仮説は支持されなかった(図 10、図 11、図 12)。Ikai らが示した心理的抑制の解除という考え方を踏まえると、大声を出すことへの抵抗感と反復回数の変化量や RPE などの指標の関連が認められなかった点は、シャウト効果が主観的評価に依存するとは限らない可能性が考えられる。ただし、抵抗感は大声を出すことへの心理的抵抗の自己評価であり、実際の発声強度や発声の質などを直接測定しているわけではない。

以上 3 つのことから、疲労が蓄積する局面においても、シャウトを用いることで反復回数が増加することが示された。本研究ではトレーニング経験の有無や大声を出すことへの抵抗感と明確な関連を示さなかったことから、シャウトはトレーニング習熟度に依存しにくく、補助者やトレーニング条件の変更を必要とせずにできるトレーニングボリュームを確保する方法として位置づけられる。本研究では発声強度や中枢神経活動を直接評価していないため、今後は声の大きさやシャウトをするタイミングなどの標準化や実施上の安全面の扱いが課題である。

本研究にはいくつかの限界がある。1 つ目は、中枢神経活動を直接測定していないため、シャウトの効果を中枢性要因によって説明することは推測にとどまる点である。シャウトの効果をより直接的に評価

するには、TMS や筋電図などの神経生理学的指標を用いることが求められる。2 つ目は、シャウトの発声強度を統一していないため、声の大きさが得られる効果におよぼす影響を評価できない点である。発声条件を一定にする方法が考えられる一方で、発声に注意が割かれることで、シャウト本来の効果が十分に得られない可能性がある。3 つ目は、対象者数が少なく個人差が大きいことから、群間差や相関に関する検出力には限界がある点であるため、対象者数を増やし同様の結果が得られるかを確認する必要がある。

## 結論

本研究では、疲労が蓄積する局面におけるシャウトが反復回数に及ぼす影響を、トレーニング経験および大声を出すことへの抵抗感の観点から検討した。その結果、シャウトあり条件では 3 セット目の反復回数が増加した一方、MVC 低下率は条件間で同程度であった。また、トレーニング経験の有無および抵抗感、シャウト効果と明確な関連を示さなかった。以上より、シャウトは疲労局面での反復回数を増加させるが、その効果が経験や抵抗感によって一貫して変化するとは言えなかった。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、渡邊航平先生には指導教員として丁寧なご指導を頂きました。深く感謝いたします。また、実験にご協力いただいた本学生の皆様にもお礼申し上げます。

## 参考文献

・Allen, D. G., Lamb, G. D. & Westerblad, H. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms, Physiological Reviews, 88(1), 287-332, 2007



- American College of Sports Medicine, Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687-708, 2009
- Blanchfield, A. W., Hardy, J., Morree, H. M. D., Staiano, W. & Marcora, S. M. Talking Yourself Out of Exhaustion: the Effects of Self-talk on Endurance Performance, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(5), 998-1007, 2014.
- Carroll, T. J., Taylor, J. L. & Gandevia, S. C. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise, *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1068-1076, 2017
- Day, M. L., McGuigan, M. R., Brice, G. & Foster, C. Monitoring exercise intensity during resistance training using the session RPE scale, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 353-358, 2004
- Duchateau, J., Semmler, J. G. & Enoka, R. M. Training adaptations in the behavior of human motor units, *Journal of Applied Physiology*, 101(6), 1766-1775, 2006
- Enoka, R. M. & Duchateau, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function, *The Journal of Physiology*, 586(1), 11-23, 2008
- Eston, R. G., Faulkner, J. A., Mason, E. A. & Parfitt, G. The validity of predicting maximal oxygen uptake from perceptually regulated graded exercise tests of different durations, *European Journal of Applied Physiology*, 97(5), 535-541, 2006
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P. & Dodge, C. A new approach to monitoring exercise training, *Journal of Strength*

and Conditioning Research, 15(1), 109-115, 2001

• Gandevia, S. C., Allen, G. M., Butler, J. E. & Taylor, J. L. Supraspinal factors in human muscle fatigue: evidence for suboptimal output from the motor cortex, The Journal of Physiology, 490(2), 529-536, 1996

• Gandevia, S. C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue, Physiological Reviews, 81(4), 1726-1771, 2001

• Ikai, M., & Steinhaus, A. H. Some factors modifying the expression of human strength, Journal of Applied Physiology, 16 (1), 157-163, 1961

• Marcora, S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs, Journal of Applied Physiology, 106(6), 2060-2062, 2009

• Marcora, S. M., Staiano, W. & Manning, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans, Journal of Applied Physiology, 106(3), 857-864, 2009

• Matt, B. Strength Testing-Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue, Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 64(1), 88-90, 1993

• McNair, P. J., Depledge, J., Brett Kelly, Matt., Stanley, S. N. Verbal encouragement: effects on maximum effort voluntary muscle action, British Journal of Sports Medicine, 30(3), 243-245, 1996

• Richens, B. & Cleather, D. J. THE RELATIONSHIP BETWEEN THE NUMBER OF REPETITIONS PERFORMED AT GIVEN INTENSITIES IS DIFFERENT IN ENDURANCE AND STRENGTH TRAINED ATHLETES, 31(2), 157-161,

2014

• Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S. & Halle, M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity, *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 147–155, 2013

• Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. & Krieger, J. W. Effects of Resistance Training Frequency on Measures of Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis, *Sports Medicine*, 46(11), 1689–1697, 2016

• Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis, *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1073–1082, 2017

• Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grigg, J., Delcastillo, K., Belliard, R. & Alto, A. Resistance Training Volume Enhances Muscle Hypertrophy but Not Strength in Trained Men, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(1), 94–103, 2019

• Škarabot, J., Brownstein, C. G., Casolo, A., Vecchio, A. D. & Ansdell, P. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training, *European Journal of Applied Physiology*, 121(3), 675–685, 2021

• Takarada, Y. & Nozaki, D. Shouting strengthens voluntary force during sustained maximal effort through enhancement of motor system state via motor commands, *Scientific Reports*, 12(1), 16182, 2022

- ・Taylor, J. L., Todd, G. & Candevia, S. C. EVIDENCE FOR A SUPRASPINAL CONTRIBUTION TO HUMAN MUSCLE FATIGUE, *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 33(4), 400-405, 2006
- ・Taylor, J. L., Amann, M., Duchateau, J., Meeusen, R. & Rice, C. L. Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2294-2306, 2016
- ・Tod, D. A., Iredale, K. F., McGuigan, M. R., Strange, D. E.O., & Gill, N. "Psyching-up" enhances force production during the bench press exercise, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 599-603, 2005
- ・Tod, D., Hardy, J., Oliver, E. Effects of self-talk: A systematic review, *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 33(5), 666-687, 2011
- ・Tod, D., Edwards, C., McGuigan, M. & Lovell, Geoff. A Systematic Review of the Effect of Cognitive Strategies on Strength Performance, *Sports Medicine*, 45(1), 1589-1602, 2015
- ・スポーツ庁. 令和6年度「スポーツの実施状況等に関する世論調査」.

レジスタンストレーニングによって誘発される  
非局所性筋疲労の特性

J622020

笠井実咲

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：運動習慣の重要性が再認識されているが、いまだ運動実施率は目標に達していない。その主な原因の一つとして時間的制約が挙げられる。そのため、短時間で効率的なトレーニング方法の検討が求められる。そこで本研究では、短時間で高ボリュームのトレーニングが可能であるドロップセット法に着目した。一方、トレーニングでは使用していない非運動筋においても、中枢性疲労によりパフォーマンスが低下する非局所性筋疲労（Non-local muscle fatigue：NLMF）という現象が報告されており、後続種目のパフォーマンスが低下する可能性が示唆されている。しかし、実際のレジスタンストレーニングに近い条件でこの現象を検討した研究は行われていない。そこで本研究の目的は、実際のレジスタンストレーニングに近い条件において、NLMF がどのように誘発されるのかを検討することである。

方法：健康な大学生 17 名を対象に等尺性膝伸展トルクを測定した後、ドロップセット条件およびガイドライン条件の 2 条件で等尺性肘屈曲の運動課題を実施した。運動課題の 15 秒後、1 分後、3 分後、5 分後において非運動筋である等尺性膝伸展トルクを測定し、その変化を NLMF の指標として評価した。

結果：運動課題の前後で等尺性膝伸展トルクを比較した結果、ドロップセット条件では運動課題後のすべての測定時点において有意な低下が認められた ( $p < 0.05$ )。一方、ガイドライン条件では 15 秒後、3 分後は有意な低下が認められたが ( $p < 0.05$ )、1 分後および 5 分後では有意な差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。また、同一測定時点における条件間の有意な差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。

結論：ドロップセット条件およびガイドライン条件のいずれにおいても、運動課題後に非運動筋の筋力低下が認められ、NLMF が誘発された可能性が示唆された。一方、トレーニング方法が異なる条件間であっても NLMF に有意な差は認められなかった。

## 背景

スポーツ庁による第 3 期スポーツ基本計画ではスポーツ実施率の目標が定められている。しかし現状では、20 歳以上の週 1 回以上の運動・スポーツ実施率が 52.0%にとどまっている(第 3 期スポーツ基本計画)。また、スポーツ庁の令和 5 年度「スポーツの実施状況等に関する世論調査」では、運動やスポーツの実施率が低い主な要因として、仕事や家事が忙しいという理由が最も多いと報告されている(令和 5 年度スポーツの実施状況等に関する世論調査 2024)。これらの結果は、運動・スポーツの実施率向上には時間的制約の解決が必要であり、短時間で実施可能な手段の検討が必要であることを示している。また、「健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023」が改正されたことにより、筋力トレーニングの重要性が強調されており、短時間で効率的に筋力トレーニングを実施する方法の確立が必要である(健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023)。

アメリカスポーツ医学会のガイドラインによると、レジスタンストレーニングは全身の主要な筋群すべてに対して実施することが推奨されている(Ratamess et al 2009)。運動強度の維持を最適化するために運動の順序を調整することも推奨されており、小筋群運動の前に大筋群運動、単関節運動の前に多関節運動、低強度運動の前に高強度運動の順で実施することが望ましいとされている(Ratamess et al 2009)。このように、ガイドラインでは運動順序を工夫することで運動強度の維持が可能であるとされている。一方で、異なる 4 種目のレジスタンストレーニングを 70%1RM で 10 回 4 セット、セット間の休息を 2 分間というガイドラインに基づいた方法で実施した。本来であれば完遂可能と考えられる条件であるが、4 種目目で 10 回完遂できなかつたと報告されている(Kraemer & Ratamess 2004)。これは、先行種目による疲労の蓄積が後続種目のパフォーマンス低下を引き起こした可能性を示唆している。さらに、

先行研究によると疲労の影響によるパフォーマンス低下は、局所性の末梢性疲労のみではなく運動を行っていない筋のパフォーマンスが低下する、非局所性筋疲労(Non-local muscle fatigue : NLMF)という現象があることが報告されている(Kennedy et al 2013、Halperin et al 2015、Aboodarda et al 2015)。

このような NLMF の現象により、後続種目のパフォーマンス低下がトレーニング全体の効果に影響を及ぼす可能性が考えられる。また、これまでに NLMF に関するさまざまな研究が行われているが、それらの多くは時間到達限界課題や持続的筋力発揮などの実験的な運動課題で実施しており、実際のトレーニング現場に近い条件で検討した研究は行われていない(Kennedy et al 2013、Halperin et al 2015、Aboodarda et al 2015)。そのため、現場で実施されているレジスタンストレーニングにおいて、実際に NLMF が生じているかについては十分に明らかにされていない。これらの背景から、実際に実施されているレジスタンストレーニングの方法が、どのような疲労特性を示すのかを明らかにする必要があると考えた。

筋力向上はトレーニングボリュームに依存し、1 種目 1 セットの低ボリュームと比較して、1 種目 3 セットの高ボリュームの方が筋力向上に有意であると報告されている(Naclerio et al 2013)。しかし、ガイドラインに基づいた高ボリュームでのトレーニングは複数種目を行うことで、1 時間を超える場合が多く、時間的制約という課題の解決が困難である。そこで、ガイドラインに基づいた方法の半分から 1/3 程度の時間で実施可能なドロップセット法に着目した。ドロップセット法はトレーニング時間を短縮しつつ高い代謝ストレスや高ボリュームを確保することが可能な方法であり、筋力や筋肥大の促進が期待されている。一方で神経筋パフォーマンスの低下が起こるため、回復時間の延長が示唆されている(Sødal et al 2023)。また、NLMF は誘発されやすい条件があり、高強度なトレーニング、疲労困憊まで実施した



トレーニングである(Halperin et al 2015)。これにより、ドロップセット法はNLMFが誘発されやすい条件に該当するのではないかと考えられる。

本研究の目的は、実際のレジスタンストレーニングに近い条件において、NLMFがどのように誘発されるのかを明らかにすることである。本研究では以下の3つの仮説を設定した。1) ドロップセット法は高強度かつ疲労困憊まで実施されるため、NLMFが誘発される。2) ガイドラインに基づいた従来の方法であっても、高強度の負荷によってNLMFが誘発される。3) ドロップセット法はガイドラインに基づく方法と比較して、より大きなNLMFが誘発され、その回復にもより長い時間を要する。

## 方法

### 研究対象者

健康な大学生17名(男性9名、女性8名、年齢:  $21 \pm 1.2$  歳、身長:  $166.2 \pm 6.9$  cm、体重:  $61.1 \pm 9.3$  kg)が本研究に参加した。週3回以上のトレーニング習慣がある者が10名。無い者が7名であった。また、参加者はカフェイン入りの飲料を12時間前、激しい運動とアルコールを24時間前から控えるように指示された。

### 実験デザイン

参加者は合計2回実験室(中京大学豊田キャンパス17号館1階スポーツ工学実験室)に訪れた。参加者はドロップセット条件およびガイドライン条件の2つの条件の実験を、48時間以上の間隔を空けてランダムな順序で実施した。実験プロトコルを図1に示す。

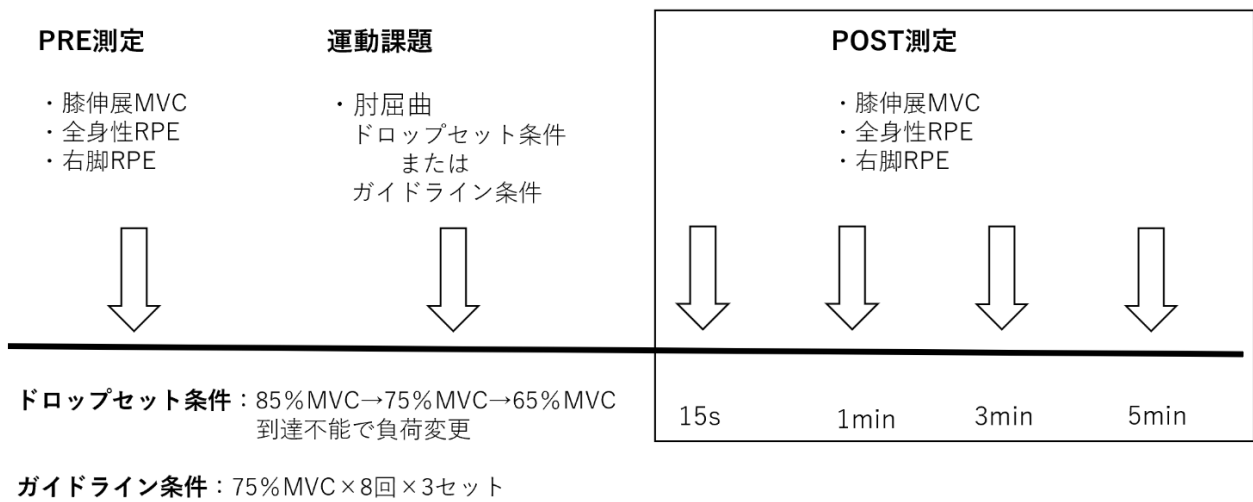


図1 実験プロトコル

それぞれの条件において、運動課題前に右脚の等尺性膝伸展最大随意筋力 (MVC) および主観的運動強度 (RPE) を測定し、その後、等尺性肘屈曲による運動課題を右腕、左腕の順で実施した。運動課題後には、回復過程を記録するため、膝伸展 MVC および RPE を運動課題の 15 秒後、1 分後、3 分後、5 分後のタイミングで測定した。

#### 等尺性膝伸展最大随意筋力

等尺性膝伸展最大随意筋力 (MVC) は、運動課題で使用していない筋群の筋力の変化を記録することで、NLMF の指標とするために測定した。研究対象者は、股関節と膝関節を 90 度となる姿勢で座り、足部をアタッチメントに装着した。(図 2)測定には、ダイナモメーター(竹井機器工業株式会社、新潟、日本)とフォーストランスデューサー (LU-100KSE、協和電子工業、愛知、日本)が使用された。対象者は、標準化されたウォーミングアッププロトコル(30%、50%、70%の最大化等尺性収縮)を実施した後、膝伸展 MVC の測定を 3 回実施した。測定の際は 2〜3 秒かけて発揮筋力を徐々に増加させ、次の 2〜3 秒で最大努力をするように指示された。測定は右脚で実施し、測定された筋力の値とモーメントアーム(膝蓋骨中心からトランスデューサーまでの距離)の積から最大等尺性膝伸展トルクとして算出した。測定のタイミングは運動課題前と、運動課題後(15 秒後、1 分後、3 分後、5 分後)であった。

#### 主観的運動強度

Borg scale を用いて 6 から 20 までの 15 段階で実施した。奇数ごとに強度の説明が記載された表を使用し、数字による口頭での応答を求めた(図 3)。全身性の主観的運動強度(RPE)と局所性 RPE を、運動課題前および運動課題後の各測定タイミング(15 秒後、1 分後、3 分後、5 分後)において、膝伸展 MVC の測定直後に評価した。

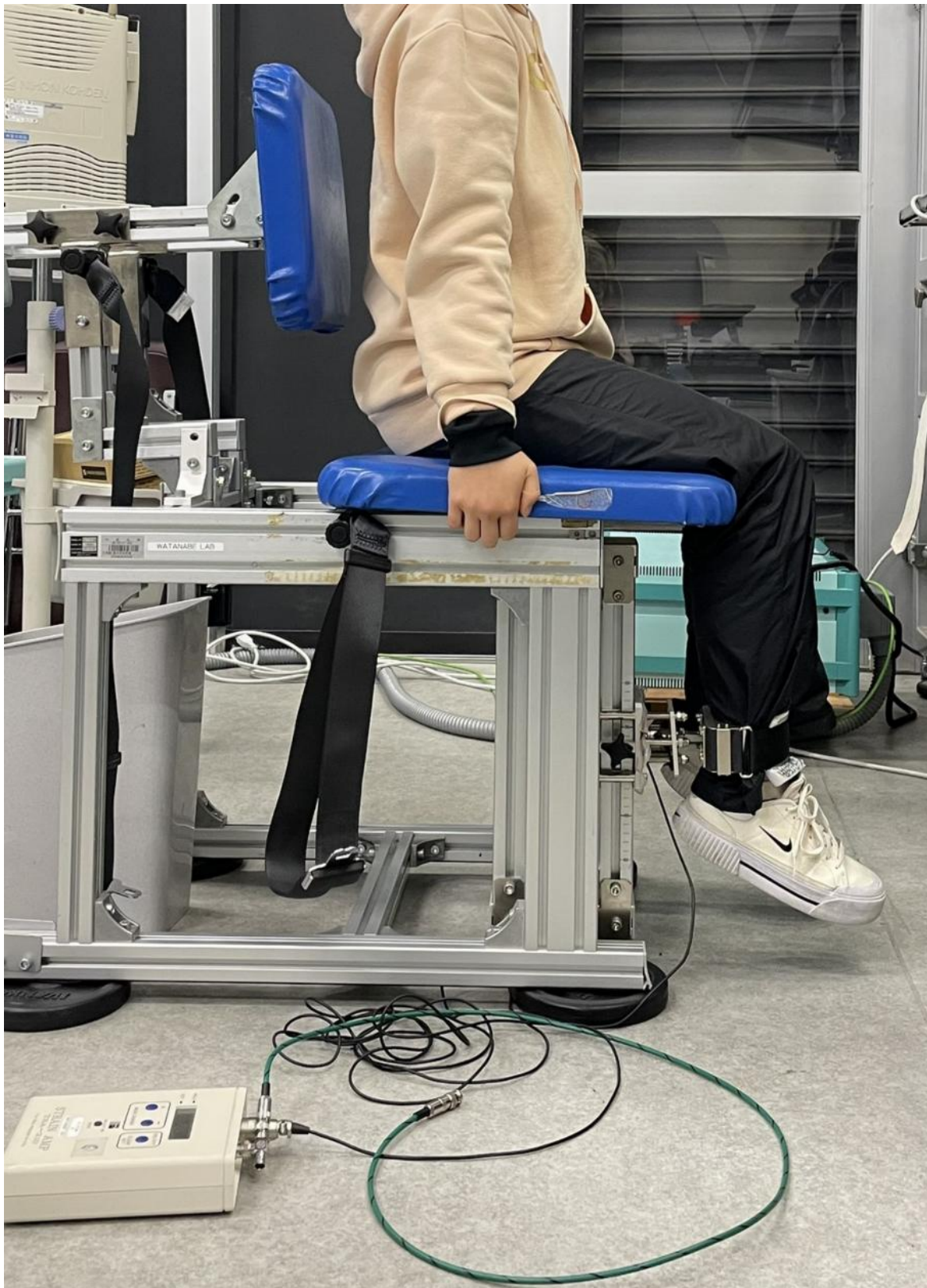


図2 等尺性膝伸展最大随意筋力測定姿勢

くだ  
考慮

主観的運動強度	
20	
19	非常にきつい
18	
17	かなりきつい
16	
15	きつい
14	
13	ややきつい
12	
11	楽に感じる
10	
9	かなり楽に感じる
8	
7	非常に楽に感じる
6	

図 3 主観的運動強度表

局所性 RPE については、NLMF の指標である右脚で実施したため、右脚 RPE とする。口頭での指示は、「全身の主観的な運動強度と、右脚の運動強度を表の数字で教えてください。」と表を見せながら指示をした。

#### 等尺性肘屈曲最大随意筋力

等尺性肘屈曲最大随意筋力(MVC)は、運動課題の強度設定のために測定した。研究対象者は、肘屈曲位 60 度で上腕が床と並行になる姿勢で座り、前腕部をアタッチメントに装着した(図 4)。測定には、ダイナモメーター(竹井機器工業株式会社、新潟、日本)とフォーストランスデューサー(LU-100KSE、協和電子工業、愛知、日本)が使用された。研究対象者は、標準化されたウォーミングアッププロトコル(30%、50%、70%の最大化等尺性収縮)を実施した後、肘屈曲 MVC の測定を 2~3 回実施した。最大筋力の測定の際は 2~3 秒かけて発揮筋力を徐々に増加させ、次の 2~3 秒で最大努力をするように指示された。測定は右腕、左腕の順で両側実施した。

#### 運動課題

運動課題は肘屈曲 MVC を用いて強度設定を行った。肘関節の等尺性屈曲を 5 秒間の力発揮と 2 秒間の休息を 1 回とした。力発揮時間、強度を明確にするためにメトロノームを 60bpm に設定しリズムを合わせ、モニターで発揮筋力の視覚的フィードバックを行い、目標強度を表示した。右腕、左腕の順で実施した。ドロップセット条件では肘屈曲 MVC における 85%、75%、65%の順で 3 段階の強度設定で行った。それぞれ目標強度に到達できなくなるまで実施し、発揮筋力が目標値に達しなくなった時点で、休息を入れずに次の強度へ移行した。ガイドライン条件では、肘屈曲 MVC における 75%強度で 8 回 3 セット行った。セット間の休憩は 120 秒とした。





図 4 等尺性肘屈曲最大随意筋力測定姿勢

目標強度に到達できなくなった場合、その時点で 30 秒間の追加休憩を挿入し、その後再度実施した。4 人の参加者が追加休憩を要したが、13 人は休憩を追加することなく、運動課題を完遂した。それぞれの運動課題において、測定者から口頭での励ましがあった。また、運動課題のトレーニングボリュームは発揮筋力(%MVC)と力発揮時間(s)の積として算出し、その和をトレーニングボリューム(%MVC・s)とした。

## 統計解析

結果は平均値±標準偏差で示す。本研究の結果は、小さなサンプルサイズに基づいたため、ノンパラメトリック検定を用いた。二つの測定項目を条件内の運動課題前と運動課題後(15 秒後、1 分後、3 分後、5 分後)でそれぞれ Wilcoxon の符号順位検定を用いて、運動課題前後の結果を比較した。また、条件間の同一のタイミングでも Wilcoxon の符号順位検定を実施し、条件間の解析を行った。それぞれの運動課題に要したトレーニング時間とそれぞれのトレーニングボリュームに関しても、Wilcoxon の符号順位検定を用いて条件間で解析を行った。

## 結果

### 最大等尺性膝伸展トルクの変化率

運動課題前と比較した運動後の最大等尺性膝伸展トルクは、ドロップセット条件では、15 秒後は $-5.95 \pm 6.93\%$ 、1 分後は $-4.36 \pm 6.59\%$ 、3 分後は $-5.58 \pm 6.24\%$ 、5 分後は $-4.02 \pm 4.84\%$ であり、すべての測定時点において有意に減少した( $p < 0.05$ ) (図 5)。ガイドライン条件では 15 秒後は $-6.77 \pm 6.13\%$ 、3 分後は $-8.08 \pm 4.81\%$ で有意に減少した( $p < 0.05$ )。1 分後は $-5.66 \pm 5.95\%$ 、5 分後は $-6.23 \pm 5.76\%$ であり、有意な減少は認められなかった( $p > 0.05$ ) (図 6)。



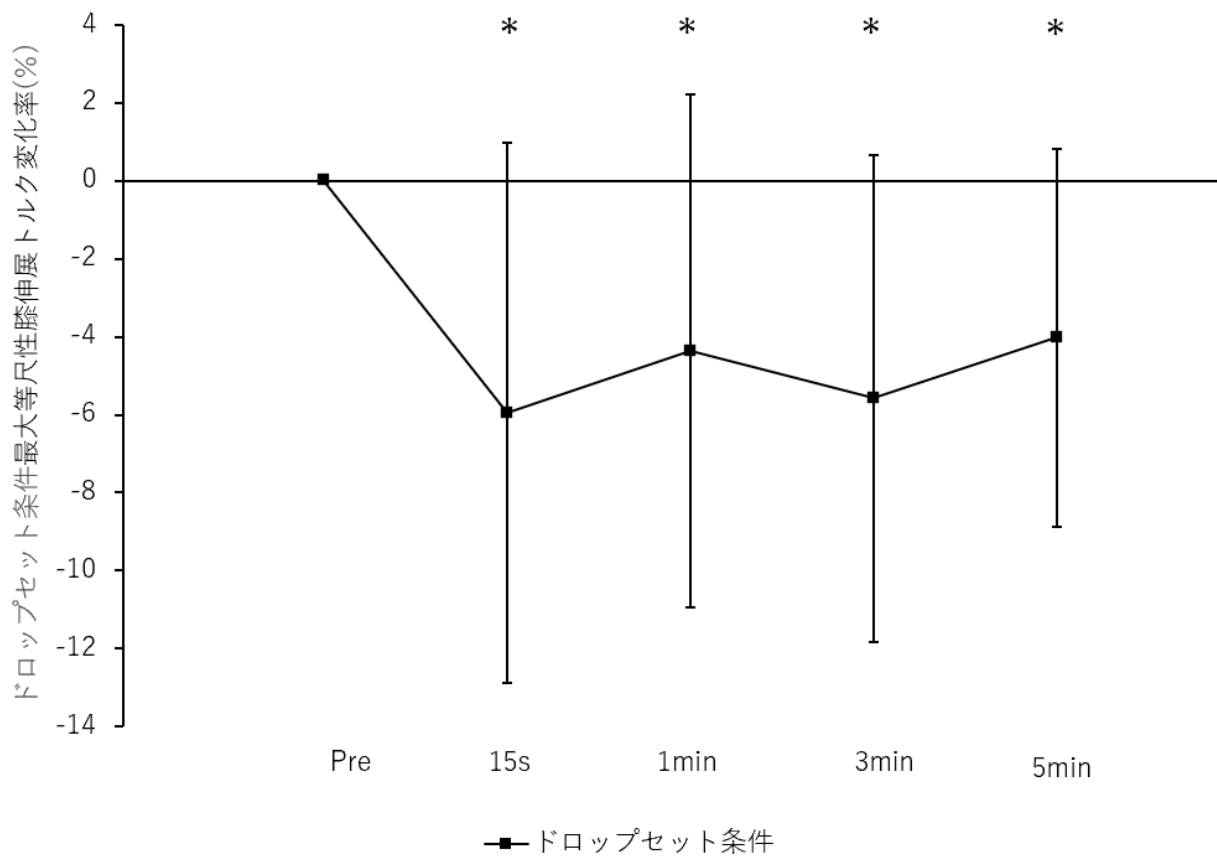


図5 ドロップセット条件最大等尺性膝伸展トルク変化率

\*  $P < 0.05$  vs Pre

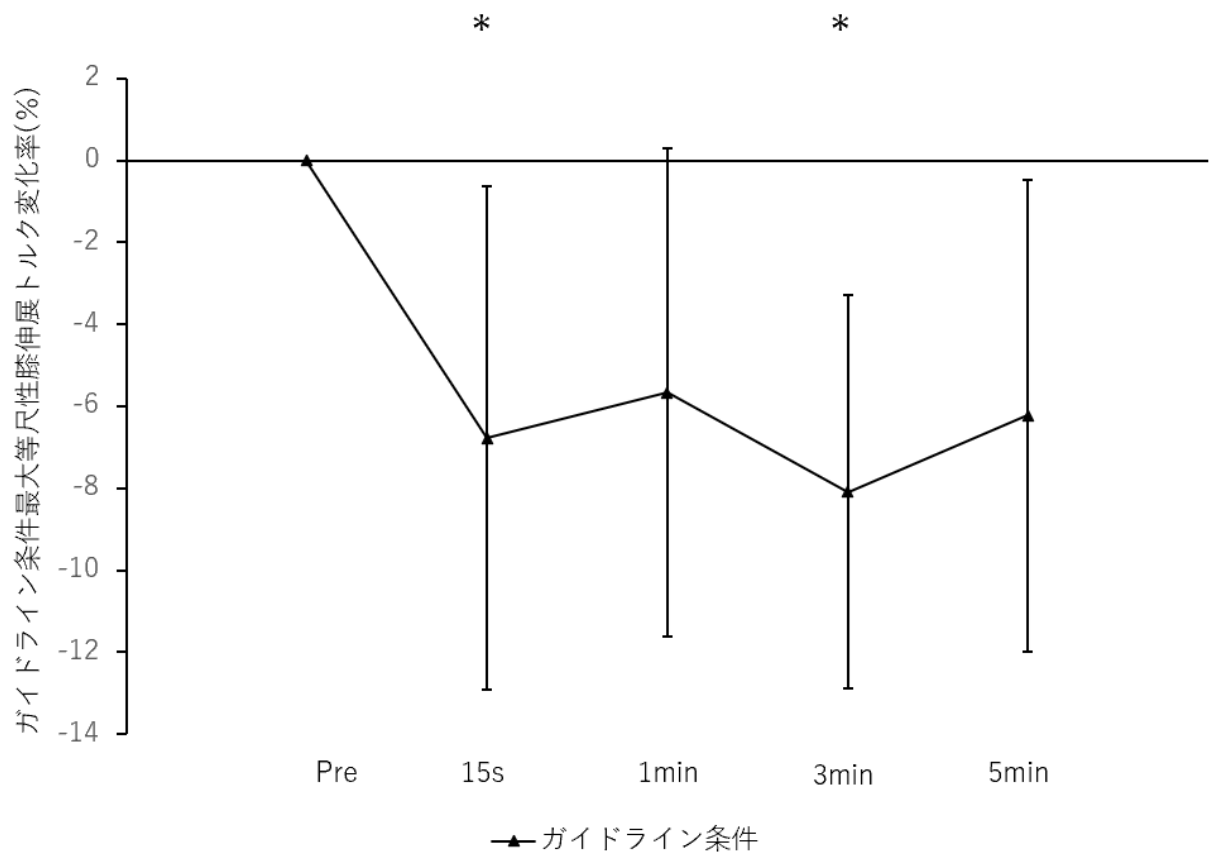


図6 ガイドライン条件最大等尺性膝伸展トルク変化率

\*  $P < 0.05$  vs Pre

#### 条件間の最大等尺性膝伸展トルクの変化率

運動課題後(15 秒後、1 分後、3 分後、5 分後)の同一時点における最大等尺性膝伸展トルクの変化率について、ドロップセット条件とガイドライン条件間の有意な差は認められなかった( $p>0.05$ ) (図 7)。

#### 主観的運動強度の変化

運動課題前と比較した運動課題後の全身性 RPE は、ドロップセット条件では、15 秒後  $14.29 \pm 1.92$ 、1 分後  $13.75 \pm 1.93$ 、3 分後  $13.76 \pm 1.55$ 、で有意な増加が認められたが( $p<0.05$ )、5 分後  $12.12 \pm 1.23$  では有意な増加は認められなかった( $p>0.05$ ) (図 8)。ガイドライン条件では、15 秒後  $13.47 \pm 1.88$ 、1 分後  $13.06 \pm 1.70$ 、3 分後  $12.00 \pm 1.85$ 、5 分後  $12.24 \pm 1.93$  のすべての時点において有意に増加した( $p<0.05$ ) (図 9)。条件間比較では、3 分後のみ有意な差が認められたが、その他の時点では有意な差は認められなかった( $p>0.05$ ) (図 10)。右脚 RPE については、両条件ともに運動課題前後で有意な変化は認められず、また同一時点における条件間の差も認められなかった ( $p>0.05$ ) (図 11、図 12、図 13)。

#### 運動課題に要する時間

運動課題に要した時間は、ドロップセット条件は  $308 \pm 85.93s$  でガイドライン条件は  $658.59 \pm 22.87s$  であり比較するとドロップセット条件の方が有意に短かった( $p<0.05$ ) (図 14)。

#### 運動課題におけるトレーニングボリューム

運動課題におけるトレーニングボリュームは、ドロップセット条件で  $16502.94 \pm 4543.43\%MVC \cdot s$ 、ガイドライン条件で  $9000.00 \pm 0.00\%MVC \cdot s$  であり比較するとドロップセット条件が有意に大きかった( $p<0.05$ ) (図 15)。

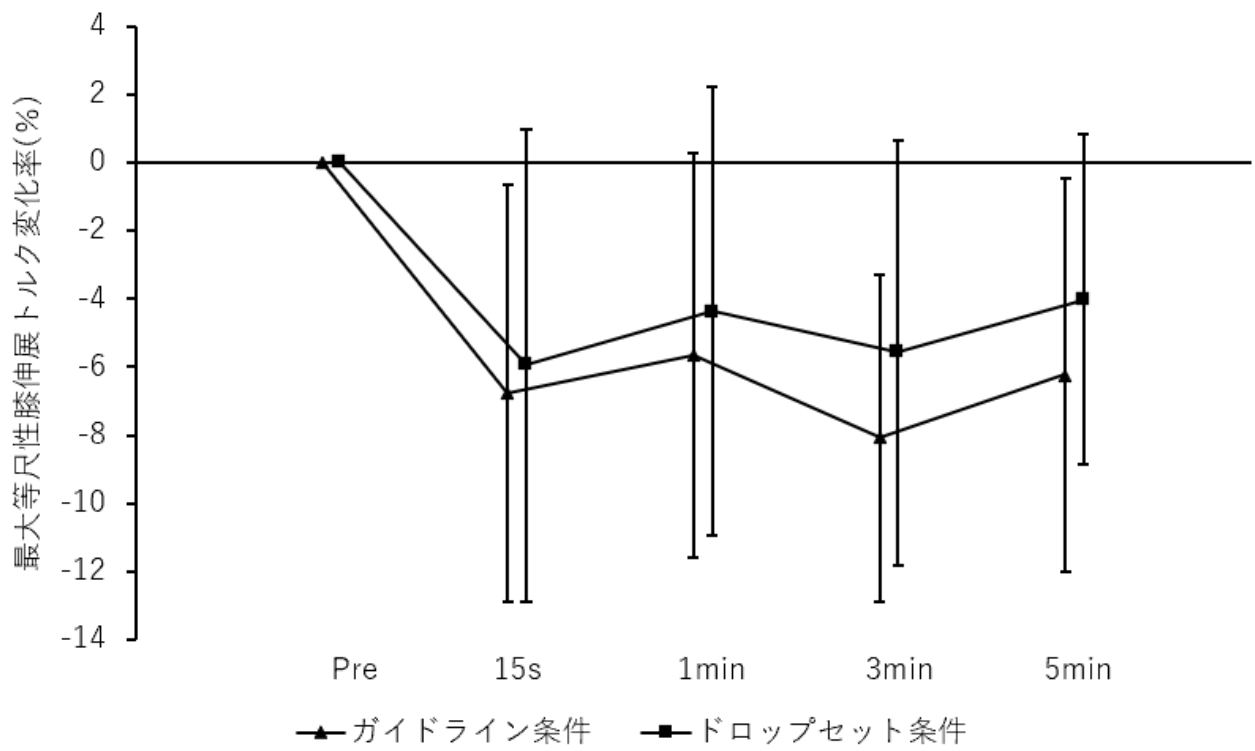


図7 条件間の最大等尺性膝伸展トルクの比較

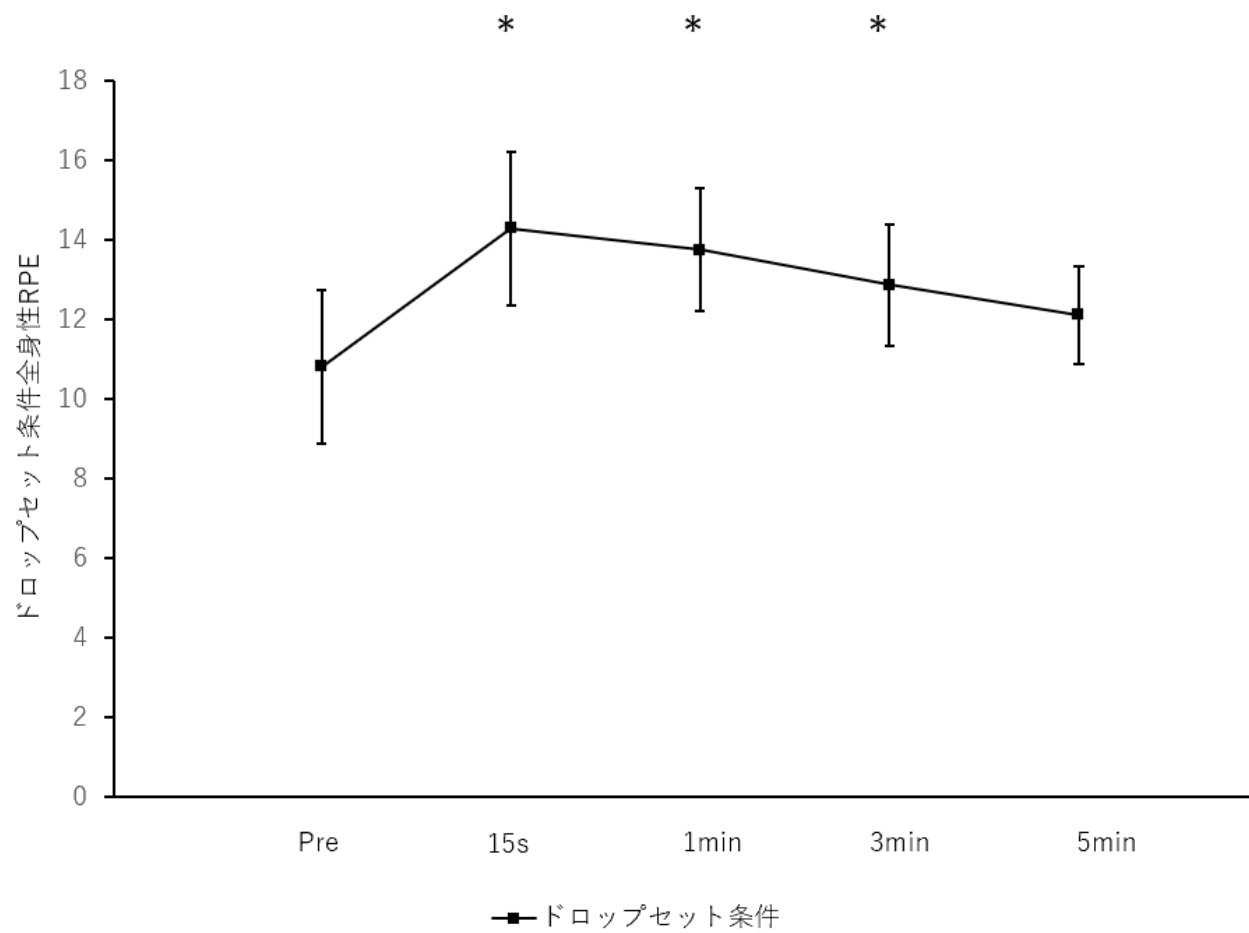


図8 ドロップセット条件全身性 RPE

\*  $P < 0.05$  vs Pre

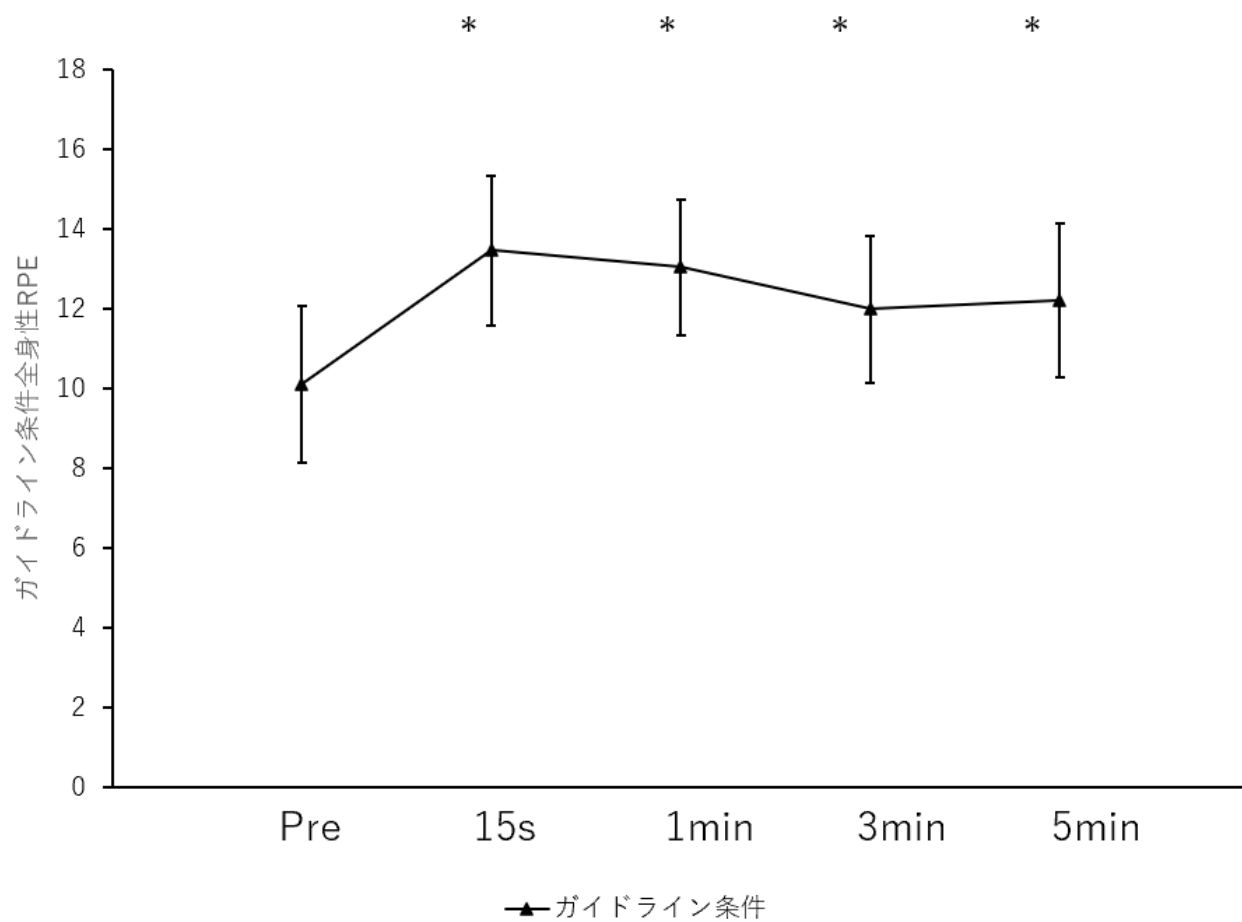


図9 ガイドライン条件全身性 RPE

\*  $P < 0.05$  vs Pre

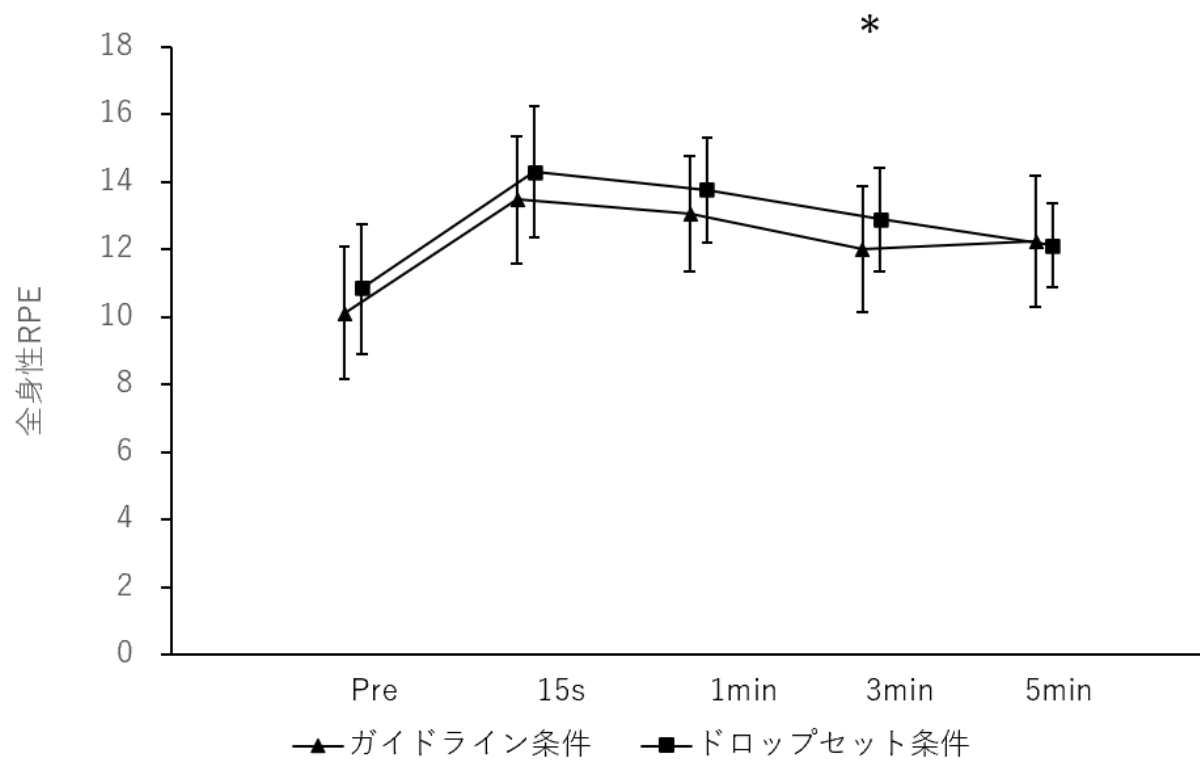


図 10 条件間全身性 RPE の比較

\*  $P < 0.05$

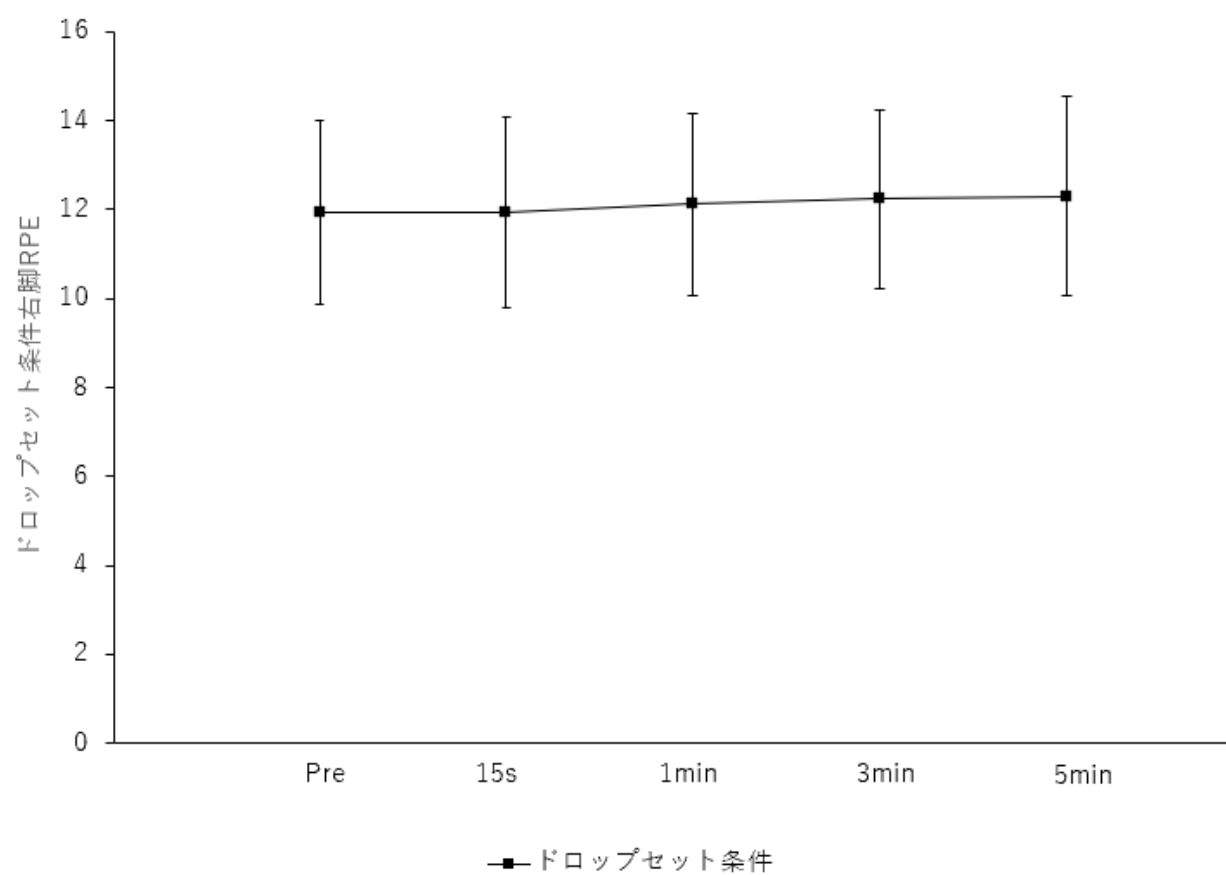


図 11 ドロップセット条件右脚 RPE



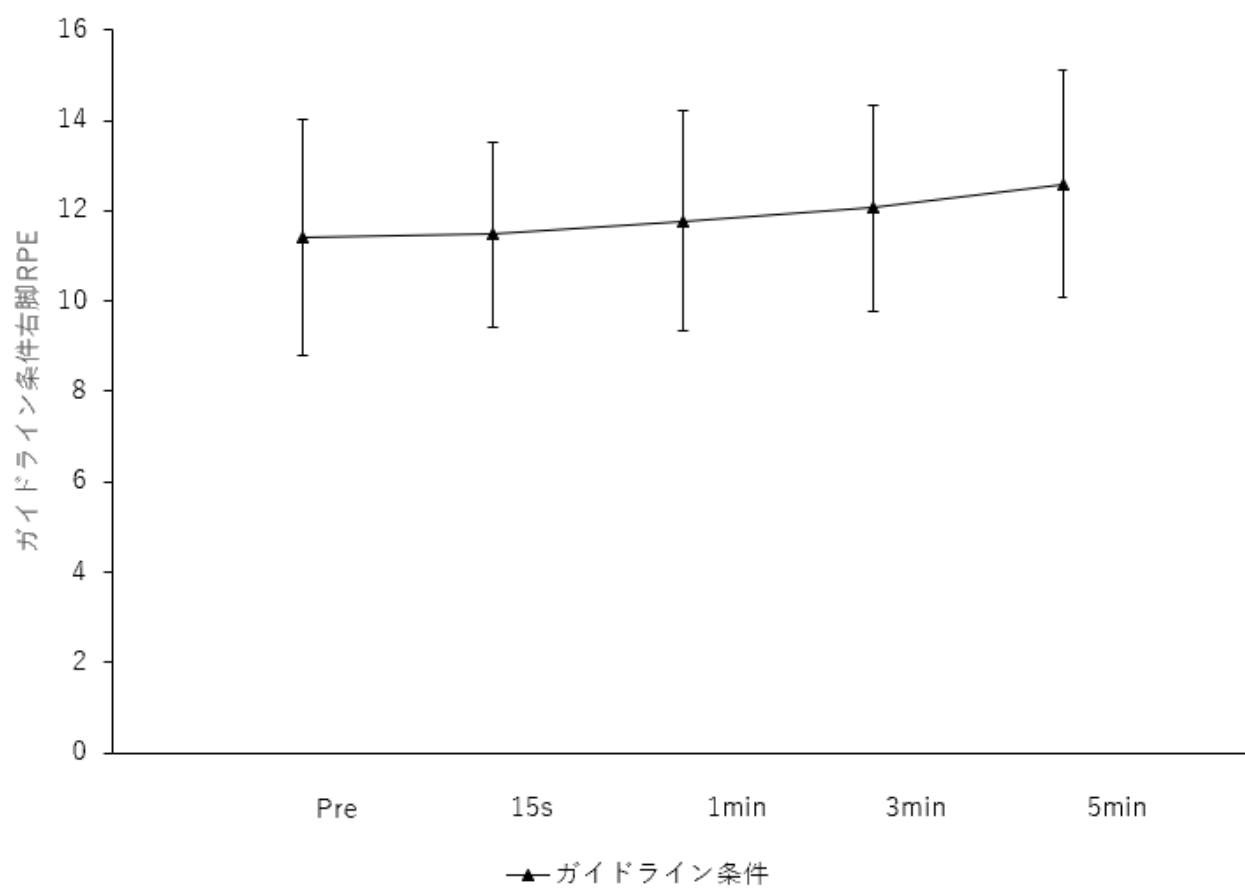


図 12 ガイドライン条件右脚 RPE

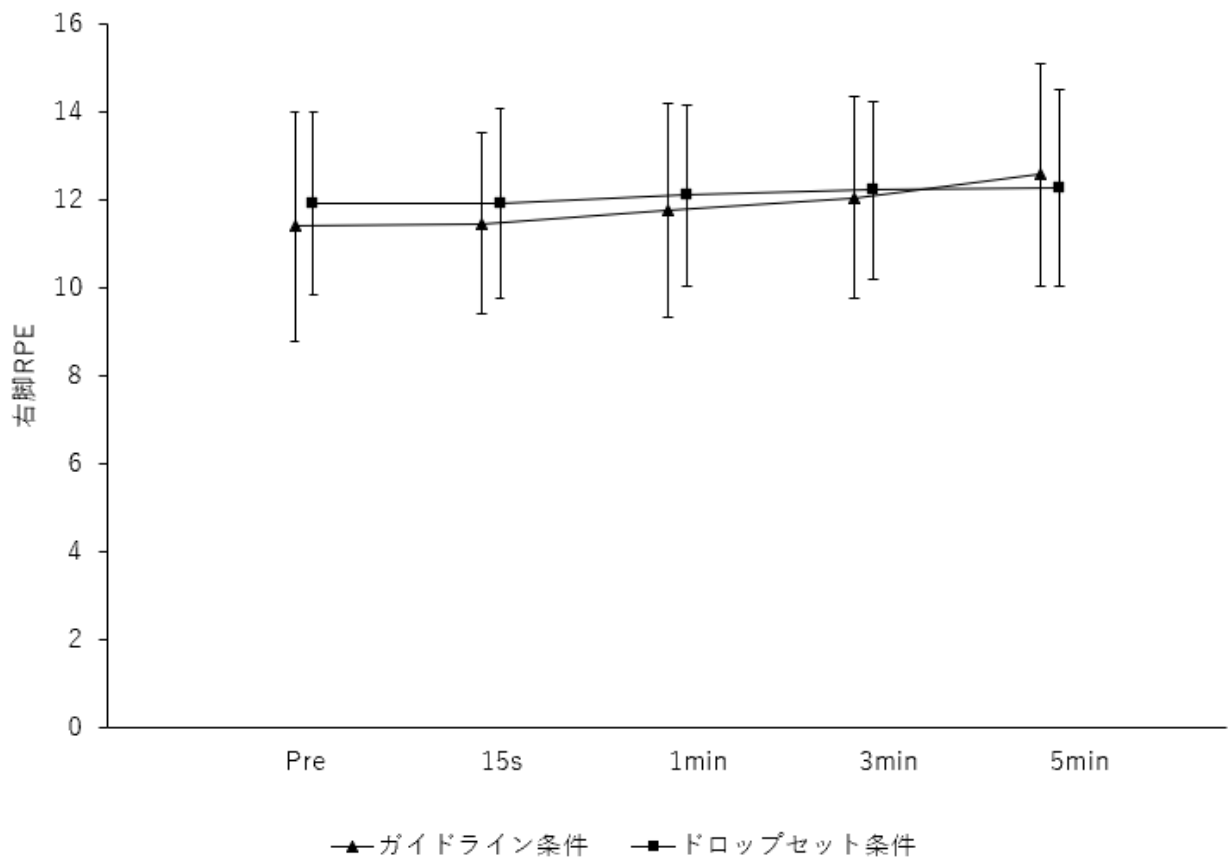


図 13 条件間右脚 RPE の比較

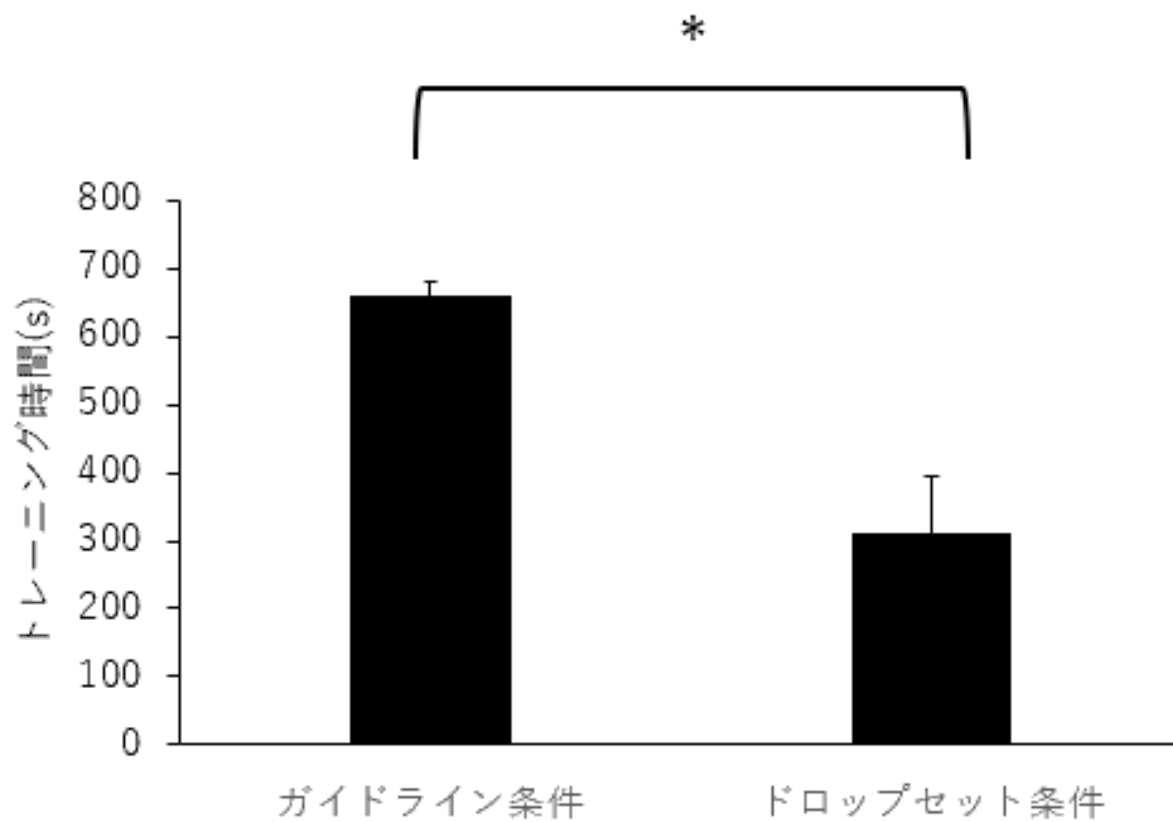


図 14 条件間トレーニング時間の比較

\*  $P < 0.05$

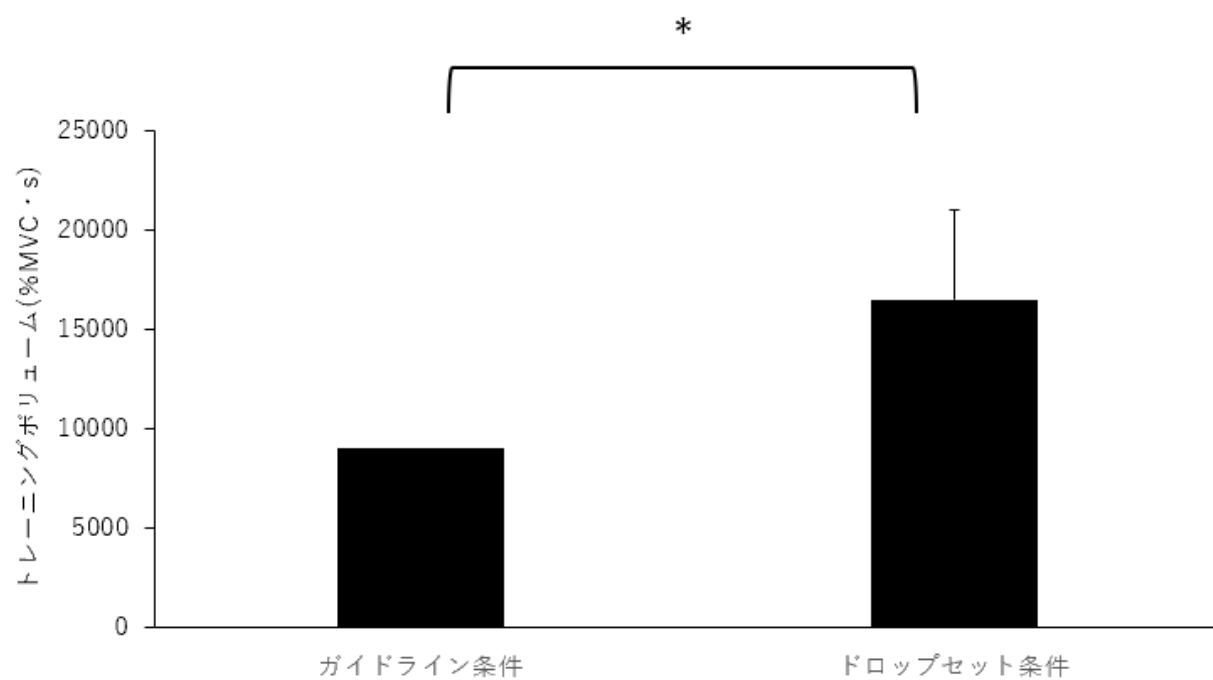


図 15 条件間トレーニングボリュームの比較

\*  $P < 0.05$

## 考察

本研究では、トレーニング現場に近い条件でレジスタンストレーニングを実施し、非局所性筋疲労 (Non-local muscle fatigue: NLMF) がどのように誘発されるのかを検討した。本研究の主な結果は以下の 3 点である。1) ドロップセット条件で最大等尺性膝伸展トルクは運動課題後に有意に減少した。2) ガイドラインに基づいた条件で最大等尺性膝伸展トルクは運動課題後に有意に減少した。3) ドロップセット条件とガイドライン条件の条件間に有意な最大等尺性膝伸展トルクの差は認められなかった。

### ドロップセット条件における NLMF

ドロップセット条件では、運動課題後のすべての時点において最大等尺性膝伸展トルクが有意に減少した。運動していない筋群による筋力低下が認められたことから、運動課題による末梢性疲労のみでは説明できず、NLMF が誘発された可能性が考えられる。これは、運動していない筋群のパフォーマンスが低下する現象、すなわち NLMF と同様だと考えられる (Kennedy et al 2012、Aboodarda et al 2015、Halperin et al 2015)。先行研究では、運動課題により IIIIV 群筋求心性神経が活性化され、それに伴い非運動筋への中樞ドライブが抑制されることを報告している (Halperin et al 2015)。また、運動出力低下は上位中樞レベルに存在することが考えられている。本研究でも、同様のメカニズムが作用した可能性が考えられる。全身性 RPE は両条件において、運動課題後のほとんどの時点で有意に増加した。ドロップセット条件の 5 分後のみ有意な増加ではなかったが、増加傾向が見られた。右脚 RPE では運動課題後のすべての時点で有意な差は認められなかった。先行研究によると、全身性の RPE は末梢性疲労による求心性フィードバックによるものではなく、運動中の中樞からの指令の増加が全身性 RPE の増加と相関することが報告されている (de Morree et al 2012)。局所性の RPE は、アシドーシスによって局所の知

覚が増加されやすく、末梢の筋の状態を強く反映すると報告されている (Faulkner et al 2019)。本研究では非運動筋である右脚の RPE が上昇しなかったにも関わらず、全身性 RPE は上昇し、最大等尺性膝伸展トルクが減少した。これは、末梢性疲労ではなく、中枢性疲労によって NLMF が誘発されたことを示唆し、先行研究のメカニズムと一致する (Halperin et al 2015)。また、ドロップセット法ではすべての時点で、最大等尺性膝伸展トルクに有意な減少が認められたことにより、一貫して NLMF が誘発されたことを示している。ドロップセット法は疲労困憊まで最大努力を継続する方法であるが、先行研究では最大努力を要する運動課題では中枢性疲労の関与が大きくなることが示されている (Gandevia, 2001)。その結果、多くの被験者が一定の中枢性疲労に到達し、一貫して NLMF が誘発された可能性が考えられる。

これらの結果により、仮説 1「ドロップセット法は高強度かつ疲労困憊まで実施されるため、NLMF が誘発される。」は支持された。

#### ガイドライン条件における NLMF

ガイドライン条件では、運動課題後に最大等尺性膝伸展トルクが減少したが、15 秒後と 3 分後のみ有意な減少であった。これは、ガイドラインに基づくレジスタンストレーニングであっても NLMF が誘発されることを示している。しかし、すべての時点で有意な増加が認められなかったことにより、個人差によるばらつきが存在した可能性が考えられる。先行研究では、随意的な最大筋力で完全に筋を動員することは難しく、その程度は個人差によっても異なると報告されている (Gandevia, 2001)。また、筋疲労の生じ方にも個人差があり、同じ休息時間であっても回復過程に個人差が生じることが報告されている (Gandevia, 2001)。運動課題の強度設定で用いた最大等尺性肘屈曲で発揮することができた筋力の個人差によって、同一の負荷、回数の運動課題であっても中枢性疲労に個人差が生じた可能性が考えられる。

これらにより NLMF にも個人差が生じ、すべての測定時点で有意な差が認められなかった可能性が考えられる。

以上の結果により、仮説 2「ガイドラインに基づいた従来の方法であっても、高強度の負荷によって NLMF が誘発される。」は一部支持された。

#### ドロップセット条件とガイドライン条件の最大等尺性膝伸展トルクの比較

運動課題後の最大等尺性膝伸展トルクのすべての測定時点において条件間に有意な差は認められなかった。運動課題に要した時間は、ドロップセット条件で有意に短く、トレーニングボリュームは有意に大きかった。先行研究においても、ドロップセット法はガイドラインに基づく方法と比較して、短時間で高ボリュームのトレーニングが可能であると示されている (Kristiansen et al 2023)。これによりトレーニング時間およびトレーニングボリュームにおいて、異なる特性を有する運動課題であったことがわかる。それにも関わらず NLMF に条件差はなかった。先行研究では、持続的収縮や時間到達限界など、長時間かつ持続的な負荷を伴う実験的な運動課題において、強い NLMF が報告されている (Kennedy et al 2012, Aboodarda et al 2015, Halperin et al 2015)。本研究で用いた運動課題は、実際のレジスタンストレーニングに近い収縮と弛緩を繰り返す間欠的な方法であり、実験的運動課題とは異なる特性を有するものであった。これにより、高強度かつ疲労困憊まで実施するドロップセット法であっても、NLMF が過度に誘発されるには至らず、ガイドライン条件との間に有意な差が認められなかったと考えられる。

以上により、仮説 3「ドロップセット法はガイドラインに基づく方法と比較して、より大きな NLMF が誘発され、その回復にもより長い時間を要する。」は支持されなかった。

## 社会への還元

本研究では、実際のレジスタンストレーニングに近い条件において、NLMF がどのように誘発されるのかを検討した。その結果、ドロップセット条件およびガイドライン条件のいずれにおいても運動課題後に非運動筋の筋力低下が生じることが示された。これらの結果は実際のレジスタンストレーニングにおいても、NLMF が後続種目のパフォーマンスに影響を及ぼす可能性があることを示唆している。したがって、トレーニング順序や休息时间について、慎重に検討する必要がある。また、本研究ではトレーニングに要する時間やトレーニングボリュームが異なる条件下においても、NLMF の程度に有意な差は認められなかった。このことから、時間的制約という課題のある現場において、短時間で高ボリュームのトレーニングが可能であるドロップセット法が、従来の方法と同様に活用できる可能性が示された。これらの知見は、運動実施率の向上や、限られた時間の中で効率的なトレーニング方法を選択する際の一助となると考えられる。

## 本研究の問題と今後の課題

本研究にはいくつかの課題が存在する。まず、NLMF の主要因と考えられている中枢性疲労を直接評価する指標を用いていない点である。そのため、本研究で確認された筋力低下が中枢性疲労によるものであることを示すことができない。また、本研究で用いた運動課題は単関節で等尺性の肘屈曲運動であり、実際のレジスタンストレーニングで多く用いられる多関節で等張性の運動とは完全に一致していない点が挙げられる。さらに、研究対象者を健康な大学生に限定しているため、他の年齢層の人々へのさらなる検討が必要である。



今後の研究では、中枢性疲労を直接評価する指標を用いるとともに、多関節かつ等張性のレジスタンストレーニングに近い運動課題に設定することで、さらなるメカニズムの解明や、実際のトレーニングへのさらなる応用が期待される。

## 結論

本研究では、実際のレジスタンストレーニングに近い条件において非局所性筋疲労(Non-local muscle fatigue: NLMF)がどのように誘発されるのかを検討した。その結果、ドロップセット条件およびガイドライン条件のいずれにおいても、運動課題後に非運動筋の筋力低下が認められ、NLMF が誘発された可能性が示された。一方、トレーニング時間やトレーニングボリュームが異なる条件間であっても、NLMF の程度に有意な差は認められなかった。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、渡邊航平教授には丁寧なご指導を賜りました。本研究を通じて、物事の考え方など、今後にわたって大切なことをお教えいただきました。ここに深く感謝申し上げます。また、研究室の皆様には、日頃より多くのご支援と温かいご配慮をいただき、大きな支えとなりました。心より感謝申し上げます。さらに、ゼミ生の皆様と互いに支え合いながら取り組んだ日々は、大変充実したものでした。心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- Saied Jalal Aboodarda, David B. Copithorne, Kevin E. Power, Eric Drinkwater, and David G. Behm. Elbow flexor fatigue modulates central excitability of the knee extensors. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 40: 924-930. 2015
- Olivia K. Faulkner<sup>1,2\*</sup>, David J. Dearlove<sup>1</sup>, Kieran Clarke<sup>1</sup> and Pete J. Cox<sup>1</sup>. Beyond RPE: The Perception of Exercise Under Normal and Ketotic Conditions. *Frontiers in Physiology*. 10: Article. 2019
- Gandevia, S. C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*. 81: 1725-1789. 2001
- Israel Halperin<sup>1,2</sup> · Dale W. Chapman<sup>1,2</sup> · David G. Behm<sup>3</sup>. Non-local muscle fatigue: effects and possible mechanisms. *European Journal of Applied Physiology*. 115: 2031-2048. 2015
- Ashleigh Kennedy, Francois Hug, Heidi Sveistrup, Arnaud Guevel. Fatiguing handgrip exercise alters maximal force-generating capacity of plantar-flexors. *European Journal of Applied Physiology*. 113: 559-566. 2013
- WILLIAM J. KRAEMER<sup>1</sup> and NICHOLAS A. RATAMESS<sup>2</sup>. Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 36(4): 674-688. 2004
- HELMA M. de MORREE<sup>a,b</sup> CHRISTOPH KLEIN<sup>c,d</sup> and SAMUELE M. MARCORAA<sup>a,e</sup>. Perception of effort reflects central motor command during movement execution. *Psychophysiology*. 49: 1242-1253 . 2012

FERNANDO NACLERIO,<sup>1</sup> AVERY D. FAIGENBAUM,<sup>2</sup> ENKO LARUMBE-ZABALA,<sup>3</sup> TXOMIN PEREZ-BIBAO,<sup>1</sup> JIE KANG,<sup>2</sup> NICHOLAS A. RATAMESS,<sup>2</sup> AND N. T. TRIPLETT<sup>4</sup>. EFFECTS OF DIFFERENT RESISTANCE TRAINING VOLUMES ON STRENGTH AND POWER IN TEAM SPORT ATHLETES. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 27(7): 1832-1840. 2013

Nicholas A. Ratamess, Ph.D.; Brent A. Alvar, Ph.D.; Tammy K. Evetoch, Ph.D., FACSM; Terry J. Housh, Ph.D., FACSM (Chair); W. Ben Kibler, M.D., FACSM; William J. Kraemer, Ph.D., FACSM; and N. Travis Triplett, Ph.D. Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*. 41(3): 687-708. 2009

Lena Kristiansen Sødall, Eirik Kristiansen<sup>1</sup>, Stian Larsen<sup>1</sup> and Roland van den Tillaar. Effects of Drop Sets on Skeletal Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-analysis. 9: Article 66. 2023

スポーツ庁. 令和5年度「スポーツの実施状況等に関する世論調査」

[https://www.mext.go.jp/sports/b\\_menu/toukei/chousa04/sports/1415963\\_00012.htm](https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/sports/1415963_00012.htm), 2024

厚生労働省. 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023

<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001171393.pdf>, 2023

# 若年層における自律神経の関連性に対する姿勢の影響

J422128

齋藤真奈可

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：本研究の目的は、若年成人における前方頭位姿勢（Forward Head Posture：FHP）傾向と自律神経活動の関連を明らかにすることである。近年、スマートフォンやタブレット端末の使用は急速に増加し、若年層の長時間使用が姿勢不良を助長する要因として指摘されている。FHPは頸椎への機械的負荷を増大させ、筋骨格系の不調や心理的ストレスとも関連する可能性が報告されている。しかし、若年層を対象としたFHP傾向と自律神経活動の関連は未だ十分に検討されていない。

方法：本研究では、大学生13名を対象に、座位姿勢における頭蓋頸椎角（Craniovertebral Angle：CVA）および安静時心拍変動（HRV）を測定した。CVAは耳珠と第7頸椎をマーカーで示し、iPhone16を三脚に固定して170 cm距離から撮影し、Kinoveaにより算出した。心電図はPowerLabを用いて10分間記録し、安定した5分間を解析対象とした。事前にメトロノーム（60 bpm）を用いた呼吸統制を行ったが、呼吸法が適合しなかった1名は分析から除外した。HRV指標としてSDNNおよびRMSSDをExcelで算出し、統計解析はSPSSを用いた。

結果：CVAの平均値は $44.67 \pm 5.55^\circ$ で、多くの被験者がFHP傾向を示した。SDNNおよびRMSSDはともに $19.50 \pm 8.21$  m/sであり、先行研究で報告される正常値より低い水準であった。また、CVAとSDNN（ $r = -0.547$ ,  $p=0.020$ ）、RMSSD（ $r = -0.547$ ,  $p=0.020$ ）の間には中程度の有意な負の相関が認められたが、仮説「FHP傾向が強いほど副交感神経活動が低下する」は支持されなかった。

結論：若年成人においてFHP傾向は広く認められ、CVAと自律神経活動指標との間には有意な相関が認められた。しかし、その方向性は仮説と一致せず、両者の関係は単純な直線的関係ではない可能性が示唆された。

## 背景

近年、科学技術の発達によりスマートフォンは急速に普及し、現代の生活に欠かせないデバイスとなっている。総務省の通信利用動向調査(2024)によると、スマートフォンの世帯における保有割合は 90.5%と前年とほぼ同水準で推移している。一方、個人の保有割合は増加傾向にあり、8 割を超えている(総務省の通信利用動向調査、2024)。インターネットの利用目的には年代差がみられ、全体では「SNS(無料通話機能を含む)の利用」が 81.9%と最も高い割合を占めている(総務省の通信利用動向調査、2024)。一方、50 歳以上の各年齢階層では「電子メールの送受信」が主な利用目的となっており、若年層では SNS を中心としたコミュニケーション利用が多いことが示唆される(総務省の通信利用動向調査、2024)。また、総務省情報通信政策研究所(2023)の報告によれば、2019 年から 2023 年にかけて携帯電話によるインターネット使用時間は 10 代および 20 代で大幅に増加している。10 代では 150.1 分から 203.1 分へ、20 代では 147.3 分から 197.5 分へと、いずれも約 50 分の増加がみられており、若年層におけるスマートフォン依存度の高まりが示されている。さらに、厚生労働省(2023)は座位行動の健康アウトカムへの影響に関するエビデンスは、総座位時間よりもスクリーンタイムの方がより強い関連を示すと報告しており、長時間のデジタル機器使用が身体的・心理的健康に及ぼす影響が懸念されている。このような長時間の端末使用は、頭部を前方へ突き出す姿勢を助長する要因とされている。このような姿勢は前方頭位姿勢(Forward Head Posture : FHP)と呼ばれる。FHP の定義は、最も一般的な頸椎姿勢偏差の 1 つであり、矢状面において肩に対して頭が突き出ているか、または頭が前方に位置していることを特徴とする(Yang et al 2023)。FHP は時間の経過とともに悪化する可能性があり、脊柱の変性、筋肉の衰弱と緊張、絞扼性神経障害、肺活量の低下を引き起こす(Chu EC et al 2020)。さらに、姿勢の異常は筋骨格系のバラン

だけでなく、精神的健康にも悪影響を及ぼす可能性が報告されている (Asadi et al. 2020)。姿勢と自律神経活動との関連性も示唆されているものの、若年層における FHP 傾向と自律神経活動との関係については、十分な検討が行われていないのが現状である。

本研究の目的は、若年層を対象として座位姿勢による FHP 傾向と自律神経活動との関連性を明らかにすることを目的とした。仮説は、「FHP 傾向が強いほど副交感神経活動が低い」である。

## 方法

### 対象研究者

中京大学スポーツ科学部に在籍する男性 8 名、女性 5 名の計 13 名 ( $22 \pm 0.38$  歳) の若年成人が本研究に参加した。

### 実験デザイン

本研究は、若年成人を対象とし、頭蓋頸椎角 (Craniovertebral Angle : CVA) 測定と心電図記録による自律神経活動評価を同一日に行った。なお、頭蓋頸椎角の測定は FHP の評価方法の 1 つである (Mylonas et al 2025)。すべての測定は、中京大学 17 号館 1 階に設置された実験室にて実施した。対象者は実験当日、まず椅子座位で CVA 測定を行い、その後、同一の座位姿勢の状態で心電図 (Electrocardiogram : ECG) 測定へ移行した。これにより、姿勢条件を統一した状態で姿勢指標および心拍変動指標を取得し、FHP 傾向と自律神経活動との関連を検討できるよう配慮した。

## 頭蓋頸椎角の測定

対象者を椅子座位とし、頭蓋頸椎角（Craniovertebral Angle : CVA）の測定を行った。CVA は、第 7 頸椎棘突起（C7）を通る水平線と、耳珠から C7 を結ぶ線とのなす角として定義した。測定に際しては、耳珠および C7 の皮膚上に十字の線が表記されたマーカー(図 1)を貼付し、被験者の右側矢状面から写真撮影を行った(図 2)。撮影には iPhone 16 を使用し、三脚を用いてカメラ位置を固定した。三脚は壁から 170cm 離れた位置に設置し、スマートフォンと壁が互いに平行かつ垂直になるよう調整した。その際、壁に十字線を印した紙を貼付し、カメラ画面上の十字ガイドと一致させることで正確なアライメントを確保した。また、撮影時には iPhone のカメラ設定でグリッドおよび水平機能を有効にし、撮影角度の誤差を最小限に抑えた。被験者には「最も楽な姿勢をとる」よう指示し、できる限り日常に近い自然な座位姿勢を反映できるよう配慮した。





図 1 十字の線が表記されたマーカー



図 2 右側矢状面から写真撮影

## 姿勢における心電図測定

頭蓋頸椎角の測定後、同一の座位姿勢を保持したまま心電図（Electrocardiogram：ECG）測定を実施した。図 3 が今回の実験で使用した心電図である。被験者には心電図電極（図 4）を貼付し、心拍数を安定させるため、測定開始前に 5 分間の安静時間を設けた。測定は外部刺激の影響を抑えるため、静かな室内環境で行い、被験者の視界に余計な情報が入らないよう、前方に遮蔽物を設置した（図 5）。呼吸の影響を最小限に抑える目的で、測定前に「2 秒吸気・2 秒呼気」の練習を行い、測定中はメトロノーム（図 6）で 1 分間に 60 拍のリズムを用いて呼吸ペースを一定に保った。心拍が安定していることを確認した後、心電図の記録を開始した。測定中は、被験者が眠気や不快感を訴えることがないように配慮し、心電図波形および被験者の状態を継続的に観察した。また、測定への影響を避けるため、被験者には体動や発声を控えるよう事前に指示した。本研究では、頭蓋頸椎角（Craniovertebral Angle：CVA）は撮影画像を用いて Kinovea（version 2025）により算出した（図 7）。なお、Kinovea の 2 点間角度測定は信頼性と妥当性が報告されている（Puig-Diví 2019）。そのため、本研究のデータ取得法は妥当である。心電図データは PowerLab システム（図 8）（ADInstruments 社）を用いて取得し、LabChart にて R-R 間隔を抽出した。心電図データは、安静座位において 10 分間連続で記録した。記録された心電図波形については、解析に先立ち、体動や電極のずれなどによるアーチファクトの有無を確認した。その後、全記録時間のうち、アーチファクトの影響が最も少なく、心拍が安定している連続した 5 分間を解析区間として抽出した。その後、抽出した R-R 間隔データを Microsoft Excel に取り込み、心拍変動の時間領域指標である SDNN（Standard Deviation of Normal to normal intervals）および RMSSD（Root Mean Square of Successive Differences）を算出した。なお、連続する R-R 間隔のうち 2 拍分を間引き、3

拍間隔で R-R 間隔を抽出した。すなわち、元の R-R 間隔系列から 3 拍目ごとの R-R 間隔を用いて新たなデータ系列を作成し、これを HRV 解析に用いた。

#### SDNN の算出方法（3 拍間隔）

SDNN (Standard Deviation of Normal to normal intervals) は、3 拍間隔で抽出した R-R 間隔データの標準偏差として算出した。SDNN は、解析区間内における心拍間隔の全体的な変動性を反映する指標である。

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^M (R R_{j,3} - \bar{RR})^2}$$

ここで、 $RR_{j,3}$  は元の R-R 間隔系列から 3 拍間隔で抽出した R-R 間隔、 $\bar{RR}$  はその平均値、 $M$  は抽出後の R-R 間隔数を示す。

#### RMSSD の算出方法（3 拍間隔）

RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences) は、3 拍間隔で抽出した R-R 間隔データにおける、隣接する R-R 間隔の差分の二乗平均平方根として算出した。RMSSD は短時間の心拍変動を反映し、副交感神経活動の指標として用いられる。

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^{M-1} (R R_{j+1,3} - R R_{j,3})^2}$$

ここで、 $RR_{j,3}$  および  $RR_{j+1,3}$  は、3 拍間隔で抽出した連続する R-R 間隔を示す。





図 3 心電図



図 4 心電図電極 FUKUDA DENSHI LX-8100





図 5 被験者の視界を遮った実験の様子



図 6 メトロノーム KORG MA-2





図 7 Kinovea による画像解析

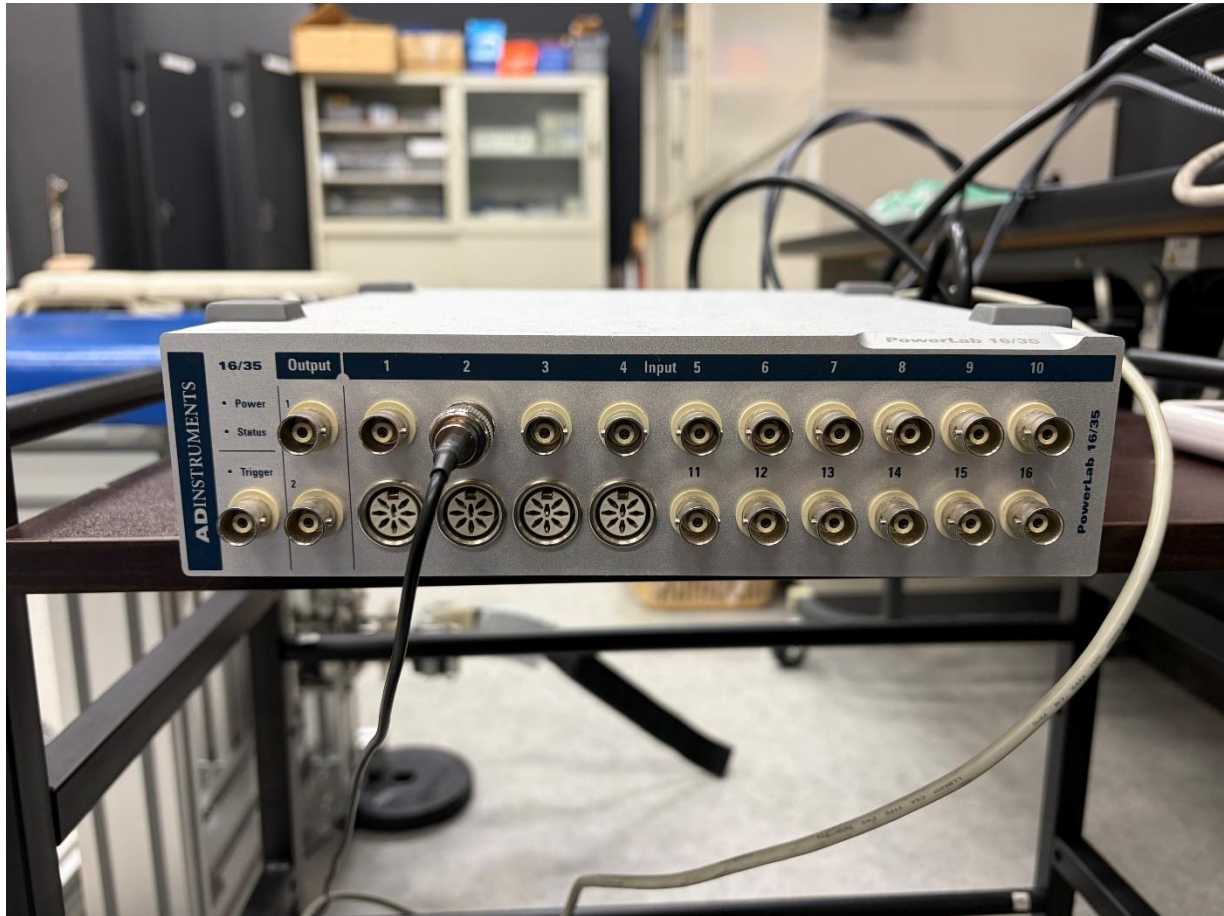


图 8 PowerLab 16/35

## 統計解析

CVA と HRV 指標 (SDNN, RMSSD) の関係を検討するために相関係数を算出した。アーチファクトや異常値を含むデータは解析前に除外した。CVA と心拍変動指標の関連を検討するため、SPSS を用いて相関分析を行った。なお、有意水準を 0.05 未満とした。

## 結果

本研究の対象者 13 名のうち、1 名は測定中に呼吸ペースの同調が困難であったため、HRV データの取得を中断した。したがって、以下の解析は有効データが得られた 12 名を対象として実施した。測定した頭蓋頸椎角 (CVA) の平均値は  $44.67 \pm 5.55^\circ$  であった。CVA はすべて同一環境において撮影した座位姿勢画像から算出された。心拍変動指標については、SDNN が  $19.50 \pm 8.21\text{m/s}$ 、RMSSD が  $19.50 \pm 8.21\text{m/s}$  を示した。CVA と心拍変動指標の関連を検討するため、SPSS を用いて相関分析を行った。その結果、CVA と SDNN の間には 中程度の負の相関が認められた ( $r=-0.547$ ,  $p<0.05$ ) (図 1)。また、CVA と RMSSD との間にも中程度の負の相関が認められた ( $r=-0.547$ ,  $p<0.05$ ) (図 2)。いずれの解析においても、SPSS による検定の結果、統計学的に有意であることが確認された。

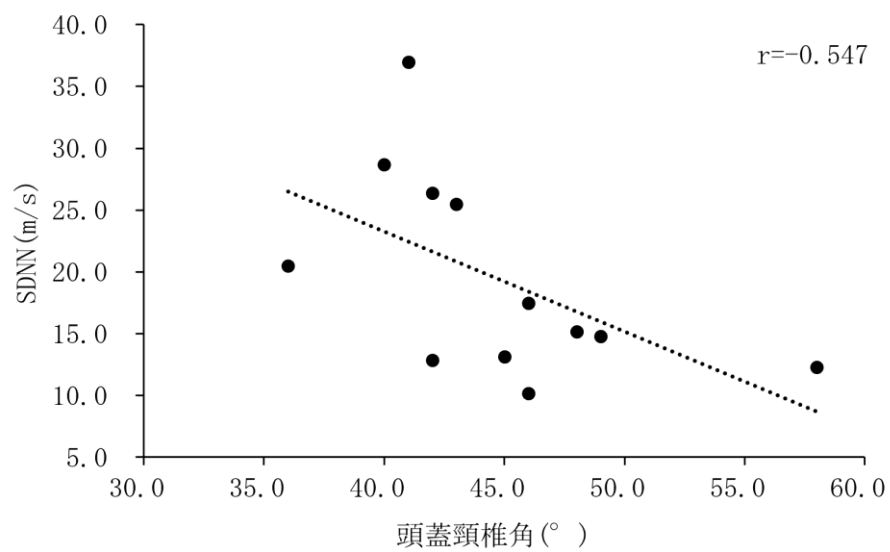


図1 頭蓋頸椎角と SDNN (Standard Deviation of Normal to norma intervals) の関係性

SDNN: 正常 RR 間隔 (NN 間隔) の標準偏差

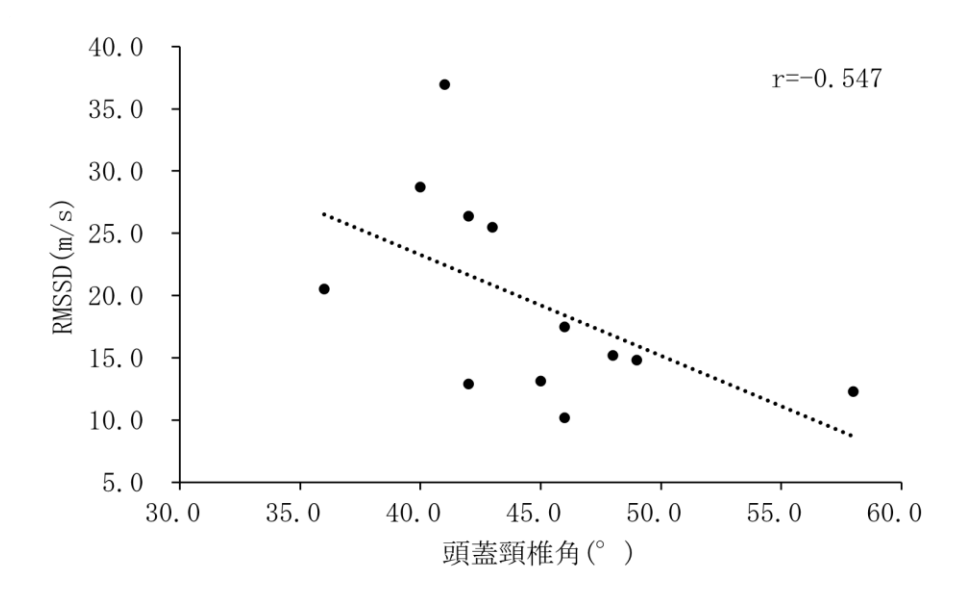


図2 頭蓋頸椎角とRMSSD (Root Mean Square of Successive Differences) との関係性

RMSSD: 連続するNN間隔の差分の二乗平均平方根を示す指標

## 考察

本研究では、若年成人を対象に前方頭位姿勢（FHP）の程度を示す頭蓋頸椎角（CVA）と、自律神経機能指標である SDNN および RMSSD との関係を検討した。その結果、1) 対象者全体が FHP 傾向の強い姿勢特性を示したこと、2) SDNN および RMSSD が先行研究の正常値よりも低い水準を示したこと、3) CVA と SDNN および RMSSD との間に中程度の有意な負の相関が認められたことが明らかになった。これらの結果から、「FHP 傾向が強いほど副交感神経活動が低い」という仮説は支持されなかった。

### 1)CVA の分布と姿勢特性について

本研究における CVA の平均値は  $44.67 \pm 5.55^\circ$  であり、 $CVA < 45^\circ$  を重度の FHP とする先行研究の分類と照らし合わせると、対象者全体が FHP 傾向を有することが示された (Titcomb et al 2024)。実際に個別データにおいても重度 FHP 群が半数以上を占めており、本研究のサンプルは姿勢不良が顕著な集団であったといえる。これらの点から、本研究は若年者の姿勢アライメントの現状を示す基礎的資料としての価値を持つと考えられる。

### 2)SDNN および RMSSD の低値について

本研究では SDNN および RMSSD がともに  $19.50 \pm 8.21 \text{m/s}$  と低い水準を示した。先行研究における正常成人の安静時 HRV（SDNN： $39.6 \pm 22.1 \text{m/s}$ 、RMSSD： $29.7 \pm 18.1 \text{m/s}$ ）と比較すると、対象者は副交感神経活動が低下している集団である可能性が示唆される (Kim et al 2011)。近年では、スマートフォンや PC の長時間使用により若年層で姿勢不良やストレス負荷が増大し、自律神経活動に影響を及ぼすことが指摘されている。本研究結果は、このような生活習慣的背景とも一致する可能性がある。

### 3)CVA と HRV 指標の負の相関について

本研究では CVA と SDNN および RMSSD との間に中程度の負の相関が認められ、姿勢が正常に近いほど HRV が低いという結果が得られた。この結果は一般的な予測とは異なり、姿勢特性と自律神経活動が単純な線形関係では捉えられないことを示している。姿勢と自律神経の関連は個体差、日常的ストレス、測定条件など複数因子の影響を受けるため、先行研究でも統一した傾向が示されていない場合がある。本研究もその一例であり、姿勢改善だけでは副交感神経活動を一貫して向上させるとは限らない可能性が示唆される。

本研究は若年成人を対象に FHP と自律神経活動との関連を検討した結果、対象者の多くが FHP 傾向を有し、HRV が全体として低い水準を示したものの、姿勢と副交感神経活動との間に明確な関連は認められなかった。現代社会ではスマートフォン・PC 利用の増加に伴い姿勢不良が一般化しており、姿勢と自律神経の関係を理解することは健康管理の上で重要である。本研究結果は、日常生活における姿勢改善を促すだけでなく、特定場面（長時間の端末使用など）に焦点を当てた介入の有効性を示唆する。

本研究にはいくつかの方法論的限界が存在する。第一に、対象者の CVA 分布が FHP 傾向に偏っており、正常姿勢群のデータが少なかった点が本研究の外的妥当性を制限する。第二に、CVA は FHP 評価の有効な指標の一つではあるものの、姿勢不良には筋活動、体幹バランス、視覚情報など多様な因子が関連する。

FHP 患者集団において居住地移動距離（Limit of Stability : LOS）の低下、動作ベースのバランス能力の低下、および 頸部固有受容覚の低下を示す一貫したエビデンスが報告されている (Lin et al 2022)。

よって、姿勢制御は複数の要因の統合と協調に依存するため、今後はこれら複数の側面を含めた包括的な姿勢評価が必要である。

## 結論

本研究では、若年成人における前方頭位姿勢（FHP）と自律神経活動との関連を検討した。CVA の平均値は FHP 傾向を示し、SDNN および RMSSD は先行研究の正常値より低い水準を示したが、CVA と HRV 指標との間には統計学的に有意な相関が認められたが、その方向性は仮説で想定したものとは異なっていた。これらの結果から、本研究の仮説は支持されなかった。

## 謝辞

本研究にご協力いただいた被験者の皆様に心より御礼申し上げます。特に、呼吸法の習熟が難しく途中で中断となった参加者を含め、貴重な時間を割いて協力して下さった全ての方々のご支援がなければ、本研究は成立しませんでした。さらに、日頃より研究活動を支えて下さった研究室の仲間や家族にも感謝いたします。皆様からの励ましと協力が、研究を最後までやり遂げる原動力となりました。ここに、関わって下さった全ての方々に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

・Asadi-Melerdi S, Rajabi-Shamli E, Sheikhhoseini R, Piri H. Association of upper quarter posture with depression, anxiety, and level of physical activity in sixth grade elementary school students of Karaj City. Int J Sch Health. 2020;7:48-55. ・Chu ECP, Lo FS, Bhaumik A. Plausible impact of forward head posture on upper cervical spine stability. J Fam Med Prim Care. 2020;9(5):2517-2520.



- Chu EC, Lo FS, Bhaumik A. Plausible impact of forward head posture on upper cervical spine stability. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 9(5), 2517-2520, 2020.
- Kim GM, Woo JM. Determinants for heart rate variability in a normal Korean population. *J Korean Med Sci*. 2011;26(10):1293-1298.
- Lin G, Zhao X, Wang W, Wilkinson T. The relationship between forward head posture, postural control and gait: A systematic review. *Gait Posture*. 2022;98:316-329. doi:10.1016/j.gaitpost.2022.10.008.
- Mylonas K, Chatzis G, Makrypidi V, Chrysanthopoulos G, Gkrilias P, Tsekoura M, et al. Reliability of photogrammetric evaluation of the craniovertebral angle, swayback posture, and knee hyperextension in university students. *J Phys Ther Sci*. 2025;37(4):171-175. doi:10.1589/jpts.37.171.
- Puig-Diví A, Escalona-Marfil C, Padullés-Riu JM, Busquets A, Padullés-Chando X, Marcos-Ruiz D. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *PLoS One*. 2019;14(6):e0216448. doi:10.1371/journal.pone.0216448.
- Titcomb DA, Melton BF, Bland HW, Miyashita T. Evaluation of the craniovertebral angle in standing versus sitting positions in young adults with and without severe forward head posture. *Int J Exerc Sci*. 2024;17(1):73-85.
- Yang S, Boudier-Revéret M, Yi YG, Hong KY, Chang MC. Treatment of chronic neck pain in patients with forward head posture: A systematic narrative review. *Healthcare (Basel)*. 2023.

- ・厚生労働省、健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023.

<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001171393.pdf>

- ・総務省情報通信政策研究所「情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査(各年)」

[https://www.soumu.go.jp/hakusho-kids/howto/smartphone/smartphone\\_07.html](https://www.soumu.go.jp/hakusho-kids/howto/smartphone/smartphone_07.html)

- ・総務省、通信利用動向調査、2024

[https://www.soumu.go.jp/menu\\_news/s-news/01tsushin02\\_02000178.html](https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin02_02000178.html)

性格特性及びトレーニング中の快・不快の  
心理的要因が筋力トレーニングの効果に与える影響

J322076

白木健心

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：現在日本では、健康増進や体力の向上、慢性疾患の予防などを目的とし、厚生労働省が筋力トレーニングを推奨している。しかし、統制された筋力トレーニングを行った場合でも、筋力の向上には大きな個人差が生じることが指摘されている。遺伝要因がトレーニング効果に大きな影響を与える因子として指摘されているが、個人差を説明しきるには不十分である。他にも様々な要因がこの個人差を生む原因として検証されてきたが、生理学的要因での十分な説明には至っていない。そこで本研究の目的は、生理学的要因以外の要因として心理的要因が筋力トレーニングの効果に与える影響を検討することであった。

方法：13名の健康な若年男性を対象に2週間で6回のトレーニング介入を行った。トレーニング介入においては、等尺性膝関節伸展運動を最大筋力の75%の強度を5秒間維持、5秒間休息を10回3セット行い、セット間に1分間の休息を行った。トレーニング介入後、対象者に質問紙によるアンケートを行った。質問紙は、性格特性に関する10問およびトレーニング中に感じた快・不快に関するVASに関する1問で構成した。膝関節の最大等尺性伸展筋力(MVC)をトレーニング介入前後で測定し、その変化率でトレーニング効果を評価した。結果：神経症傾向が高い人ほど、本研究で行ったトレーニング介入に対する快感情が有意に強い傾向が見られた( $p < 0.05$ )。トレーニング中の快・不快と筋力の向上に相関は見られなかった( $p > 0.05$ )。各性格特性と筋力の向上に相関は見られなかった( $p > 0.05$ )。結論：性格特性とトレーニング中の快・不快という心理的要因は筋力トレーニングの効果に影響を与えないことが明らかとなった。

## 背景

厚生労働省が策定した「健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023」において、健康増進および疾病予防の観点から、筋力トレーニングが推奨されている(健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023, 2023)。しかし、統制された筋力トレーニングを行った場合でも、筋力向上の程度には顕著な個人差が生じることが報告されている (Hubal et al. 2005)。この個人差を生む要因として、生理学的特性や筋機能に関連する遺伝的要因が注目されてきたが、遺伝的要因のみではトレーニング効果のばらつきを十分に説明できないことが指摘されている (Williams et al. 2016)。また、トレーニング初期の筋力レベルがその後のトレーニング効果に影響を及ぼす可能性や (Ishida et al. 2020)、筋力がトレーニング習慣や体格と関連することも報告されている (Ramsey et al. 2021)。しかし、これらの生理学的要因がトレーニング効果全体に及ぼす影響は限定的であるとされている (Vikmoen et al. 2020、Van Etten et al. 1994)。このように生理学的及び、遺伝的要因がトレーニング効果に及ぼす影響を調査した研究は多数あるものの、いずれも筋力トレーニング効果の個人差を説明するには不十分である。これら以外の要因として、心理的要因である性格特性や筋発揮中に知覚されるストレスが最大随意収縮 (MVC) に影響を与える可能性が示されている (Tok et al. 2013)。また、有酸素運動においては、統制されたトレーニングであっても、精神的ストレスが高い者ほどトレーニング効果が有意に低下することが明らかにされており (Ruuska et al. 2012)、性格特性の違いが有酸素能力に影響を及ぼすことも示されている (Terracciano et al. 2013)。これらの知見から、筋力トレーニングにおける効果の個人差を説明するためには、生理学的要因や遺伝的要因に加えて、性格特性やトレーニング中の快・不快といった心理的要因も重要であると考えられる。

そこで、本研究の目的は、性格特性とトレーニング中の快・不快という心理的要因が筋力トレーニングによる筋力の向上に与える影響を明らかにすることである。

## 方法

### 対象者

本研究には、運動を禁止されていない 13 名の健康な若年男性(年齢  $21 \pm 1$  歳、身長  $170.5 \pm 5.8$  cm、体重  $61.5 \pm 6.6$  kg)が参加した。

### 実験デザイン

本研究では、MVC の 75% の負荷を用いた筋力トレーニングを実施し、トレーニング介入前後の MVC の変化率によってトレーニング効果を評価した。対象者にはトレーニング前日における激しい運動を控え、アルコールおよびカフェインの摂取を避けるように指示した。トレーニング介入後、性格特性とトレーニング中の快・不快を評価するため、質問紙での調査を行った。

### トレーニング

2 週間で 6 回の筋力トレーニングを行った。トレーニングにおいては、等尺性膝関節伸展運動を最大筋力の 75% の強度を 5 秒間維持、5 秒間休息を 1 回とし、10 回実施した。これを 1 セットとし、3 セット筋力トレーニングを実施した。セット間の休憩は 1 分とした。

### 質問紙

日本語版 Ten Item Personality Inventory (小塩ら 2012) を使用した性格特性に関する項目 10 問、10 cm の直線を用いた視覚的アナログスケール (VAS) によるトレーニング中の快・不快に関する項目 1 問の

11 項目からなる質問紙を用いた(図 1、図 2)。性格特性に関する質問はマニュアルに則り、強く思う＝7、まあまあ思う＝6、少し思う＝5、どちらでもない＝4、少し違うと思う＝3、おおよそ違うと思う＝2、全く違うと思う＝1、の 7 段階のリッカート尺度で算出し、外向性：項目 1 + (8 - 項目 6)、協調性：(8 - 項目 2) + 項目 7、勤勉性：項目 3 + (8 - 項目 8)、神経症傾向：項目 4 + (8 - 項目 9)、開放性：項目 5 + (8 - 項目 10) の計算式によって各性格特性のスコアを算出した。スコアが高いほど、その性格特性が強いことを示している。VAS では左側 0 cm を「非常に悪い」、中央 0 cm を「普通」、右側 10cm 「非常に良い」と設定し、被験者に快・不快の程度を自身の感覚に従って直線上に印で示してもらった。

#### 等尺性膝関節伸展最大随意筋力

研究対象者は、股関節と膝関節を 90° となる姿勢で座り、足部にアタッチメントを装着し、等尺性膝関節伸展運動を実施し、トレーニング介入前後に等尺性膝関節伸展最大随意筋力(MVC)が測定された。測定には STRAIN ANP TSA-210(株式会社 SANKA 健康機器事業部、東京、日本)、Power Labo 16/35(AD Instrument、Bella Vista、New South Wales、Australia)を使用した。

#### 統計解析

本研究の結果には、小さなサンプルサイズに基づいたため、ノンパラメトリック検定を用いた。測定された MVC の変化率、性格特性、トレーニング中の快・不快、それぞれの変数間の関係性を検討するため、Spearman の順位相関検定を行った。また、リッカート尺度である性格特性は順序尺度であるが、5 段階以上のリッカート尺度は連続変数として扱ったとしても妥当性が損なわれないことが示されているため(Huh and Gim. 2025)、連続変数として扱った。すべての統計解析は SPSS ソフトウェア(version25;SPSS、

学籍番号： 名前：	強くそう思 う	まあまあそ う思う	少しそう思 う	どちらでも ない	少し違うと 思う	おおよそ違 うと思う	全く違うと 思う
1.活発、外向的だと思う	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.他人に不満をもち、もめごとを起こし やすいと思う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.しっかりしていて自分に厳しいと思う	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.心配性で、うろたえやすいと思う	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.新しいことが好きで、変わった考えを 持つと思う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.ひかえめで、おとなしいと思う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.人に気をつかう、優しい人間だと思う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8.だらしなく、うっかりしていると思う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9.冷静で、気分が安定していると思う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.発想力に欠けた、平凡な人間だと思 う。	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

図1 TIPI-Jを用いた性格特性に関する質問紙



左の表を参考にして、行ったトレーニングであなたが感じた快・不快を表すところに線を引いてください

非常に良い	5
	4
良い	3
	2
まあまあ良い	1
普通	0
まあまあ悪い	-1
	-2
悪い	-3
	-4
非常に悪い	-5



図2 トレーニング中の快・不快に関する VAS の質問紙

東京、日本)を利用し、有意水準を 0.05 未満とした。

## 結果

外向性とトレーニング中の快・不快に有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 3)。協調性とトレーニング中の快・不快に有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 4)。勤勉性とトレーニング中の快・不快に有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 5)、神経症傾向とトレーニング中の快・不快に有意な相関関係が見られた( $p<0.05$ ) (図 6)。開放性とトレーニング中の快・不快に有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 7)。トレーニング中の快・不快とトレーニング効果には有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 8)。外向性とトレーニング効果には有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 9)。協調性とトレーニング効果には有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 10)。勤勉性とトレーニング効果には有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 11)。神経症傾向とトレーニング効果に有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 12)。開放性とトレーニング効果に有意な相関関係は見られなかった( $p>0.05$ ) (図 13)。

## 考察

本研究では性格特性とトレーニング中の快・不快という心理的要因が筋力トレーニングの効果の個人差に及ぼす影響を検討した。本研究の主な結果は以下の 3 点である。1) トレーニング中に感じる快・不快は人によってばらつきがあり、高強度の筋力トレーニングにおいて神経症傾向が高い人ほど快感情を覚える人が有意に多い。2) 性格特性とトレーニング効果に有意な関係は見られなかった。3) トレーニング中の快・不快とトレーニング効果に有意な関係は見られなかった。

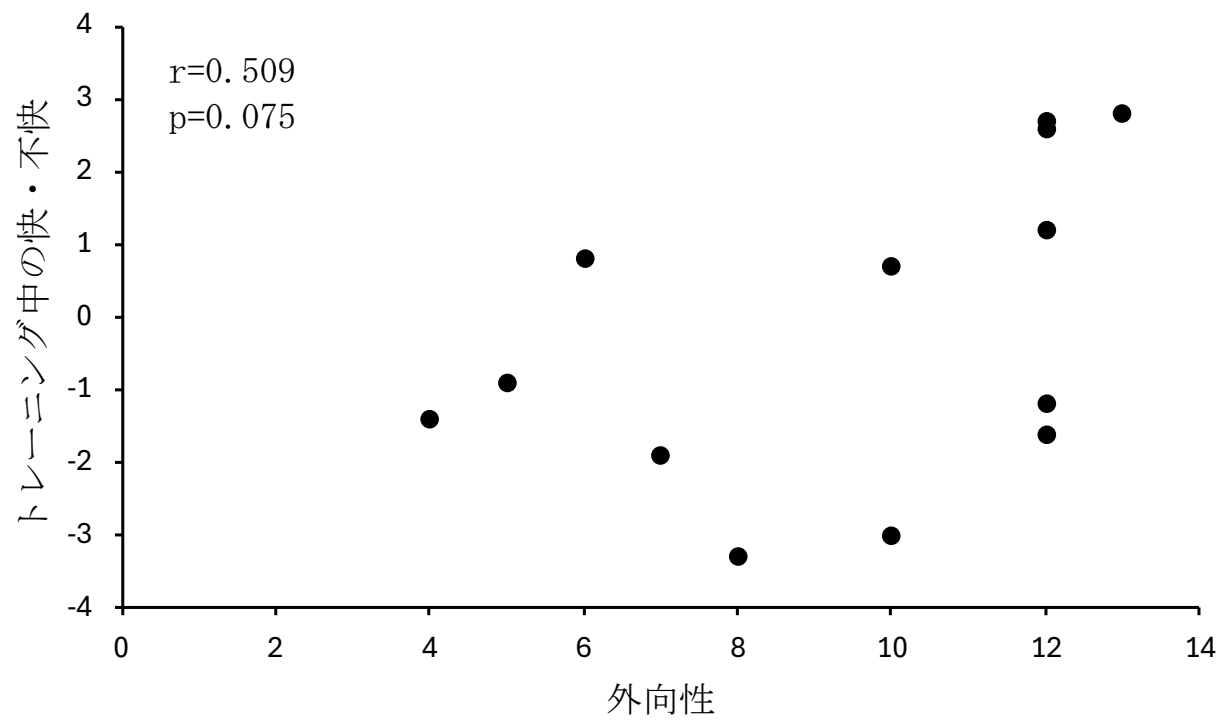


図3 外向性とトレーニング中の快・不快の相関

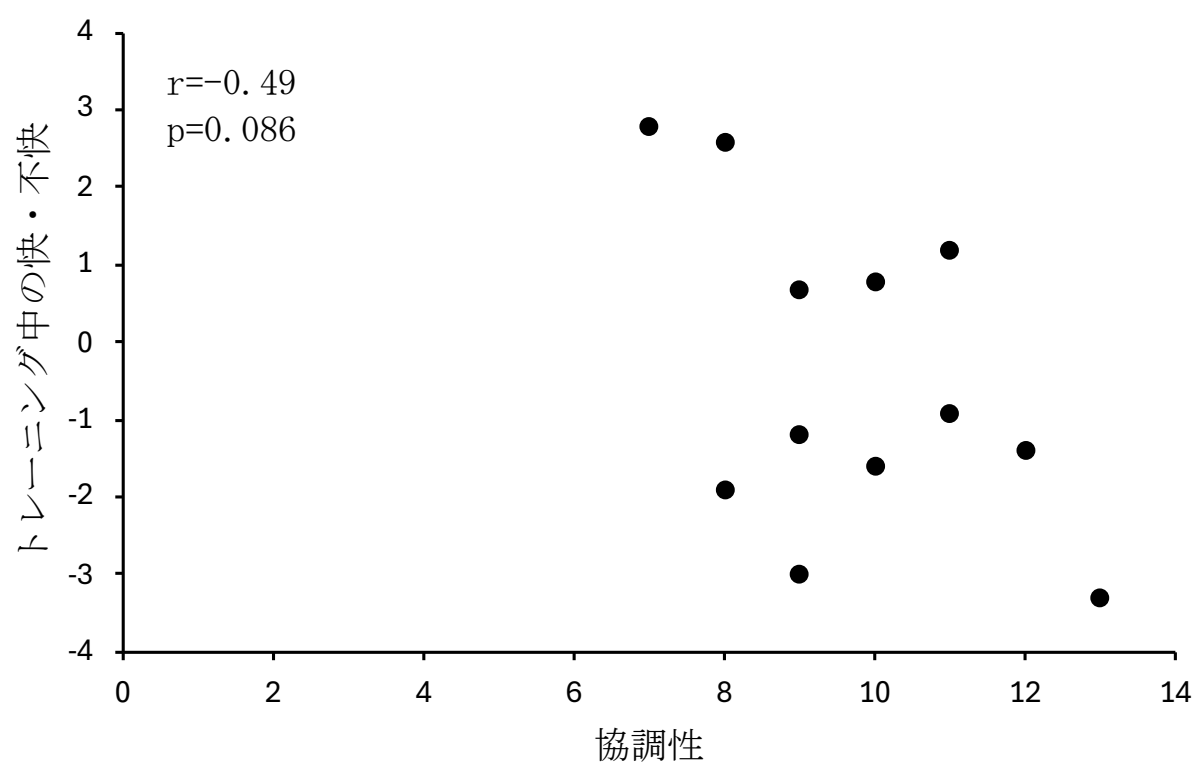


図4 協調性とトレーニング中の快・不快の相関

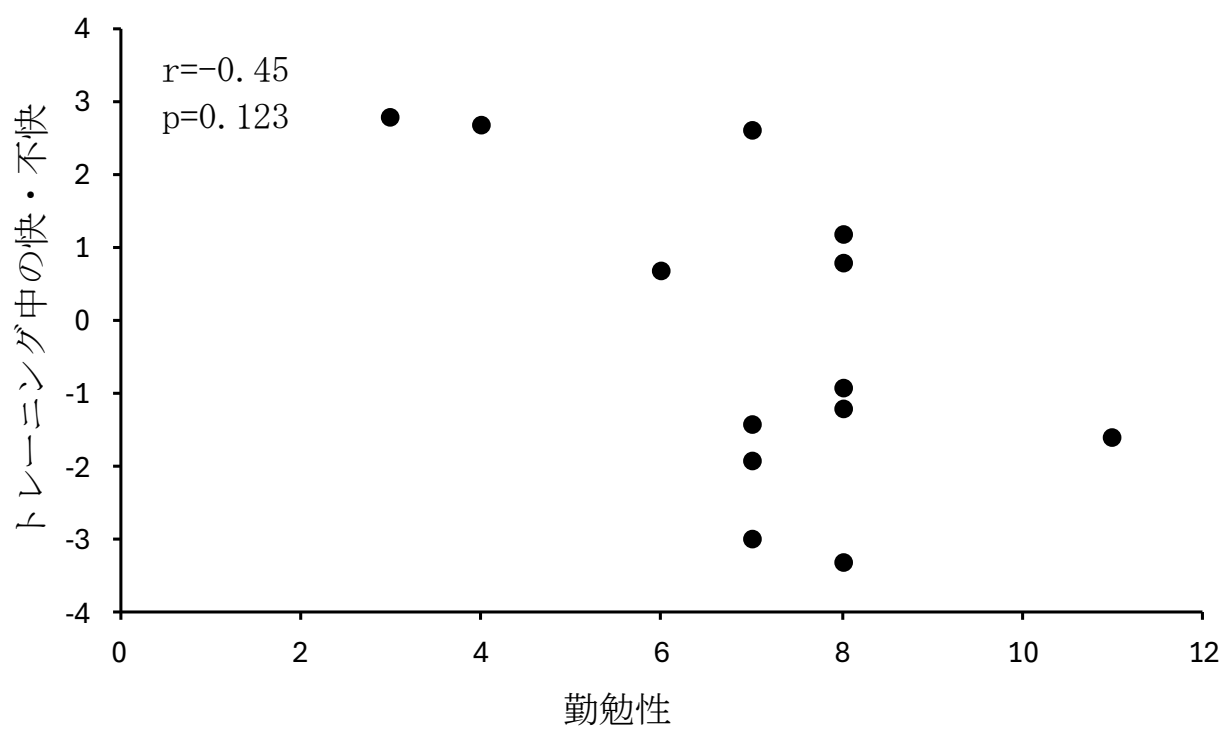


図5 勤勉性とトレーニング中の快・不快の相関

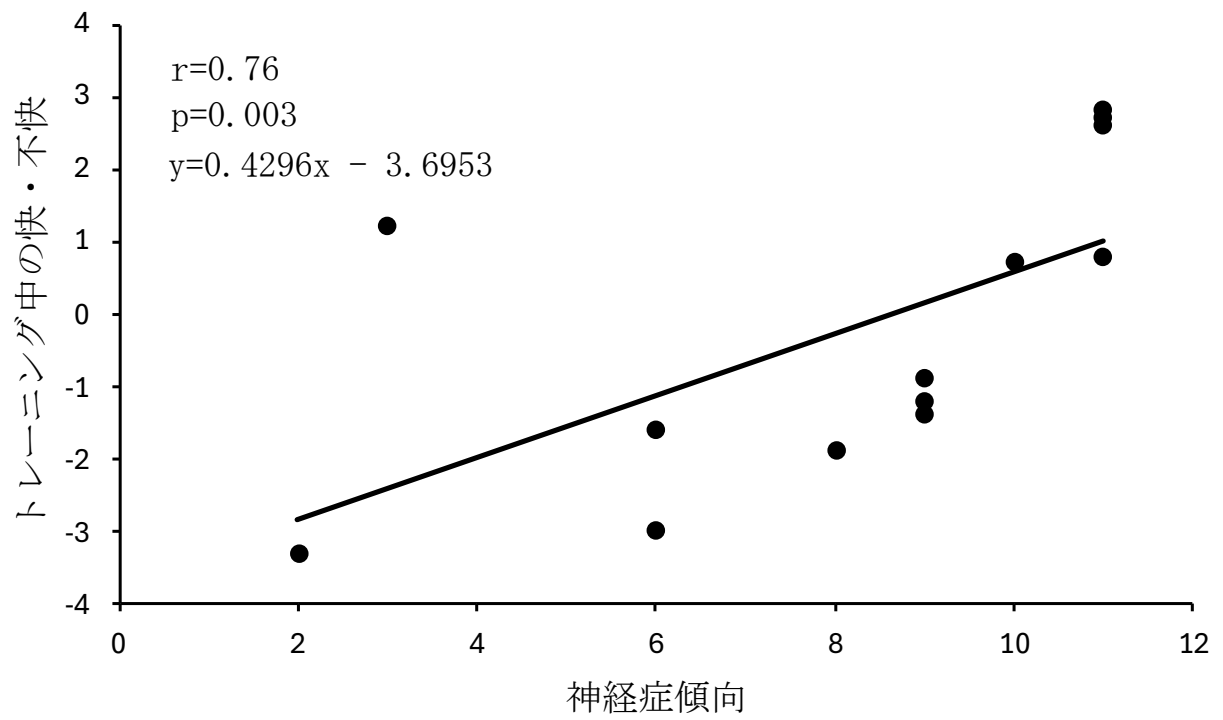


図6 神経症傾向とトレーニング中の快・不快の相関

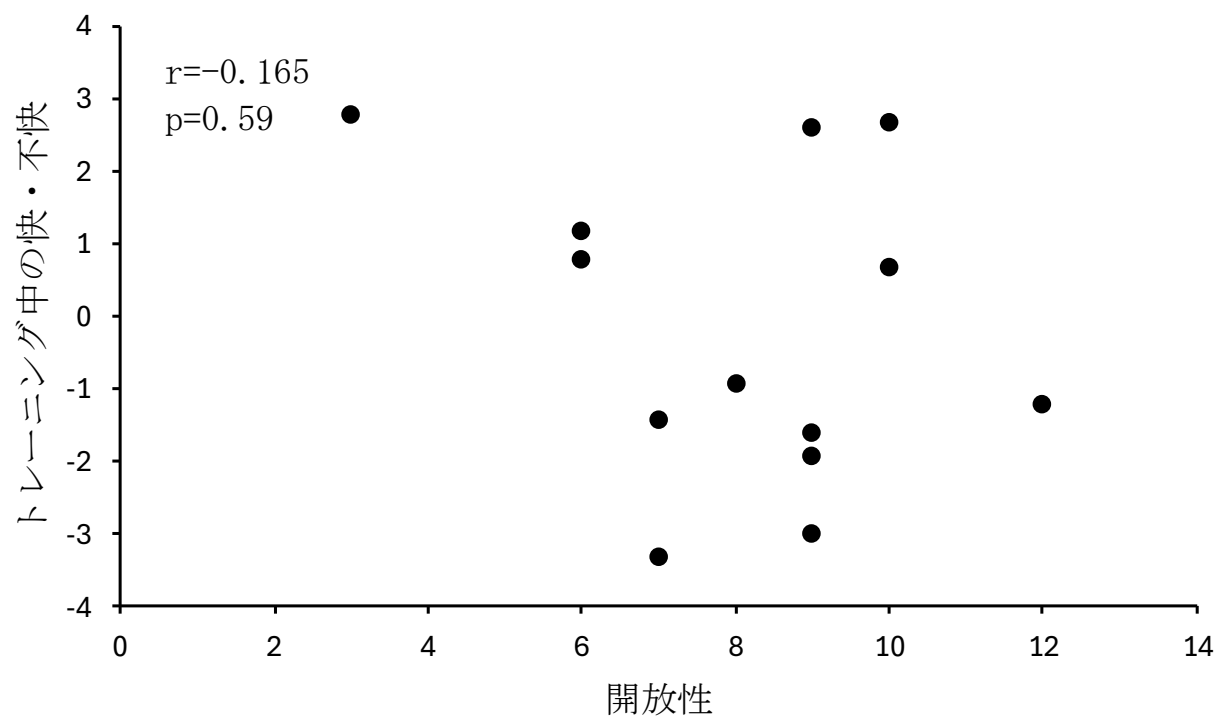


図7 開放性とトレーニング中の快・不快の相関

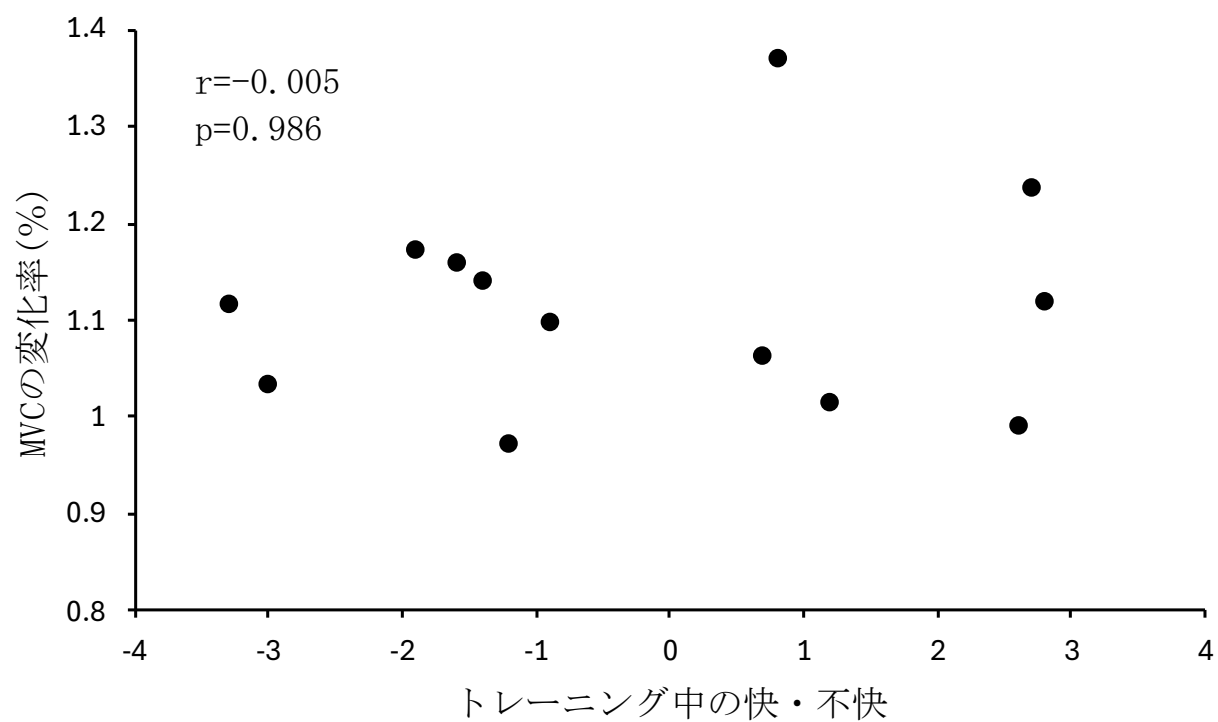


図8 トレーニング中の快・不快と MVC の変化率の相関



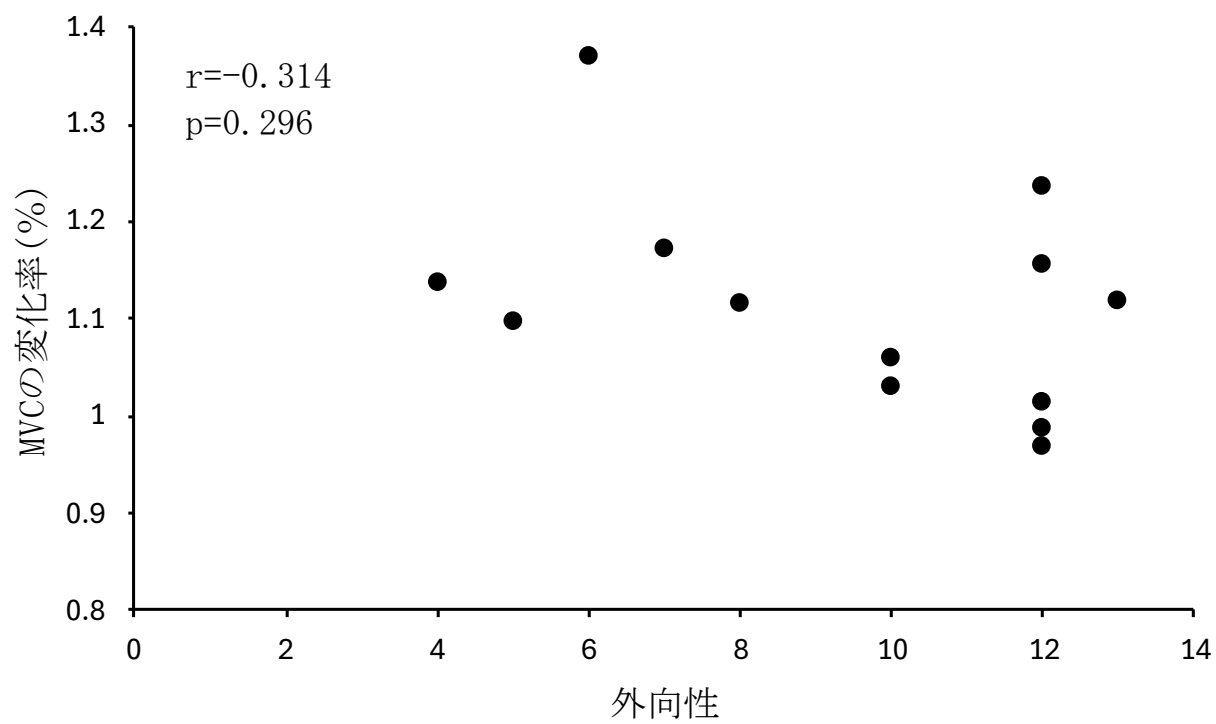


図9 外向性とMVCの変化率の相関

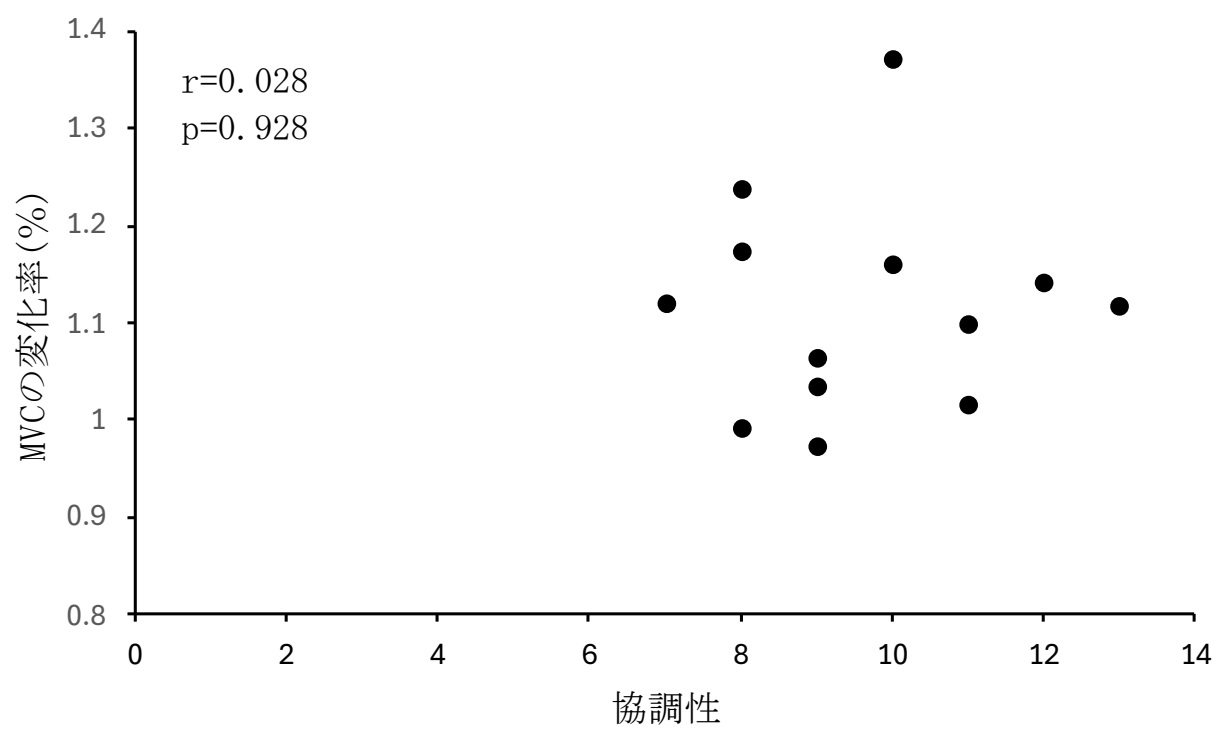


図 10 協調性と MVC の変化率の相関

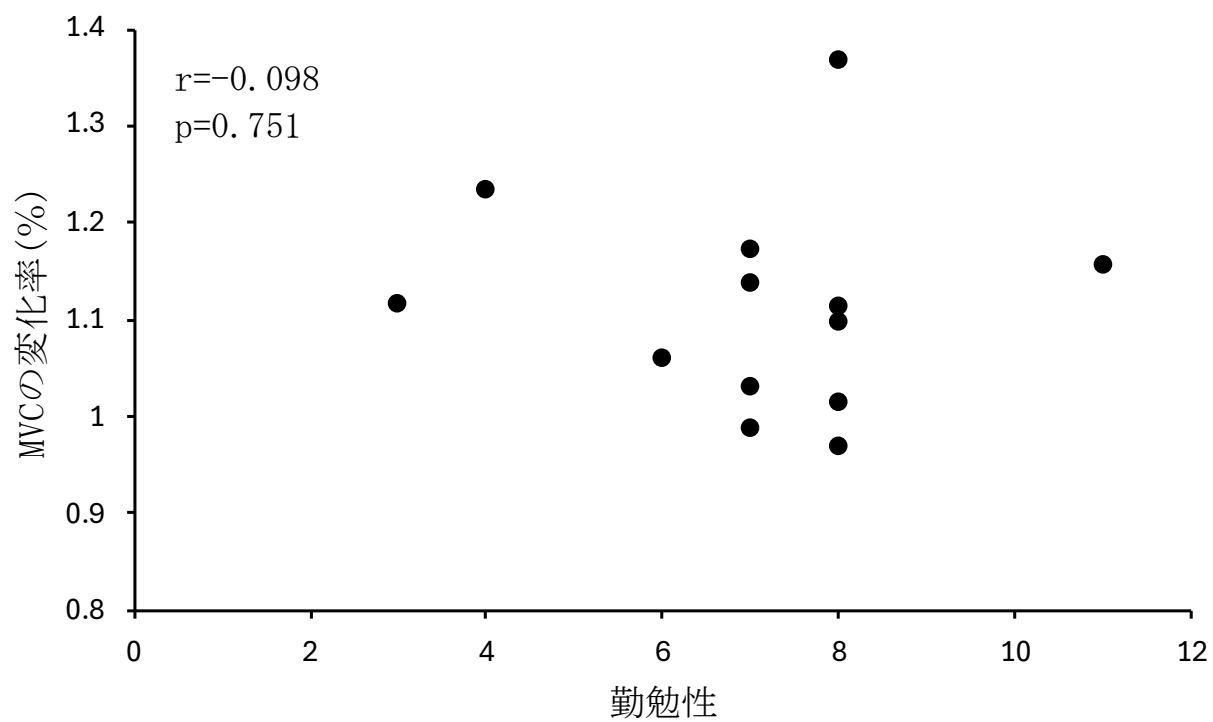


図 11 勤勉性と MVC の変化率の相関

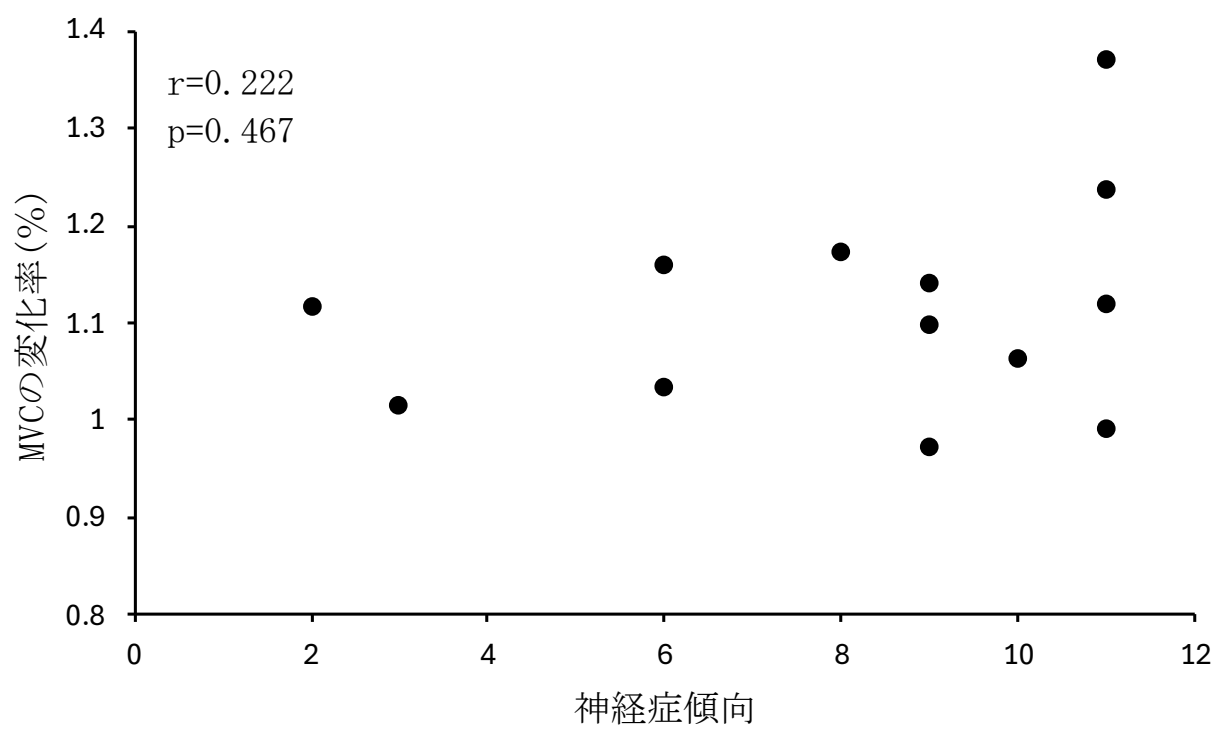


図 12 神経症傾向と MVC の変化率の相関

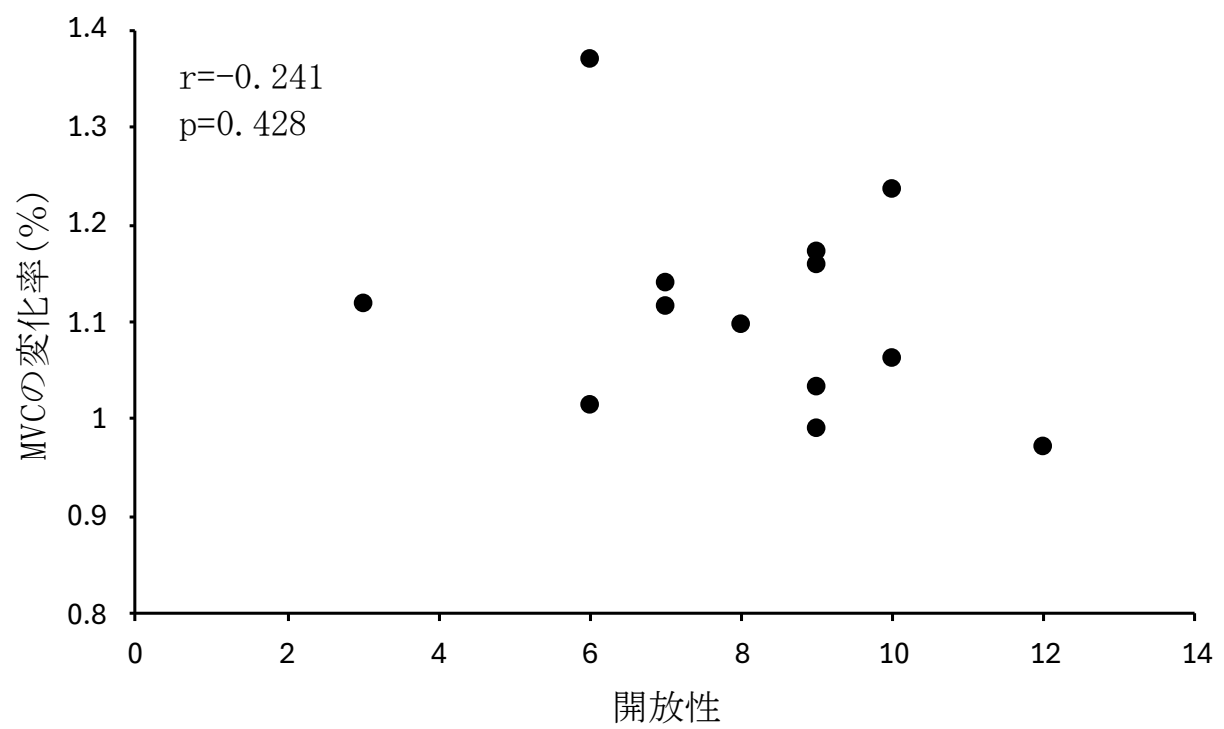


図 13 開放性と MVC の変化率の相関

1) 本研究では 75%MVC の等尺性膝関節伸展運動を 10 回 3 セットという高強度のトレーニングを行ったところ、神経症傾向が高い人ほど有意にトレーニング中の快感情が強いという結果が得られた。これは神経症傾向が高い人ほど低強度のトレーニングを好む傾向にあるという先行研究と真逆の結果を示した (Ronca et al 2025)。真逆の結果を示した要因として、対象者の違いが挙げられる。この先行研究の対象者は無作為に集められた集団だったのに対し、本研究の対象者はスポーツ科学部に所属する大学生であり、スポーツ経験の有無からトレーニングに対しての快・不快が一般の集団と乖離していることが原因と考えられる。実際に身体活動レベルがトレーニング中の快・不快に有意な影響を与えることが指摘されている (Sala et al. 2024)。これらのことから、高強度の筋力トレーニング中の快・不快と性格特性の関係は一様ではなく、対象者の身体活動レベルや運動経験といった背景要因に大きく左右される可能性が示唆される。

2) トレーニング前の心理的リソースやストレスなどの心理的要因が有酸素トレーニングにおける筋力の向上に有意な影響を与えることが先行研究でわかっており (Ruuska et al. 2012)、快不快感情が心理的リソースと深く関連する因果関係にあることが報告されている (Fredrickson 2004)。これらのことから、「統制された筋力トレーニングを行った場合でも、トレーニング中の快・不快の個人差によって筋力の向上に差が生じる」という仮説のもと調査を行ったが、本研究ではトレーニング中の快不快と筋力の向上に有意な関係は見られず、結果はこの仮説を支持しなかった。要因として、先行研究でトレーニング効果に影響を及ぼすとされていた心理的リソースやストレスは日常生活において生じた長期的な心理であるのに対し、トレーニング中の快不快は瞬間的な心理であったために影響を及ぼさないことが考えられる。これらのことから、筋力トレーニングの効果に影響を及ぼす心理的要因には時間的側面の違いが

存在し、日常生活における長期的・持続的な心理的リソースやストレスは筋力向上に影響し得る一方で、瞬間的なトレーニング中の快・不快感情は、筋力向上に直接的な影響を及ぼさない可能性が示唆される。

したがって、筋力向上に影響を与える心理的要因を検討する際には、感情の持続性や蓄積性を考慮する必要であると考えられる。

3) 本研究では性格特性とトレーニング効果に有意な相関は見られず、性格特性の個人差によって筋力トレーニングの効果に差が生じることはないことが明らかとなった。しかし、Stephan et al. (2022)において性格特性が筋力水準に影響を与えることが指摘されている。このことから性格特性は筋力向上の直接的な要因ではなく、運動参加や動機付けの段階での影響が強いことが考えられる。実際に、各性格特性と運動の動機付けとの相関が指摘されている(Zhang, 2025)。これらのことから性格特性によって運動への参加やモチベーションが決定され、運動習慣の差が生じたことが、結果的に性格特性が筋力の個人差を生み出したと考えられる。これらのことから、性格特性は統制された筋力トレーニング条件下において筋力向上そのものに直接的な影響を与える要因ではないが、運動への参加や動機付けを通じて運動習慣に影響を及ぼし、その結果として筋力水準や個人差を形成する間接的要因である可能性が示唆される。したがって、性格特性と筋力の関係を理解するには、トレーニング効果のみならず、運動行動の継続や動機付けの視点も含める必要があると考えられる。

本研究の目的は、性格特性とトレーニング中の快・不快という心理的要因が筋力トレーニングによる筋力の向上に与える影響を明らかにすることであった。これらの結果から、統制された筋力トレーニングにおいて、性格特性とトレーニング中の快・不快が筋力の向上そのものに直接的な影響を及ぼすことは確認されなかったものの、筋力の向上に影響を及ぼす心理的要因には時間的側面が存在し、日常生活に

おける長期的・持続的な心理的リソースやストレス、さらには性格特性を基盤とした運動参加や動機付けが、運動習慣を通じて間接的に筋力レベルの個人差を生む可能性が示されたといえる。この知見は筋力の向上において、性格特性に応じた動機付け支援や、長期的な心理的リソースの維持・向上といったトレーニング外での介入の有効性を示している。

本研究の限界や問題として、トレーニング介入が2週間と短いことが挙げられる。本研究では長期的な心理的リソースやストレスが筋力の向上に影響を及ぼす可能性が示されたことから、より長いトレーニング介入を行うことで、トレーニング中の快・不快が長期的な心理的要因となり、本研究とは違った結果を示す可能性がある。

## 結論

本研究では、性格特性やトレーニング中の快・不快という心理的要因が筋力トレーニングの効果に与える影響を調べたが、これらに関係性は見られなかった。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、渡邊航平教授には指導教員として丁寧なご指導をいただきました。深く感謝申し上げます。また、実験にご協力いただいた本学生の皆様にも感謝申し上げます。

## 参考文献

- ・Fredrickson B.L. The broaden-and-build theory of positive emotions. Philos. Trans. R. Soc.



Lond. B Biol. Sci. 359(1449):1367-1378, 2004.

• Hubal M.J, Gordish-Dressman H, Thompson P.D, Price T.B, Hoffman E.P, Angelopoulos T.J, Gordon P.M, Moyna N.M, Pescatello L.S, Visich P.S, Zoeller R.F, Seip R.L, Clarkson P.M. Variability in muscle size and strength gain after unilateral resistance training. Med. Sci. Sports Exerc. 37(6):964-972, 2005.

• Ishida A, Rochau K, Findlay K.P, Devero B, Duca M, Stone M.H. Effects of an Initial Muscle Strength Level on Sports Performance Changes in Collegiate Soccer Players. Sports, 8(9):127, 2020.

• Ramsey K.A, Rojer A.G.M, D' Andrea L. Otten R.H.J, Heymans M.W, Trappenburg M.C, Verlaan S. Whittaker A.C, Meskers C.G.M.M, Maier A.B. The association of objectively measured physical activity and sedentary behavior with skeletal muscle strength and muscle power in older adults: A systematic review and meta-analysis. Ageing Res. Rev. 67:101266, 2021.

• Ronca F, Tari B, Xu C, Burgess P.W. Personality traits can predict which exercise intensities we enjoy most, and the magnitude of stress reduction experienced following a training program. Front. Psychol. 16:1587472, 2025.

• Ruuska P.S, Hautala A.J, Kiviniemi A.M, Mäkikallio T.H, Tulppo M.P. Self-Rated Mental Stress and Exercise Training Response in Healthy Subjects. Front Physiol, 3:51, 2012.

• Sala M, Rosenfield D, Baldwin A. Unpacking differences in post-exercise affective experiences between physically underactive and active individuals. J. Behav. Med. 2023.

- Stephan Y, Sutin A.R, Canada B, Deshayes M, Kekäläinen T, Terracciano A. Five-factor model personality traits and grip strength: Meta-analysis of seven studies. *J. Psychosom. Res.* 160:110961, 2022.
- Terracciano A, Schrack J.A, Sutin A.R, Chan W, Simonsick E.M, Ferrucci L. Personality, metabolic rate and aerobic capacity. *PLoS One* 8(1):e54746, 2013.
- Tok S, Binboğa E, Guven S, Çatikkas F, Dane S. Trait Emotional Intelligence, the Big Five Personality Traits and Isometric Maximal Voluntary Contraction Level Under Stress in Athletes. *Neurol Psychiatry Brain Res*, 19(3):133-138, 2013.
- Van Etten L.M.L.A, Verstappen F.T, Westerterp K.R. Effect of body build on weight-training-induced adaptations in body composition and muscular strength. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26(4):515-521, 1994.
- Vikmoen O, Raastad T, Ellefsen S, Rønnestad B.R. Adaptations to strength training differ between endurance-trained and untrained women. *Eur J Appl Physiol*, 120(7):1541-1549, 2020.
- Williams C.J, Williams M.G, Eynon N, Ashton K.J, Little J.P, Wisloff U, Coombes J.S. Genes to predict VO<sub>2</sub>max trainability: a systematic review. *BMC Genomics* 18(Suppl 8):831, 2017.
- Zhang Y. The impact of Big Five personality traits on exercise motivation and mental health in college students: The mediating role of emotional intelligence. *Acta Psychologica* 260:105522, 2025.
- 小塩真司、阿部晋吾、カトローニ ヒノ. 日本語版 Ten Item Personality Inventory(TIPI-J)作成の

試み. パーソナリティ研究、第 21 巻、第 1 号、40-52 2012.

・厚生労働省 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023.

<https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001171393.pdf>, 2023

課題難易度の変化と聴覚刺激による環境要因が  
運動課題の成功率および主観的心理状態に及ぼす影響

J522062

高木日菜乃

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：子どもの運動習慣の二極化や「運動嫌い」の存在が指摘される中、生涯スポーツの実現に向けた体育授業の重要性が高まっている。教員が操作可能な「課題難易度」は成功率を左右する重要な変数であるが、単に成功率を高めるだけではポジティブな情動に繋がらない可能性があり、体育嫌いを助長する環境要因も含めた検討が必要である。本研究では、課題難易度の変化と聴覚刺激による環境要因が、運動課題の成功率および主観的心理状態に及ぼす影響を検討した。方法：健康な成人 24 名を対象に、アクセルペダルを用いた角度調節課題を実施した。課題難易度は目標軌道の許容幅を変化させた、低レベル、中レベル、高レベルの 3 段階を設定し、失敗時に聴覚刺激を提示する環境条件を設けた。評価項目は試行時間に対する成功率、および VAS 方式アンケートを用いた主観的心理状態（達成感、楽しさ、評価されている感覚、ストレス、運動継続意欲）とした。結果：成功率は難易度上昇に伴い、有意に低下した ( $p < 0.001$ )。一方、主観的心理状態については、低レベルと比較して中レベルおよび高レベルにおいて「達成感」や「楽しさ」、「運動継続意欲」は有意に高値を示した ( $p < 0.01$ )。聴覚刺激の提示は、中レベル、高レベルともに成功率に有意な影響を及ぼさなかったが、「評価されている感覚」および「ストレス」を有意に増加させた ( $p < 0.05$ )。結論：適度な難易度設定は、フロー状態を誘発し、「達成感」や「楽しさ」といったポジティブな情動や運動継続意欲を引き出す有効な手段となり得る。しかし、失敗を強調する聴覚刺激のような環境要因は、成功率を阻害しないものの、心理的負荷を増大させることが明らかとなった。

## 背景

厚生労働省（2023）は、毎日合計 60 分以上、楽しく身体を動かすことを推奨している。しかし、スポーツ庁（2024）によれば、体育の授業時間以外で、推奨基準を満たす運動をしている子どもは二極化の傾向にある。体育授業が楽しいと感じる児童生徒は、総運動時間が長く、卒業後の運動意欲が高いことから、運動習慣の形成および生涯スポーツの実現において、体育授業は重要な役割を担っているといえる（スポーツ庁、2024）。しかし、現実には運動やスポーツをすることを好まない「体育嫌い」が存在する（スポーツ庁、2024）。こうした児童生徒が体育授業を楽しむための条件として、「自分のペースで行えること」や「他者と比較されないこと」が多く挙げられている（スポーツ庁、2022）。文部科学省（2018）の体育分野における目標として「技能の定着」を掲げており、成功体験の獲得は授業の楽しさを促進し、さらに体力向上等へも寄与する（スポーツ庁、2022；2024）。つまり、体育嫌いを減らし、児童生徒のニーズにこたえるためには、単なる種目の選択にとどまらず、個々の能力に応じた指導の工夫が求められる。教員が授業構成において、最も操作可能かつ成功体験に直結する変数である「課題難易度」を適切に設定することは、技能上達を促し、体育に対する苦手意識を解消する有効な手立てとなり得る。

運動課題の難易度は、成功率に影響を及ぼす。課題難易度が高いほど、成功率は低下する傾向にある（Fitts 1954、Fitts & Peterson 1964、Fitts & Radford 1966）。しかし、運動課題の成功率は、単なる難易度のみによって決定されるものではない。人に「見られている」という感覚が心理的ストレスとなるように、運動課題が実施される環境要因の影響も受ける（Åsebø et al. 2022）。難易度上昇は成功率を低下させるものの、心理的側面は異なる様相を呈する。「達成感」や「楽しみ」といったポジティブな情動はフロー状態の要素である。ここでフロー状態とは、自身のスキルと直面する課題難易度が、共に高い

レベルで均衡している時に生じる状態を指す。課題難易度が自身のスキルを上回るとポジティブな情動は低下するが、課題難易度がスキルを下回る、あるいはスキルに見合って適切である場合にはポジティブな情動が高まる傾向にある。このように、ポジティブな情動と課題難易度との間には逆 U 字の関係が示唆されている (Baumann & Scheffer 2010)。また、容易な課題での成功よりも、挑戦的な課題を習得する方が自己効力感を高めるとされており (Bandura 1977)、難易度上昇による成功率の低下がポジティブな情動の低下を意味するわけではない。つまり、成功率が高ければ心理的状态も良好であるとは限らない可能性がある。一方で、難易度上昇は主観的なストレスを高める (Yerkes & Dodson 1908)。ストレスや不安が高いと、成功率が低下すること (Martens & Landers 1970)、あるいは適度なストレスや不安状態のときにパフォーマンスが高まることが報告されている (Yerkes & Dodson 1908)。さらに、体育授業における失敗経験は、スポーツ能力の不足として受け取られ、不快な体育経験として記憶されやすい (Metz et al. 2024)。特に、高難易度課題において失敗を強調するフィードバックが付加されると、心理的負荷がより高まることも報告されている (Harris et al. 2023)。すなわち、難易度上昇に伴うストレスに加え、失敗が強調される環境下では、そのストレスが高まる可能性がある。したがって、単なる難易度設定だけでなく、環境要因も含めて検討することが、体育嫌いを生じさせない具体的な指導環境の構築には必要である。そこで、本研究では課題難易度の変化および失敗を強調させる環境が成功率と主観的心理状態に及ぼす影響を検討することを目的とした。

本研究では、課題難易度と環境要因（聴覚刺激）の相互作用に着目し、以下の仮説を設定した。まず、成功率については、基本的には難易度上昇に伴い、成功率は低下するが、中レベルでは、聴覚刺激の有無による影響は限定的であると考えられる。これに対し、高レベルでは、聴覚刺激が心理的なプレッシャー

として作用し、聴覚刺激のある条件では、聴覚刺激のない条件と比較して成功率が有意に低下すると予測した。次に、主観的心理状態に関して、「達成感」や「楽しさ」といったポジティブな情動および運動継続意欲は、中レベルでフロー状態により高値が維持されるが、高レベルでは難易度上昇と聴覚刺激の相乗効果により著しく低下すると考えられる。また、評価されているという感覚やストレスといったネガティブな情動については、中レベルでは低値に留まるものの、高レベルでは難易度上昇に伴って増大し、聴覚刺激の付加によってその傾向は顕著に増大すると予測した。

## 方法

### 研究対象者

健康な成人 24 名（男性 12 名、女性 12 名；年齢  $20.9 \pm 1.2$  歳；身長  $164.3 \pm 8.5$  cm；体重  $58.2 \pm 9.9$  kg）が本研究に参加した。対象者 24 名のうち 19 名が普通自動車第一種免許を所持しており、その内訳は AT 限定免許 17 名、MT 免許 2 名であった。

### 実験・調査概要

対象者は、合計 3 回の訪問により構成され、中京大学豊田キャンパス 17 号館 1 階スポーツ工学実験室にて実施された。1 回目訪問（練習試行）では、低レベル（許容幅 10%）の Base 角度調節課題を実施し、終了後に VAS 方式アンケートに回答した。成功率（時間に対する割合）95%以上を 2 回達成することを 2・3 回目訪問（本試行）への参加条件としたが、全員が最初の 2 回でこの基準を満たした（表 1）。2・3 回目訪問（本試行）では、全対象者が Base 角度調節課題（低レベル）、VAS 方式アンケート、



表 1 1 回目訪問（練習試行）時の成功率の平均値

低レベル：許容幅 10.0%、ID=1.00

低レベル（1 回目）	低レベル（2回目）
99.206±0.820	99.676±0.908

測定Ⅰ、VAS 方式アンケートⅠ、測定Ⅱ、VAS 方式アンケートⅡの順序で課題を実施した（図 1）。2・3 回目訪問（本試行）における Base 角度調節課題（低レベル）から VAS 方式アンケートまでの手順は、1 回目訪問（練習）において実施したものと同一であった。測定Ⅰ・Ⅱでは課題の許容幅を 2 条件（中レベル：許容幅 5.0%、高レベル：許容幅 2.5%）に設定し、課題難易度を変化させた。条件の順序は対象者ごとに事前に割り当てられた（表 2）。本研究における主観的心理状態の評価には、VAS 方式アンケートを用いた。測定Ⅰ・Ⅱの直後に実施した VAS 方式アンケートⅠ・Ⅱは、Base 角度調節課題（低レベル）後の VAS 方式アンケートと同一の質問項目で構成した。回答に際しては、その回の Base 角度調節課題（低レベル）の感覚を 5 として基準化したうえで、回答させた。対象者に対してかかとのある靴を着用してくるよう、事前に指示した。また、測定時には、左下肢を調整し、股関節角度が約  $110^{\circ}$ 、膝関節角度が約  $135^{\circ}$  となるように椅子を調節した。また、1.5m 先の 27 インチのモニターが十分に視認できることを確認した後に測定を開始した（図 2）。基本的な教示は「黄色の球が赤枠から出ないように力を調整してください」とした。聴覚刺激のある条件では、追加で「黄色の球が赤枠から出ると音が鳴ります。」と教示した。本研究では、聴覚刺激として 1000Hz、54.1～69.2dBA の Beep 音を用いた。球の逸脱時この聴覚刺激がフィードバックとして提示されるように設定した。騒音レベルはデジタル騒音計（株式会社マザーツール、長野、日本、図 3）を用い、モニターから 1.5m の距離にて測定した。なお、測定終了後には、対象者に対して、実施した課題内容および環境条件（聴覚刺激の有無）に関する情報を他者に口外しないよう求めた。

測定項目

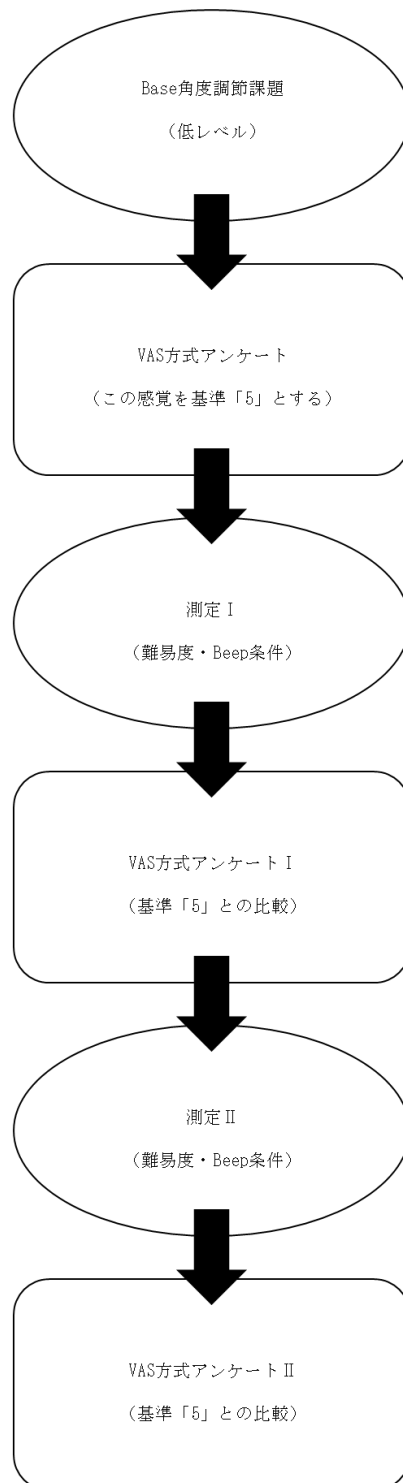


図 1 2・3 回目訪問（本試行）時の実験手順

表 2 2・3 回目訪問（本試行）時の測定順序

N：研究対象者の人数

Beep+：聴覚刺激のある条件

Beep-：聴覚刺激のない条件

中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

	2回目	測定 I	測定 II	3回目	測定 I	測定 II
N=3	Beep+	中	高	Beep-	中	高
N=3	Beep+	中	高	Beep-	高	中
N=3	Beep+	高	中	Beep-	中	高
N=3	Beep+	高	中	Beep-	高	中
N=3	Beep-	中	高	Beep+	中	高
N=3	Beep-	中	高	Beep+	高	中
N=3	Beep-	高	中	Beep+	中	高
N=3	Beep-	高	中	Beep+	高	中

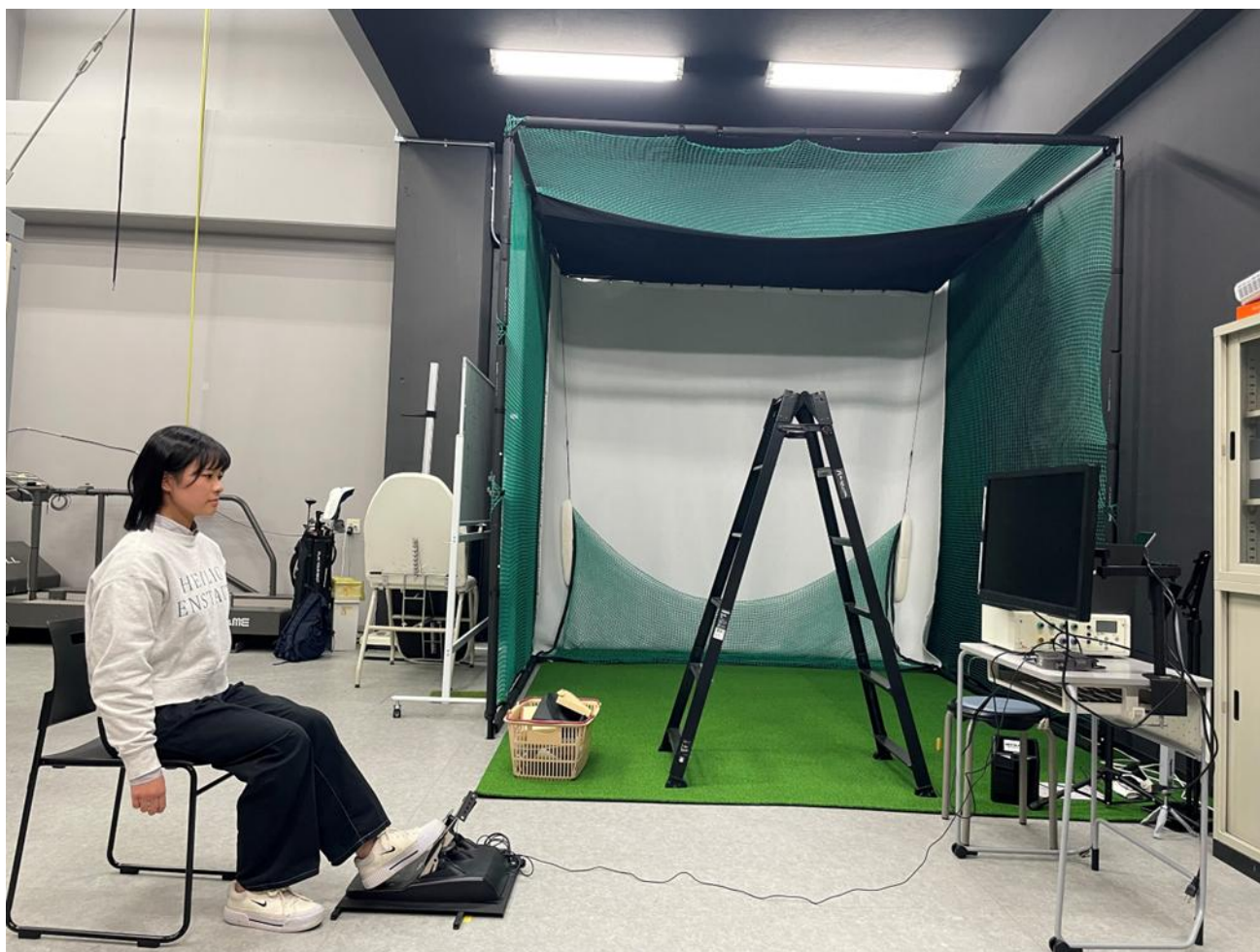


図 2 実験の測定風景

研究対象者は左下肢をアクセルペダルに置き、モニターから 1.5m 離れた椅子に、股関節角度が約  $110^{\circ}$  、膝関節角度が約  $135^{\circ}$  となるようにした。



図 3 デジタル騒音計（株式会社マザーツール、長野、日本）

## 角度調節課題

本研究の実験プロトコルは、Kunugi et al. (2024)およびMasumoto and Inui (2013)を参照した。対象者は、かかとのある靴を着用し、左下肢をアクセルペダル（株式会社ロジクール、東京、日本、図 4）に置いた。本研究では、アクセルペダル自体の変位を直接測定するのではなく、アクセルペダルにゴニオセンサ股関節用（株式会社フォーアシスト、東京、日本、図 5）を取り付け、その角度変化を計測することで、アクセルペダルの変位を間接的に算出している。姿勢は、先行研究（Kunugi et al. 2024）に従い、股関節角度が約  $110^{\circ}$ 、膝関節角度が  $135^{\circ}$  となるように椅子を調節した。また、対象者の前方 1.5m 先に 27 インチのモニターを設置し、目標角度（最大値）を  $5^{\circ}$ （アクセルペダル最大可動域  $25^{\circ}$  に対して 20%）に設定した。学習効果による影響を排除するため、各測定前に練習は行わず、モニターが視認できることを確認した直後に測定を開始した。対象者は最大角度の 15%に相当する  $3.75^{\circ}$  を 15 秒間保持させた。続いて、ソフトウェア（OTBio Lab+、OT Bioelettronica、トリノ、イタリア）を用いて作成した、1 周期 4 秒の正弦波状の目標軌道を追従する課題を 120 秒間実施した。この周期的課題の設定は、Masumoto and Inui (2013)の実験内容に基づき、目標軌道の最大値と最小値の比率が 2 : 1 とした。これに従い、目標最大角度を  $5^{\circ}$ （Kunugi et al. 2024）、目標最小角度を  $2.5^{\circ}$  とした。解析区間は周期的課題の全 120 秒間とした。課題の難易度は Shannon 形式（Scotto 2018）を採用し、以下の式により定量化した。

$$ID = \log_2 (A/W + 1)$$

ここで、ID は課題の難易度、A は運動振幅、W は標的の幅を示す。本研究では、運動振幅を  $2.5^{\circ}$  に固定し、標的の幅を条件ごとに变化させることで難易度を調整した。低レベル、中レベル、高レベルの許





図 4 実験で使用したアクセルペダル（ゴニオセンサ股関節用装着）（株式会社ロジクール、東京、日本）





図 5 ゴニオセンサ股関節用（アクセルペダル変位の間接測定に使用）（株式会社フォーアシスト、東京、日本）

容幅は、それぞれアクセルペダル最大角度に対して 10.0% (ID=1.00)、5.0% (ID=1.59)、2.5%

(ID=2.32) とした (図 6～11、表 3)。角度信号は前述の通りゴニオセンサ股関節用 (株式会社フォーアシスト、東京、日本、図 5) により検出し、特注 8ch アナログインターフェイス (株式会社フォーアシスト、東京、日本、図 12) を介して EMG-USB (OT Bioelettronica、トリノ、イタリア、図 13) へ入力した。すべての信号は 512Hz でサンプリングし、デジタルデータとして記録した。解析には Python (Python Software Foundation、オランダ) を使い、120 秒間における、目標の許容幅から逸脱したエラー時間を特定し、全解析時間に対する成功率を難易度ごとに算出した。

#### VAS 方式アンケート

アクセルペダルを用いた角度調節課題の測定終了後、対象者の主観的心理状態を評価するため、紙媒体による VAS 方式アンケートを実施した。アンケート用紙には、10cm の水平な直線を提示した。直線の左端を「全く感じない」、中央を「どちらともいえない」、右端を「とても感じる」とした (図 14～16)。対象者は、各質問項目に対する自身の主観的心理状態が直線のどの位置に該当するかを、線上への「×」印の記入によって回答した。数値化にあたっては、実験者が定規を用いて左端から「×」印の交点までの距離を 0.1cm 単位で測定し、その値を主観的心理状態評価値 (0.0～10.0) として算出した。2・3 回目訪問時には、測定 I・II に先立って実施される Base 角度調節課題 (低レベル) での感情を基準とする「基準化 VAS」を採用した (図 17～20)。Base 角度調節課題 (低レベル) 終了時の感情を直線の中央 (5cm 地点) とし、対象者が Base 角度調節課題 (低レベル) と比較して測定 I・II の各難易度でどのように感じたかを回答した。質問項目は、先行研究の知見および学習指導要領の教育的観点に基づき、ポジティブな

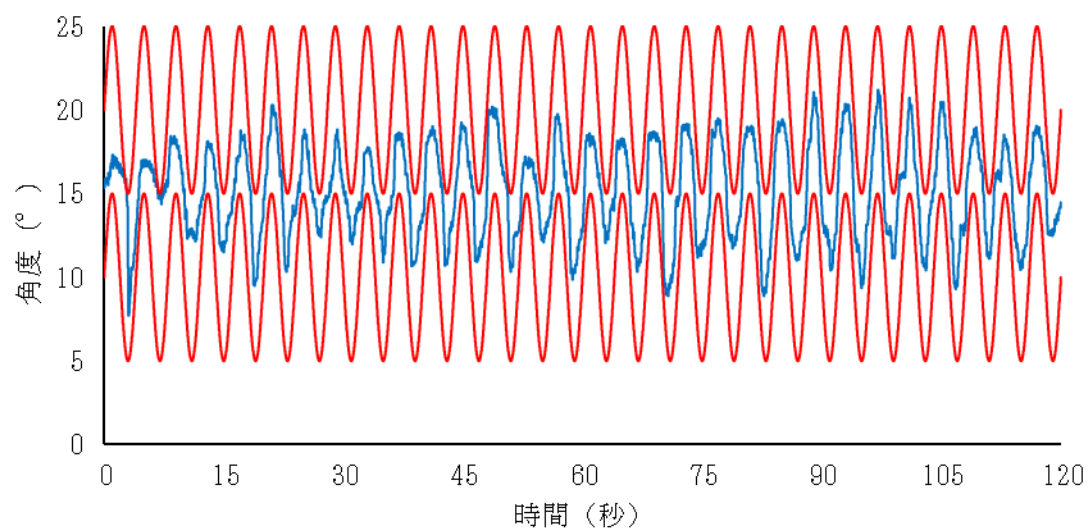


図 6 低レベル（許容幅 10.0%、ID=1.00）の運動課題

赤線：目標とする角度の許容範囲

青線：対象者による実際のペダル操作角度

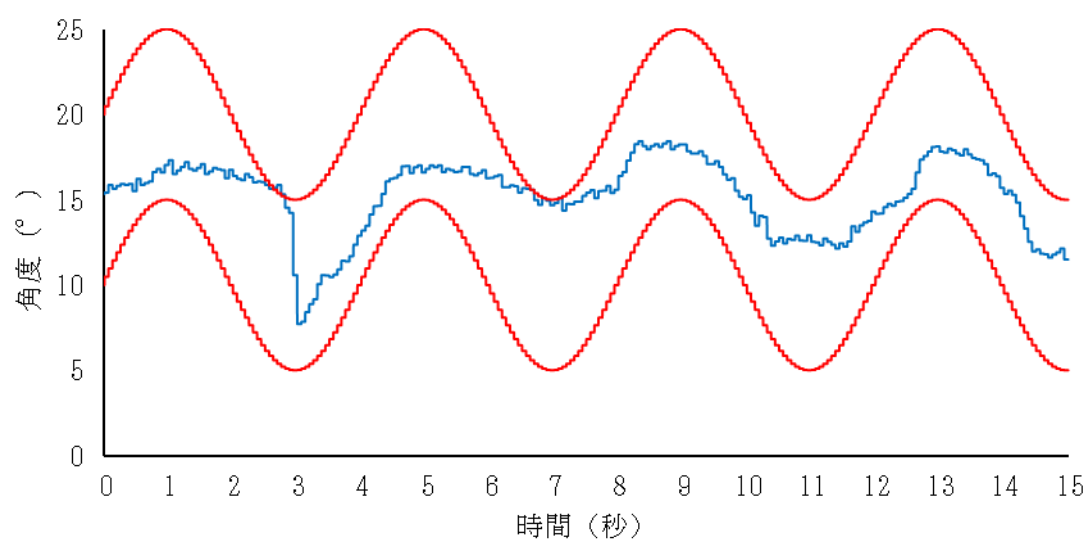


図 7 低レベル（許容幅 10.0%、ID=1.00）の運動課題拡大版

赤線：目標とする角度の許容範囲

青線：対象者による実際のペダル操作角度

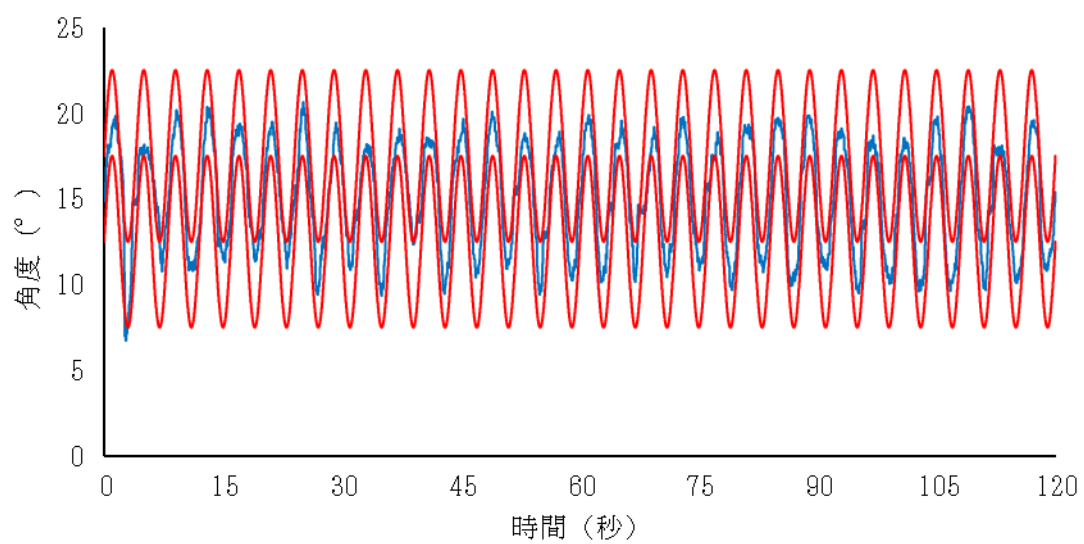


図 8 中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）の運動課題

赤線：目標とする角度の許容範囲

青線：対象者による実際のペダル操作角度

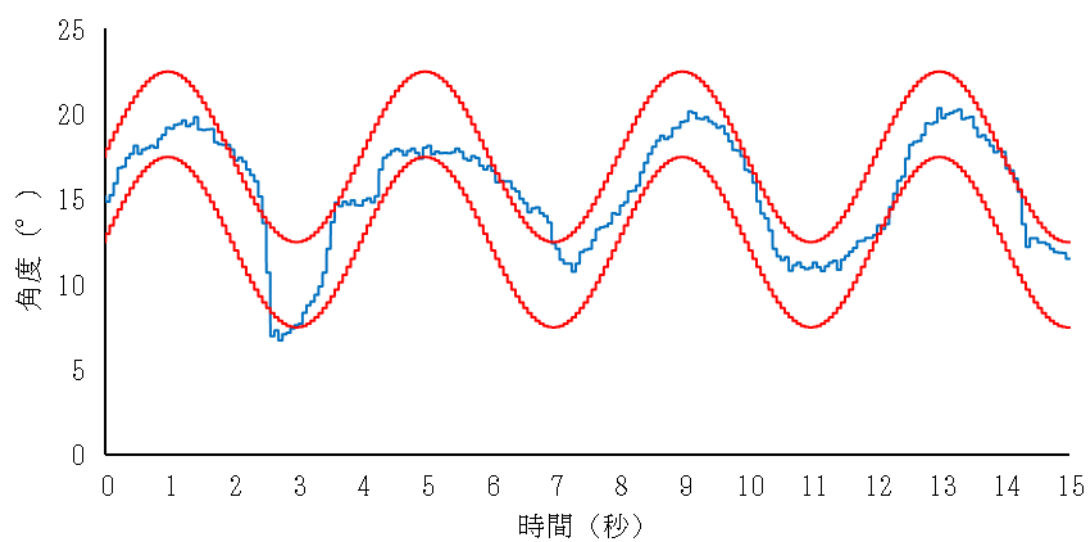


図 9 中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）の運動課題拡大版

赤線：目標とする角度の許容範囲

青線：対象者による実際のペダル操作角度

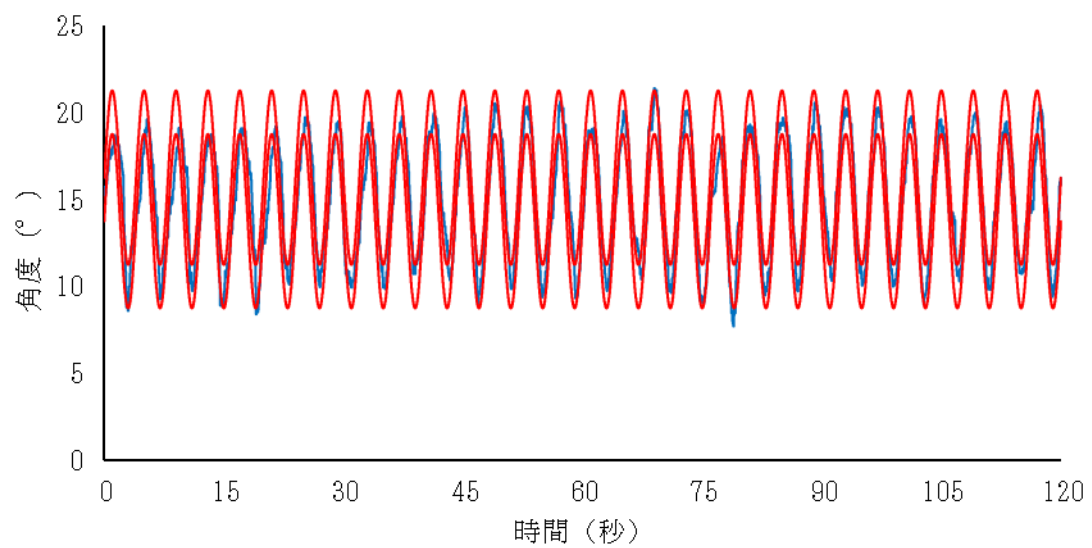


図 10 高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）の運動課題

赤線：目標とする角度の許容範囲

青線：対象者による実際のペダル操作角度

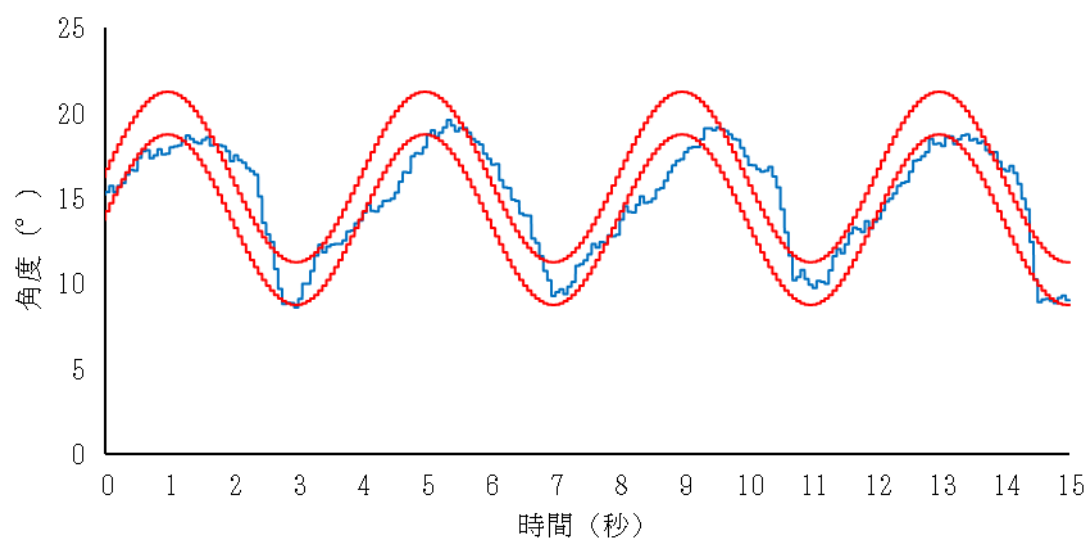


図 11 高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）の運動課題拡大版

赤線：目標とする角度の許容範囲

青線：対象者による実際のペダル操作角度



表 3 各難易度における許容幅および ID（課題の難易度）

低：低レベル（許容幅 10.0%、ID=1.00）

中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

	許容幅（％）	ID
低	10.0	1.0
中	5.0	1.6
高	2.5	2.3



図 12 特注 8ch アナログインターフェイス（株式会社フォーアシスト、東京、日本）



図 13 EMG-USB (OT Bioelettronica、トリノ、イタリア)

## アンケート（初回測定）

名前（	）	年齢（	）	（ F ・ M ）
身長（	）	cm	体重（	）
		kg		
運転免許（ 有 ・ 無 ）	（ AT ・ MT ）			
運転頻度（				）

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 14 1 回目訪問（練習試行）時に使用した VAS 方式アンケート

## アンケート（2回目測定①）

名前（）

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 15 2回目訪問（本試行）時の Base 角度調節課題（低レベル）後に使用した VAS 方式アンケート

## アンケート（3回目測定①）

名前（）

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 16 3回目訪問（本試行）時の Base 角度調節課題（低レベル）後に使用した VAS 方式アンケート

## アンケート（2回目測定②）

名前（                      ）
難易度（ 中 ・ 高 ）
Beep （ + ・ - ）

練習と比較してどのように感じたか教えてください。

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 17 2 回目訪問（本試行）時の測定 I 後に使用した VAS 方式アンケート

## アンケート（2回目測定③）

名前（                      ）
難易度（ 中 ・ 高 ）
Beep （ + ・ - ）

練習と比較してどのように感じたか教えてください。

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 18 2 回目訪問（本試行）時の測定Ⅱ後に使用した VAS 方式アンケート



## アンケート（3回目測定②）

名前（                      ）
難易度（ 中 ・ 高 ）
Beep （ + ・ - ）

練習と比較してどのように感じたか教えてください。

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 19 3 回目訪問（本試行）時の測定 I 後に使用した VAS 方式アンケート

## アンケート（3回目測定③）

名前（                      ）
難易度（ 中 ・ 高 ）
Beep （ + ・ - ）

練習と比較してどのように感じたか教えてください。

- ① 課題をやり遂げた達成感を感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ② 課題全体を通して楽しい時間となりましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ③ 運動課題中に評価されていると感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ④ 失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか。線の上に（×）をつけてください。



- ⑤ この運動を次もやりたいと思いますか。線の上に（×）をつけてください。



図 20 3 回目訪問（本試行）時の測定Ⅱ後に使用した VAS 方式アンケート

情動（2問）、ストレスの程度（2問）、運動継続意欲（1問）の計5項目で構成した。第一に、ポジティブな情動を測定する項目として、①「課題をやりとげた達成感を感じましたか」および②「課題全体を通して楽しい時間となりましたか」を採用した。Baumann and Scheffer（2010）は、「達成感」や「楽しさ」といった感情をフロー状態時にみられるポジティブな情動であると述べている。また、学習指導要領においても、児童生徒が運動に対して楽しさや喜びを感じられるようにするなど、主観的側面の重視が示されていることから、これらを運動に対するポジティブな情動を評価する指標とした。第二に、実験環境の妥当性の確認および失敗が心理面に与える影響を検討するため、③「運動課題中に評価されていると感じましたか」および④「失敗したとき、どのくらいストレスを感じましたか」の2項目を設定した。

Åsebø et al.（2022）によれば、体育授業特有の「見られている」という感覚は、自身が評価されているという意識と結びついていることを報告している。本実験では、聴覚刺激を用いて評価されていることや失敗を強調する環境を設定しており、項目③を通じて対象者が体育授業に近い環境下で課題を実施できていたかを評価した。さらに、Metz et al.（2024）は体育授業でのパフォーマンスの失敗がスポーツ能力の不足として受け取られ、不快な体育経験として記憶されやすいことを指摘している。また、可視性の高い環境が一部の人にとってストレス要因となり得る（Åsebø et al. 2022）。これらに関連して、スポーツ庁（2022）は、体育授業中における他者との比較や技能の未熟さは、運動嫌いを助長する要因として示唆している。これらを踏まえ、技能の不足が顕在化する場面での心理的負荷を測定するため、項目④によって課題の難易度および聴覚刺激の有無が感情に与える影響を評価した。第三に、将来的な運動習慣との関連を評価するため、⑤「この運動を次もやりたいと思いますか」を設けた。学習指導要領で目標とされる「生涯にわたって心身の健康を保持増進し、豊かなスポーツライフを実現」の観点から、角度調

節課題が運動継続意欲に及ぼす影響を測定することを目的とした。

## 統計解析

結果は平均±標準偏差で示す。統計解析は、Statistical Package for the Social Science (ver. 25.0、IBM Japan Inc.、東京、日本) を使用して実施し、有意水準は 5%未満 ( $p<0.05$ ) とした。難易度の変化(低レベル、中レベル、高レベル) が成功率および主観的心理状態に及ぼす影響の検討には Friedman 検定を用いた。また、聴覚刺激が与える影響、各難易度における聴覚刺激が与える変化量の比較および聴覚刺激の有無による難易度上昇に伴う変化量の比較には、Wilcoxon の符号付順位検定を用いた。

## 結果

### 成功率

#### 難易度の変化が成功率に与える影響

難易度の変化自体が成功率に与える影響を検討するため、低レベル、中レベル、高レベルの 3 条件間で比較を行った。その結果、難易度の間に有意差があった(低:  $99.794 \pm 0.423\%$ 、中:  $96.087 \pm 2.766\%$ 、高:  $75.071 \pm 7.642\%$ 、 $p<0.001$ 、表 4)。事後検定の結果、低レベルと比較して中レベル ( $p=0.002$ 、図 21) および高レベル ( $p<0.001$ 、図 21) は有意に低値を示し、さらに中レベルと比較して高レベルも有意に低値を示した ( $p=0.002$ 、図 21)。これにより、難易度上昇に伴い、成功率は段階的かつ有意に低下したことが示された。

表 4 各難易度における聴覚刺激条件別にみた成功率の平均値

Beep- : 聴覚刺激のない条件

Beep+ : 聴覚刺激のある条件

低レベル : 許容幅 10.0%、ID=1.00

中レベル : 許容幅 5.0%、ID=1.59

高レベル : 許容幅 2.5%、ID=2.32

	中	中+	高	高+
達成感	7.5±1.5	7.7±1.9	7.3±2.1	6.4±2.5
楽しさ	7.1±1.9	7.7±2.0	6.8±1.8	6.6±2.4
評価	6.0±2.1	7.3±2.3	6.2±2.0	7.1±2.4
ストレス	4.8±2.7	6.1±2.7	5.8±2.7	7.6±2.5
継続	7.0±1.9	7.6±1.9	7.0±2.1	6.6±2.7

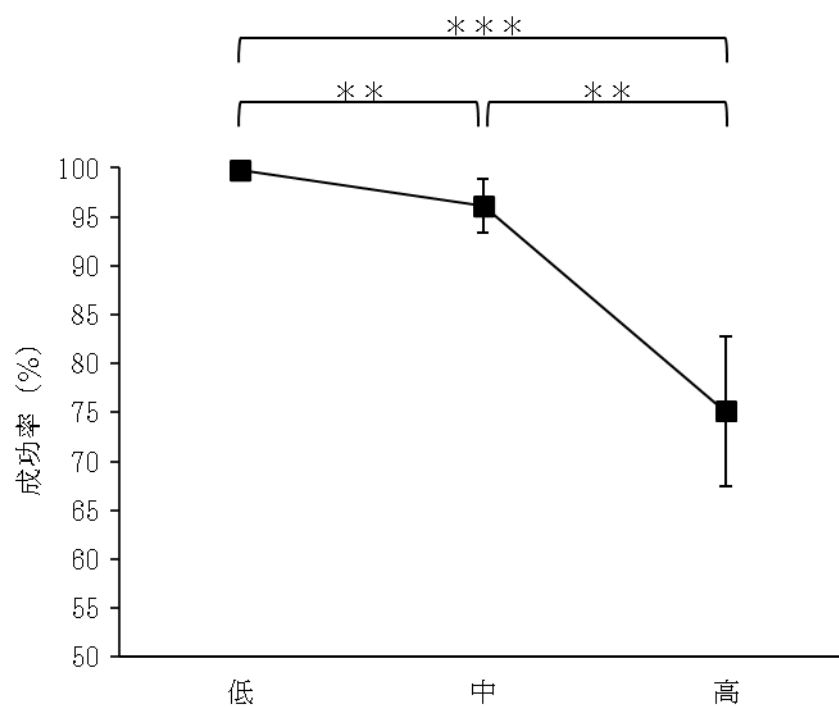


図 21 各難易度における成功率の変化の平均値

低：低レベル、許容幅 10.0%、ID=1.00

中：中レベル、許容幅 5.0%、ID=1.59

高：高レベル、許容幅 2.5%、ID=2.32

\*\*\* $p < 0.001$

\*\* $p < 0.010$

## 聴覚刺激の有無が成功率に与える影響

各難易度レベルにおける聴覚刺激が成功率に与える影響を検討した。中レベルにおいて、聴覚刺激のない条件（中： $96.087 \pm 2.766\%$ 、表 4）と聴覚刺激のある条件（中+： $96.178 \pm 2.715\%$ 、表 4）の間で比較した結果、成功率に有意差はなかった（ $p=0.668$ 、図 22）。同様に、高レベルにおける聴覚刺激のない条件（高： $75.071 \pm 7.642\%$ 、表 4）と聴覚刺激のある条件（高+： $73.086 \pm 7.921\%$ 、表 4）においても、成功率に有意差はなかった（ $p=0.110$ 、図 23）。

## 各難易度における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量の比較

中レベルにおける聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量（（中+）-中： $0.091 \pm 2.810$ 、表 5）と高レベルにおける聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量（（高+）-高： $-1.985 \pm 7.780$ 、表 5）を比較した結果、有意差はなかった（ $p=0.092$ 、図 24）。

## 聴覚刺激の有無による難易度上昇に伴う成功率の変化量の比較

聴覚刺激のある環境での難易度上昇による成功率の変化量（（高+）-（中+）： $-23.092 \pm 6.827$ 、表 6）と、聴覚刺激のない環境での難易度上昇による成功率の変化量（高-中： $-21.016 \pm 6.501$ 、表 6）を比較した結果、有意差はなかった（ $p=0.092$ 、図 25）。

## 主観的心理状態（VAS 方式アンケート）

### 難易度の変化が主観的心理状態に与える影響

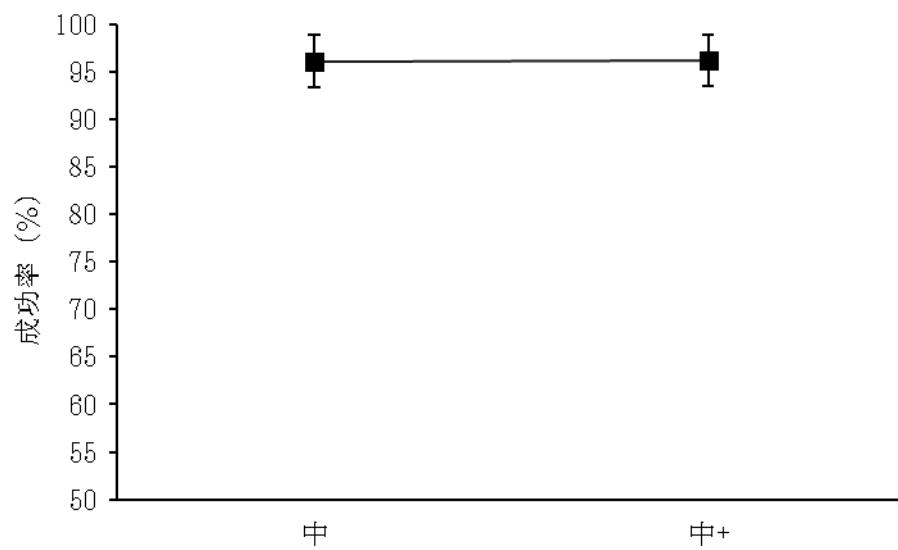


図 22 中レベルにおける聴覚刺激有無別の成功率の平均値

中：聴覚刺激のない条件の中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激のある条件の中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）



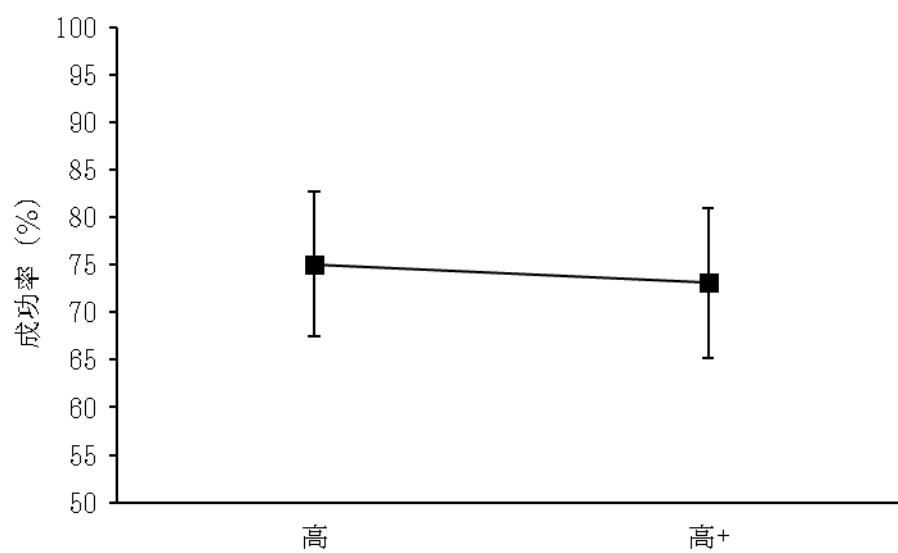


図 23 高レベルにおける聴覚刺激有無別の成功率の平均値

高：聴覚刺激のない条件高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激のある条件高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

表 5 各難易度における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量  
 (高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量

(中+)-中	(高+)-高
0.091±2.810	-1.985±7.780

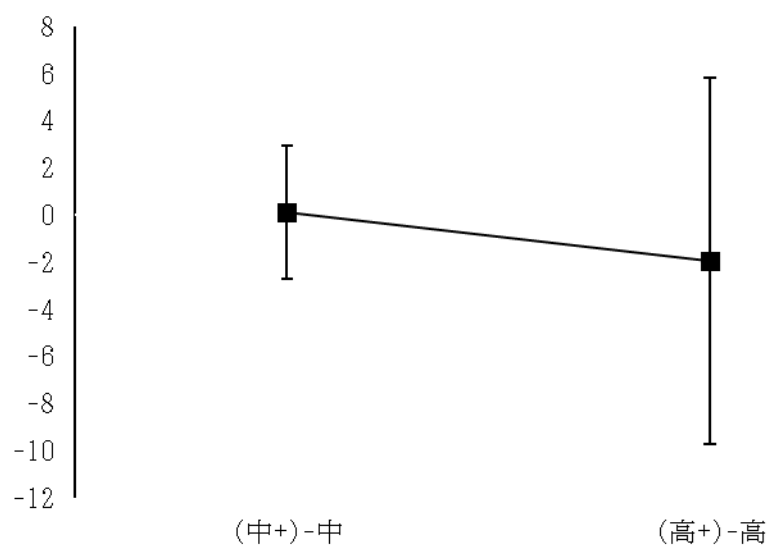


図 24 各難易度における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量の比較の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が成功率に与える成功率の変化量

表 6 聴覚刺激有無による難易度上昇に伴う成功率の変化量の平均値

(高+)-(中+)：聴覚刺激のある環境での難易度上昇による成功率の変化量

高-中：聴覚刺激のない環境での難易度上昇による成功率の変化量

高(+)-中(+)	高-中
-23.092±6.827	-21.016±6.501

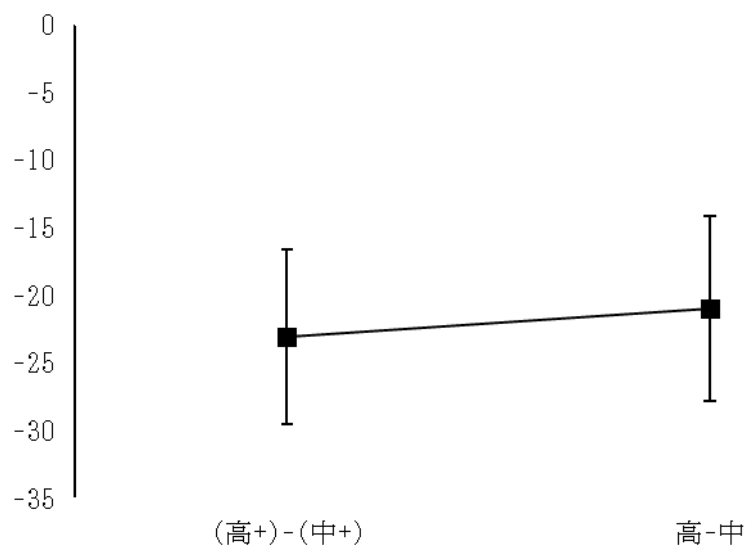


図 25 聴覚刺激有無による難易度上昇に伴う成功率の変化量の比較の平均値

(高+)-(中+) : 聴覚刺激のある環境での難易度上昇による成功率の変化量

高-中 : 聴覚刺激のない環境での難度上昇による成功率の変化量

難易度の変化（低レベル、中レベル、高レベル）が主観的心理状態に与える影響について、5つの項目で検討した。なお、本アンケートでは、Base 角度調節課題（低レベル）の値を5と基準化した上で回答を求めている（表7）。達成感、楽しさ、および運動継続意欲については、難易度の間に有意差があった（いずれも  $p < 0.001$ ）。事後検定の結果、これら3項目すべてにおいて、VAS 値を5と基準化した低レベルと比較して、中レベルおよび高レベルでは、有意に高値を示した。各項目の結果は、達成感（低 vs 中： $p < 0.001$ 、低 vs 高： $p < 0.001$ 、図26）、楽しさ（低 vs 中： $p = 0.003$ 、低 vs 高： $p = 0.007$ 、図27）、運動継続意欲（低 vs 中： $p = 0.001$ 、低 vs 高： $p = 0.007$ 、図28）である。一方で、中レベルと高レベルの間には、これら3項目のいずれにおいても有意差はなかった（いずれも  $p = 1.000$ ）。各項目の数値は、達成感（中： $7.5 \pm 1.5$ 、高： $7.3 \pm 2.1$ 、表7）、楽しさ（中： $7.1 \pm 1.9$ 、高： $6.8 \pm 1.8$ 、表7）、運動継続意欲（中： $7.0 \pm 1.9$ 、高： $7.0 \pm 2.1$ 、表7）であった。評価されている感覚についても、難易度の間に有意差があった（ $p < 0.001$ ）。事後検定の結果、VAS 値を5と基準化した低レベルと比較して高レベル（ $6.2 \pm 2.0$ 、表7）は有意に高値を示したが（ $p = 0.001$ 、図29）、VAS 値を5と基準化した低レベルと中レベル（ $6.0 \pm 2.1$ 、表7、 $p = 0.109$ ）、および中レベルと高レベルの間（ $p = 0.447$ ）に有意差はなかった。ストレスについては難易度の間に有意差があった（ $p = 0.012$ ）。事後検定の結果、中レベル（ $4.8 \pm 2.7$ 、表7）と比較して高レベル（ $5.8 \pm 2.7$ 、表7）は有意に高値を示した（ $p = 0.028$ 、図30）。一方で、VAS 値を5と基準化した低レベルと中レベル（ $p = 1.000$ ）および低レベルと高レベル（ $p = 0.091$ ）の間に有意差はなかった。

#### 聴覚刺激の有無が主観的心理状態に与える影響

各難易度レベルにおいて聴覚刺激が主観的心理状態に与える影響を検討した。評価されている感覚お

表 7 各難易度における聴覚刺激条件別にみた主観的心理状態の VAS 値の平均値

中：聴覚刺激のない条件の中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激のある条件の中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

高：聴覚刺激のない条件の高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激のある条件の高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

	中	中+	高	高+
達成感	7.5±1.5	7.7±1.9	7.3±2.1	6.4±2.5
楽しさ	7.1±1.9	7.7±2.0	6.8±1.8	6.6±2.4
評価	6.0±2.1	7.3±2.3	6.2±2.0	7.1±2.4
ストレス	4.8±2.7	6.1±2.7	5.8±2.7	7.6±2.5
継続	7.0±1.9	7.6±1.9	7.0±2.1	6.6±2.7

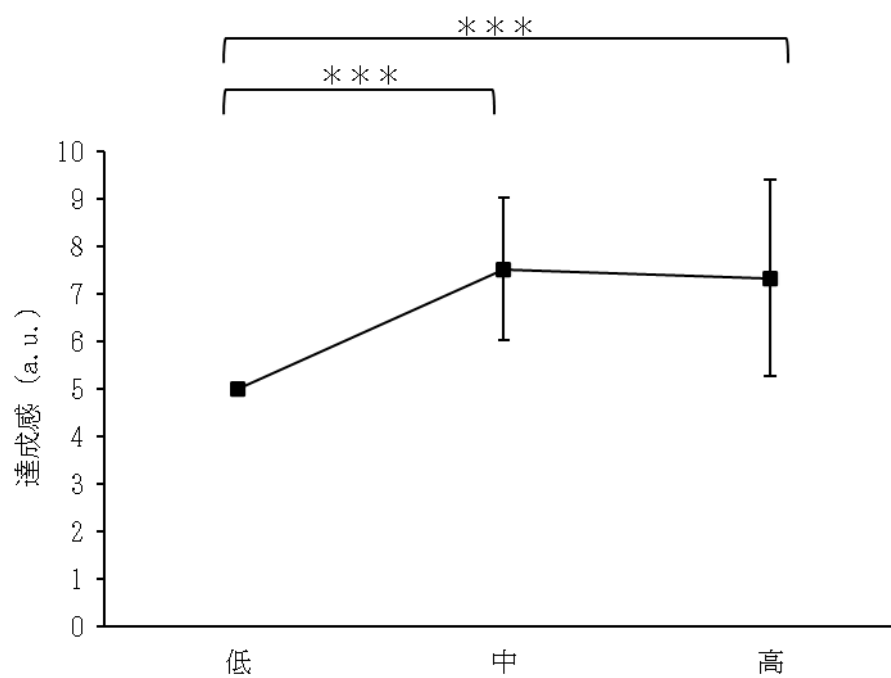


図 26 難易度別にみた達成感の変化の平均値

低：低レベル、許容幅 10.0%、ID=1.00

中：中レベル、許容幅 5.0%、ID=1.59

高：高レベル、許容幅 2.5%、ID=2.32

\*\*\*p<0.001



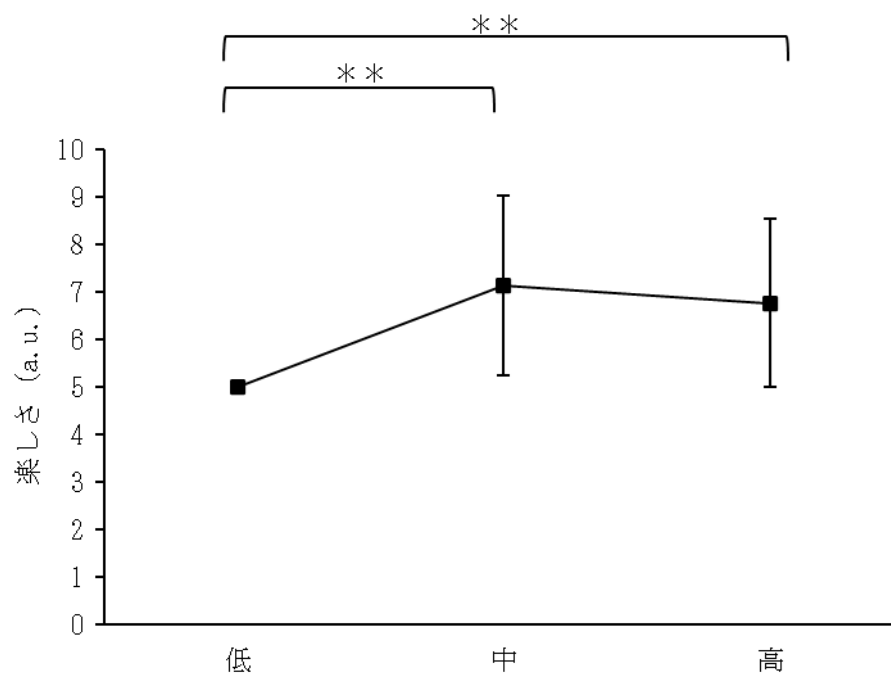


図 27 難易度別にみた楽しさの変化の平均値

低：低レベル、許容幅 10.0%、ID=1.00

中：中レベル、許容幅 5.0%、ID=1.59

高：高レベル、許容幅 2.5%、ID=2.32

\*\*p<0.01

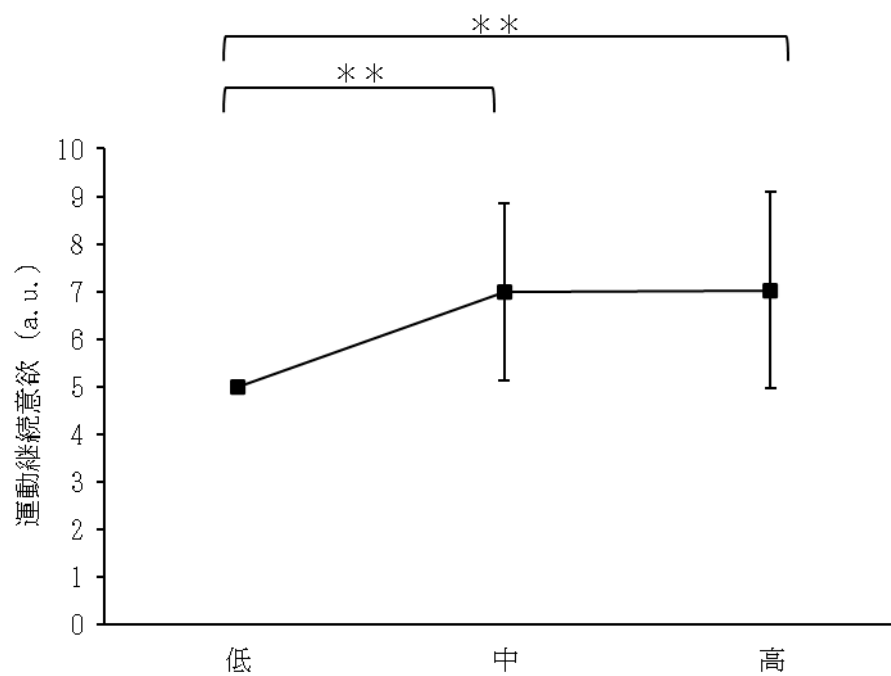


図 28 難易度別にみた運動継続意欲の変化の平均値

低：低レベル、許容幅 10.0%、ID=1.00

中：中レベル、許容幅 5.0%、ID=1.59

高：高レベル、許容幅 2.5%、ID=2.32

\*\* $p < 0.01$

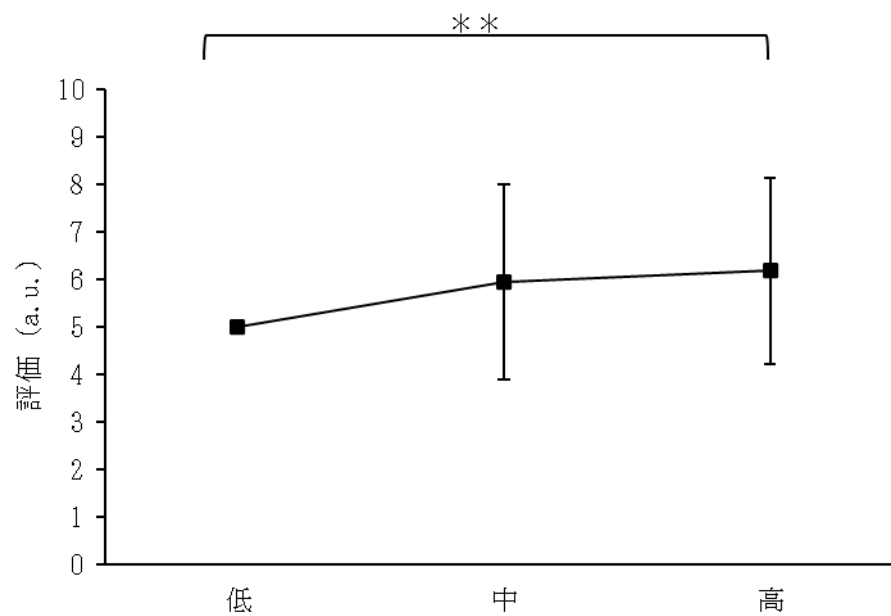


図 29 難易度別にみた評価されている感覚の変化の平均値

低：低レベル、許容幅 10.0%、ID=1.00

中：中レベル、許容幅 5.0%、ID=1.59

高：高レベル、許容幅 2.5%、ID=2.32

\*\* $p < 0.01$

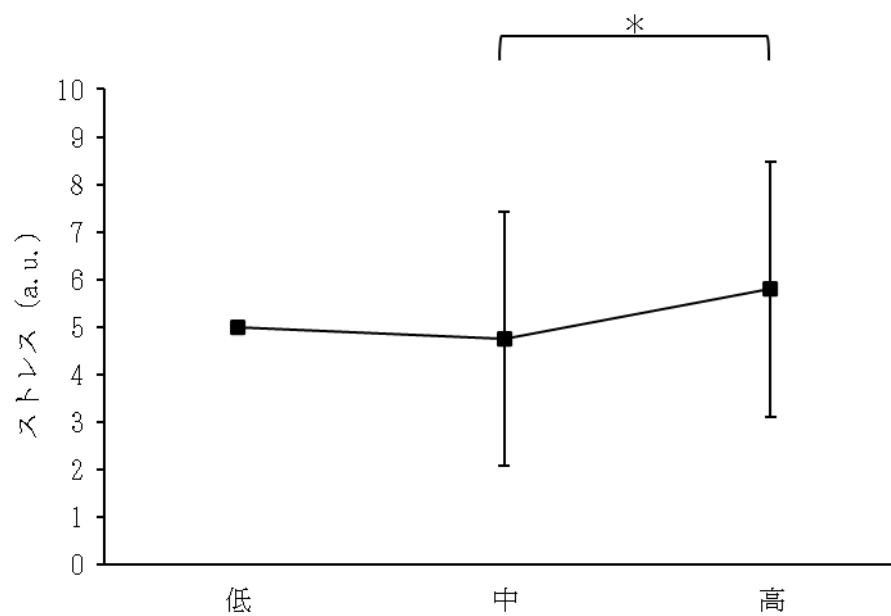


図 30 難易度別にみたストレスの変化の平均値

低：低レベル、許容幅 10.0%、ID=1.00

中：中レベル、許容幅 5.0%、ID=1.59

高：高レベル、許容幅 2.5%、ID=2.32

\* $p < 0.05$

よびストレスについては、中レベルおよび高レベルのいずれにおいても、聴覚刺激によって有意に高値を示した。具体的には、評価されている感覚（中： $6.0 \pm 2.1$ 、中+： $7.3 \pm 2.3$ 、表 7、 $p=0.01$ 、図 31/高： $6.2 \pm 2.0$ 、高+： $7.1 \pm 2.4$ 、表 7、 $p=0.038$ 、図 32）およびストレス（中： $4.8 \pm 2.7$ 、中+： $6.1 \pm 2.7$ 、表 7、 $p=0.02$ 、図 33/高： $5.8 \pm 2.7$ 、高+： $7.6 \pm 2.5$ 、表 7、 $p=0.005$ 、図 34）において、聴覚刺激による有意な上昇があった。一方で、達成感、楽しさ、および運動継続意欲については、中レベル（達成感： $p=0.456$ 、図 35、楽しさ： $p=0.093$ 、図 36、運動継続意欲： $p=0.091$ 、図 37）および高レベル（達成感： $p=0.148$ 、図 38、楽しさ： $p=0.749$ 、図 39、運動継続意欲： $p=0.426$ 、図 40）のいずれにおいても有意差はなかった。

#### 各難易度における聴覚刺激が主観的心理状態に与える主観的心理状態の変化量の比較

中レベルにおける聴覚刺激による主観的心理状態の変化量（（中+）-中）と高レベルにおける聴覚刺激による主観的心理状態の変化量（（高+）-高）を比較した結果（表 8）、達成感（（中+）-中）： $0.2 \pm 2.3$ 、（高+）-高： $-0.9 \pm 2.6$ 、 $p=0.05$ 、図 41）、楽しさ（（中+）-中）： $0.6 \pm 1.7$ 、（高+）-高： $-0.2 \pm 0.3$ 、 $p=0.07$ 、図 42）、評価（（中+）-中）： $0.3 \pm 2.5$ 、（高+）-高： $1.0 \pm 2.4$ 、 $p=0.52$ 、図 43）、ストレス（（中+）-中）： $1.3 \pm 2.9$ 、（高+）-高： $1.8 \pm 2.7$ 、 $p=0.224$ 、図 44）、運動継続意欲（（中+）-中）： $0.6 \pm 1.9$ 、（高+）-高： $-0.4 \pm 1.7$ 、 $p=0.071$ 、図 45）のすべての項目において有意差はなかった。

#### 聴覚刺激の有無による難易度上昇に伴う主観的心理状態の変化量の比較

聴覚刺激のある環境での難易度上昇による主観的心理状態の変化量と（（高+）-（中+））、聴覚刺激のない環境での難易度上昇による主観的心理状態の変化量（高-中）を比較した結果（表 9）、達成感（（高

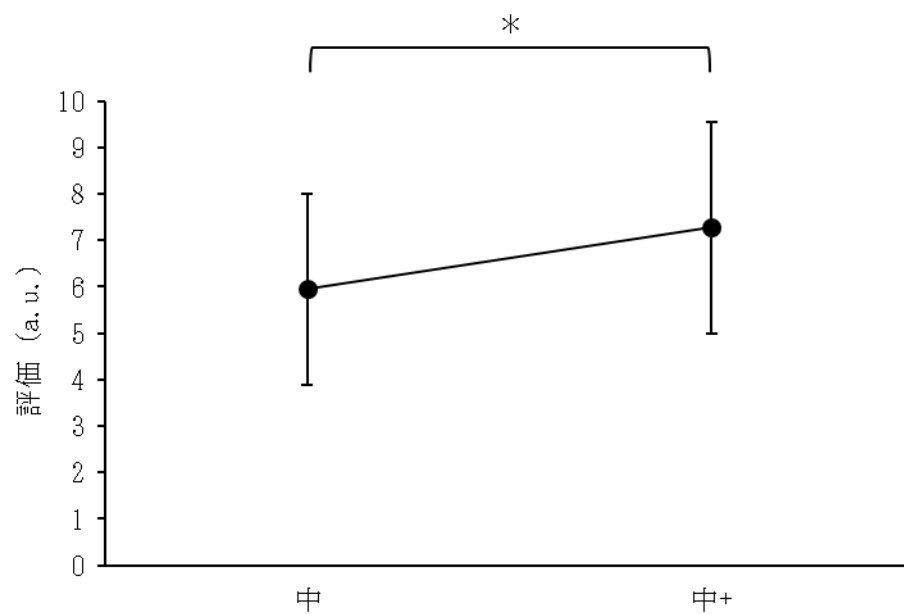


図 31 中レベルにおける聴覚刺激有無別の評価されている感覚の平均値

中：聴覚刺激なし中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激あり中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

\* $p < 0.05$

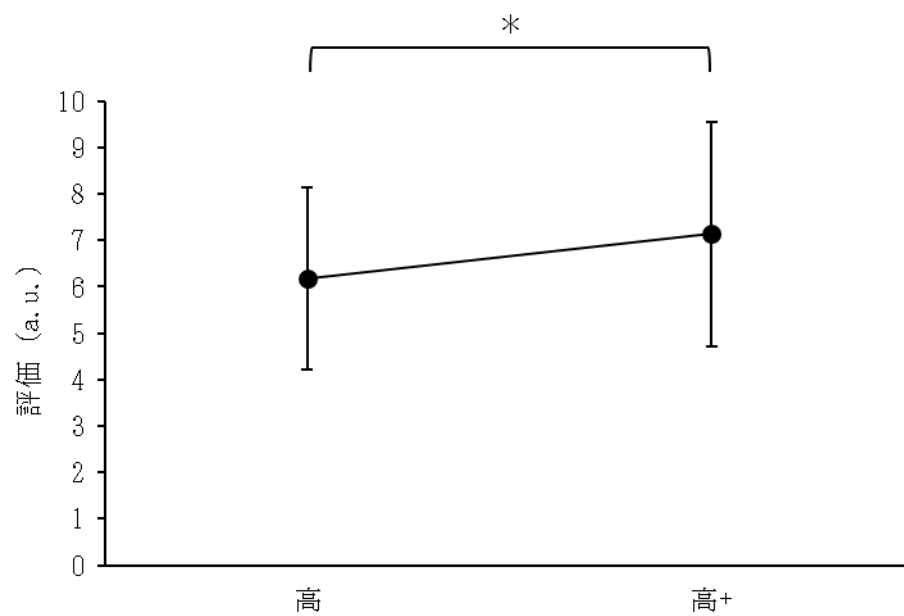


図 32 高レベルにおける聴覚刺激有無別の評価されている感覚の平均値

高：聴覚刺激なし高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激あり高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

\*  $p < 0.05$

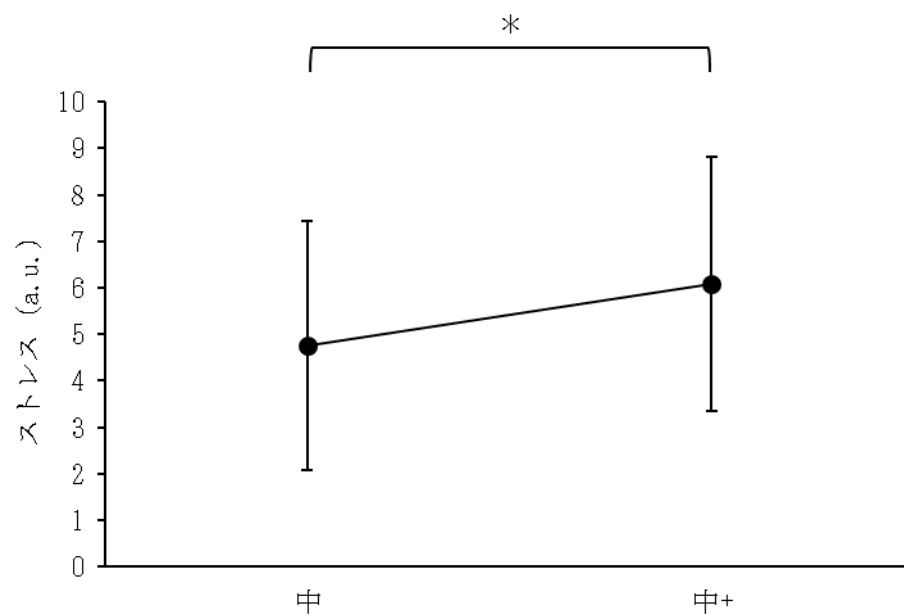


図 33 中レベルにおける聴覚刺激有無別のストレスの平均値

中：聴覚刺激なし中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激あり中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

\* $p < 0.05$



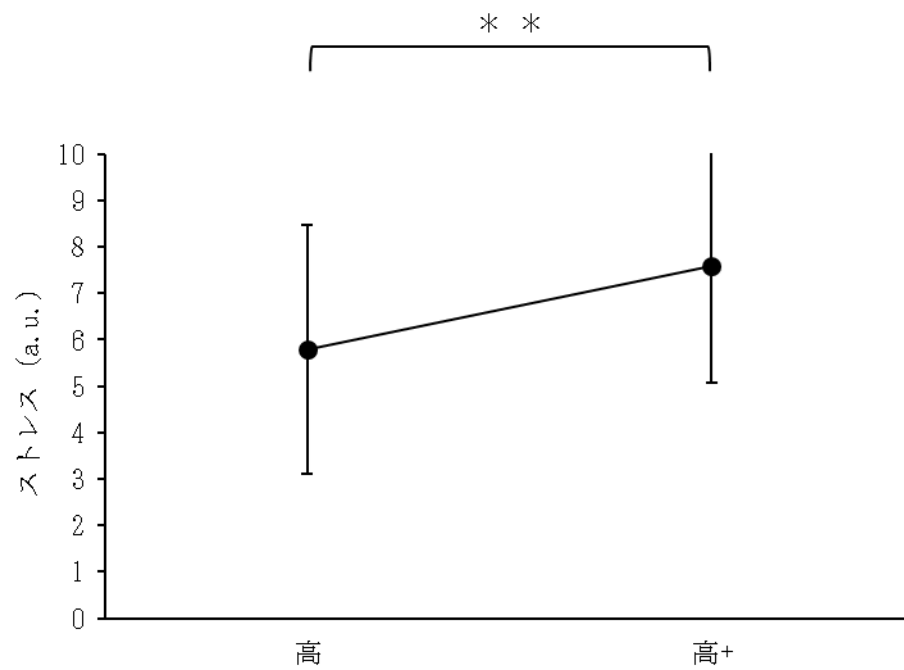


図 34 高レベルにおける聴覚刺激有無別のストレスの平均値

高：聴覚刺激なし高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激あり高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

\*\*p<0.01

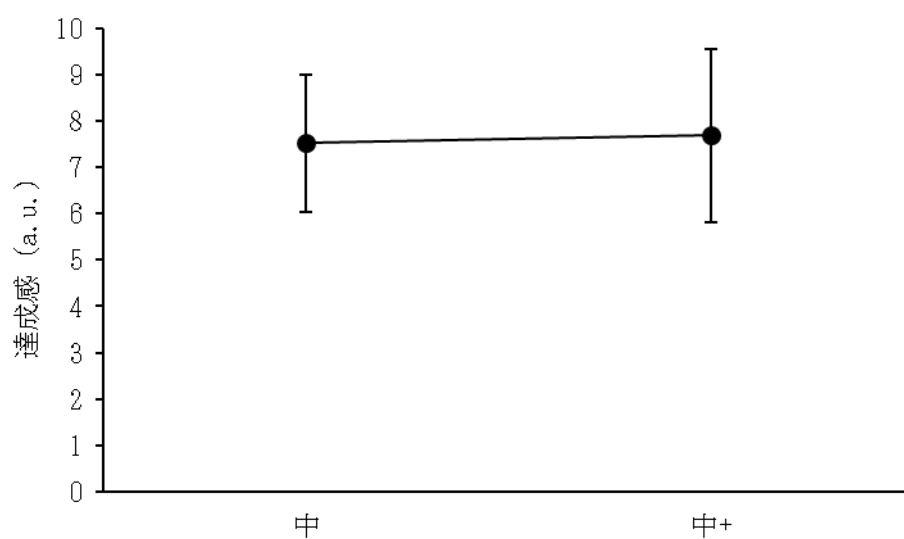


図 35 中レベルにおける聴覚刺激有無別の達成感の平均値

中：聴覚刺激なし中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激あり中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

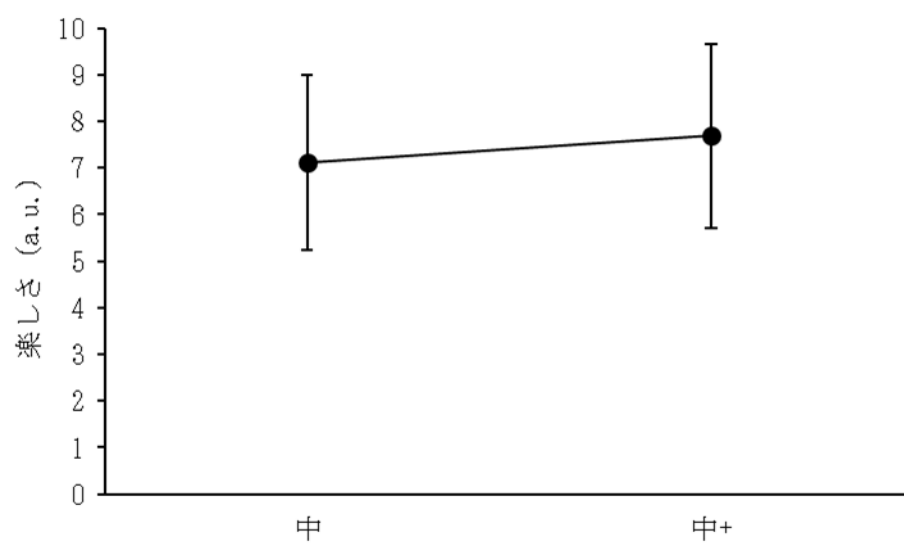


図 36 中レベルにおける聴覚刺激有無別の楽しさの平均値

中：聴覚刺激なし中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激あり中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

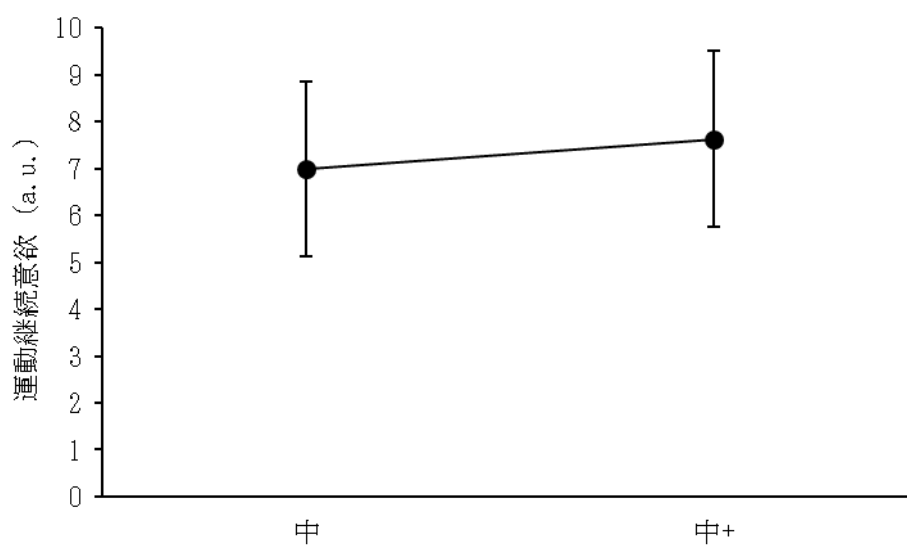


図 37 中レベルにおける聴覚刺激有無別の運動継続意欲の平均値

中：聴覚刺激なし中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

中+：聴覚刺激あり中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）

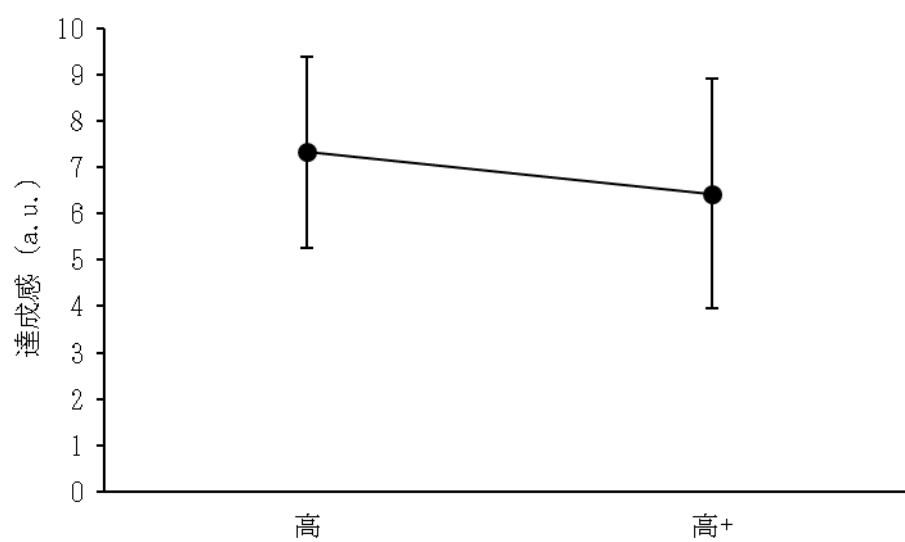


図 38 高レベルにおける聴覚刺激有無別の達成感の平均値

高：聴覚刺激なし高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激あり高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

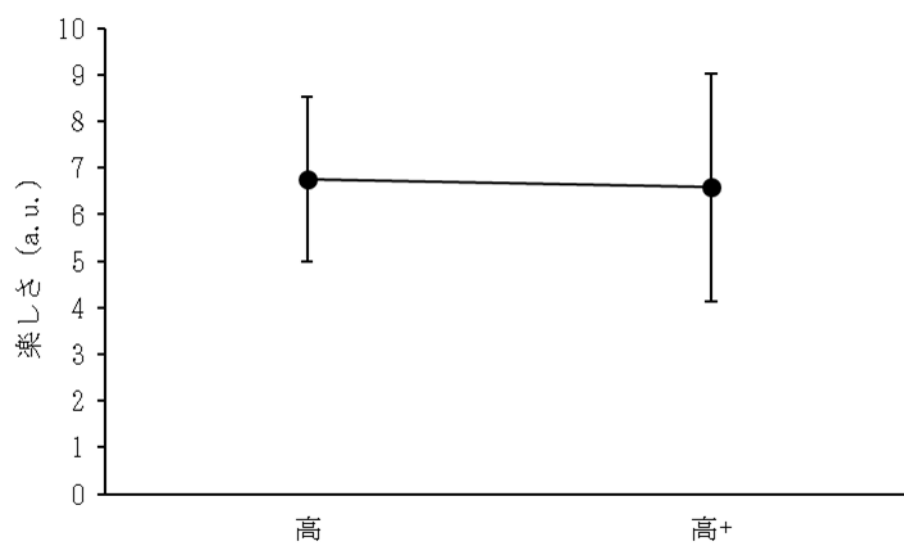


図 39 高レベルにおける聴覚刺激有無別の楽しさの平均値

高：聴覚刺激なし高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激あり高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

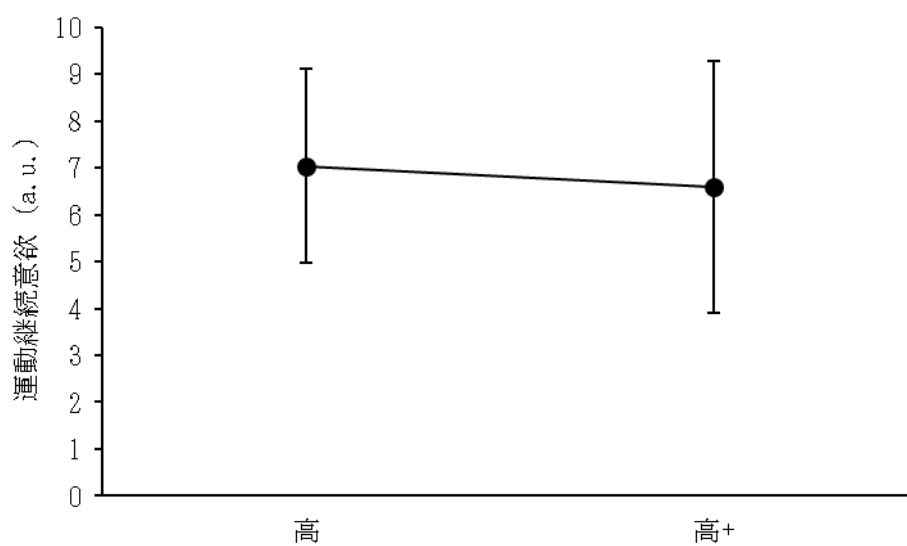


図 40 高レベルにおける聴覚刺激有無別の運動継続意欲の平均値

高：聴覚刺激なし高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

高+：聴覚刺激あり高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）

表 8 各難易度における聴覚刺激が主観的心理状態に与える主観的心理状態の変化量の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が主観的心理状態に与える主観的心理状態の変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が主観的心理状態に与える主観的心理状態の変化量

	中(+)-中	高(+)-高
達成感	0.2±2.3	-0.9±2.6
楽しさ	0.6±1.7	-0.2±2.3
評価	1.3±2.5	1.0±2.4
ストレス	1.3±2.9	1.8±2.7
運動継続意欲	0.6±1.9	-0.4±1.7



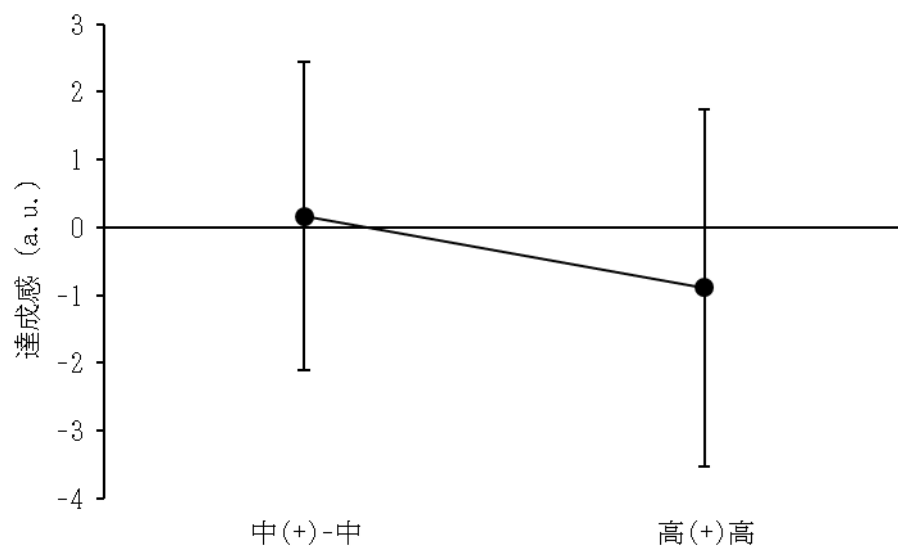


図 41 各難易度における聴覚刺激が達成感に与える達成感の変化量の比較の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が達成感に与える達成感の変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が達成感に与える達成感の変化量

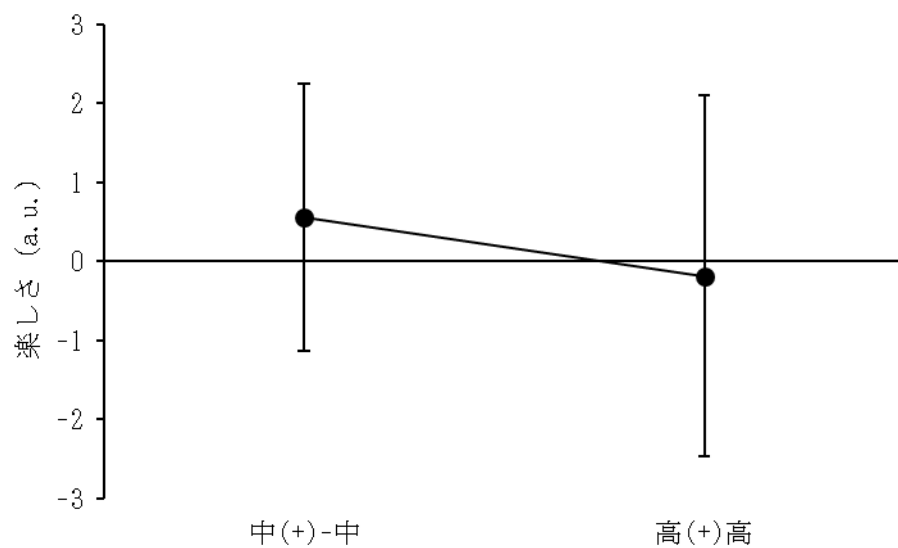


図 42 各難易度における聴覚刺激が楽しさに与える楽しさの変化量の比較の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が楽しさに与える楽しさの変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が楽しさに与える楽しさの変化量

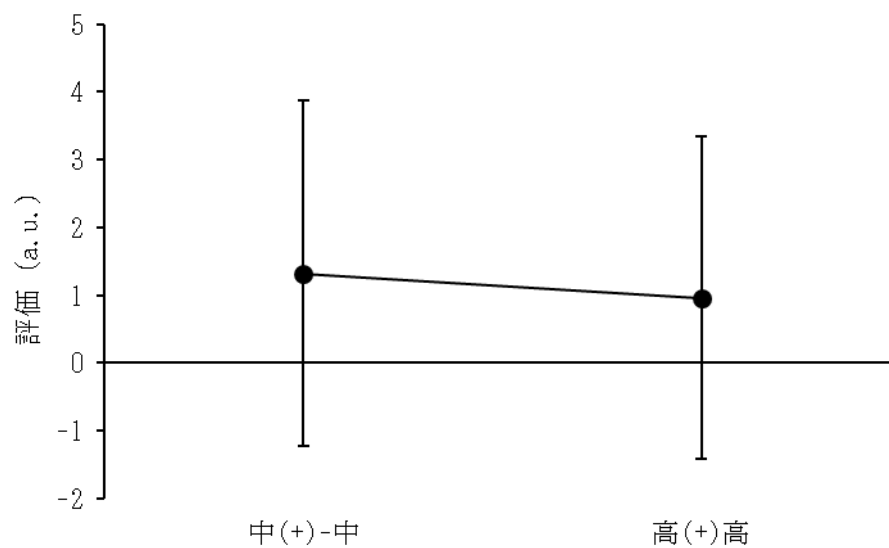


図 43 各難易度における聴覚刺激が評価されている感覚に与える評価されている感覚の変化量の比較の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が評価されている感覚に与える評価されている感覚の変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が評価されている感覚に与える評価されている感覚の変化量

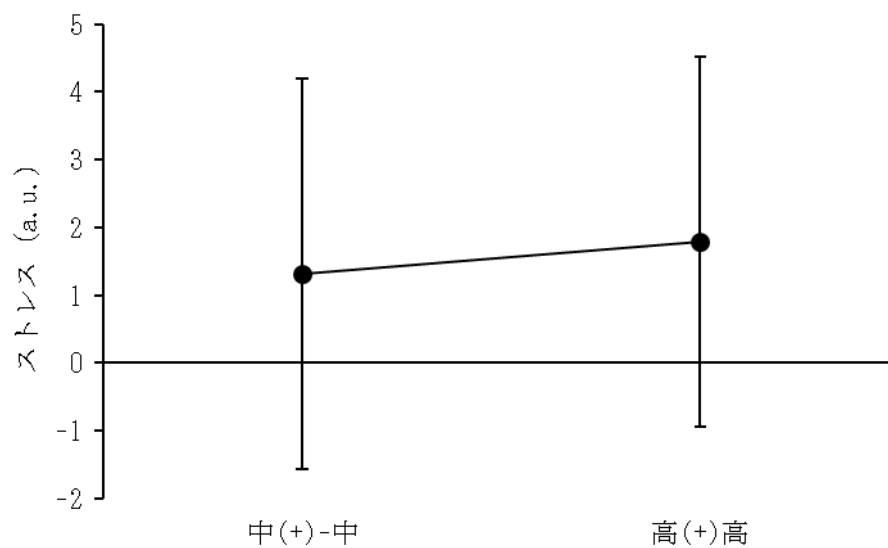


図 44 各難易度における聴覚刺激がストレスに与えるストレスの変化量の比較の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激がストレスに与えるストレスの変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激がストレスに与えるストレスの変化量

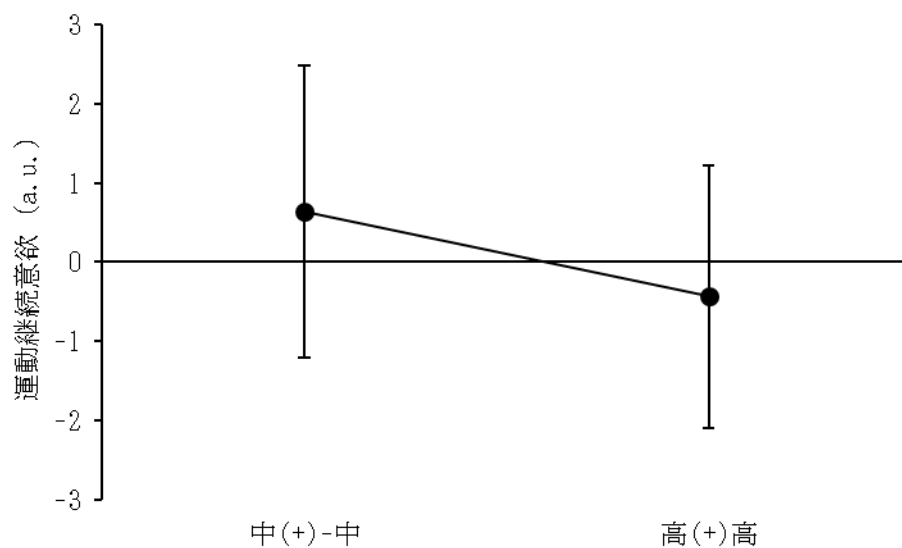


図 45 各難易度における聴覚刺激が運動継続意欲に与える運動継続意欲の変化量の比較の平均値

(中+)-中：中レベル（許容幅 5.0%、ID=1.59）における聴覚刺激が運動継続意欲に与える運動継続意欲の変化量

(高+)-高：高レベル（許容幅 2.5%、ID=2.32）における聴覚刺激が運動継続意欲に与える運動継続意欲の変化量

表 9 聴覚刺激有無による難易度上昇に伴う主観的心理状態の変化量の平均値

(高+)-(中+)：聴覚刺激のある環境での難易度上昇による主観的心理状態の変化量

高-中：聴覚刺激のない環境での難易度上昇による主観的心理状態の変化量

	高(+)-中(+)	高-中
達成感	-1.3±2.8	-0.2±1.8
楽しさ	-1.1±2.0	-0.4±2.0
評価	-0.1±1.8	0.2±1.7
ストレス	1.5±2.1	1.0±1.9
運動継続意欲	-1.0±2.4	0.0±1.3

+)-(中+) :  $-1.3 \pm 2.8$ 、高-中 :  $-0.2 \pm 1.8$ 、 $p=0.05$ 、図 46)、楽しさ ((高+)-(中+) :  $-1.1 \pm 2.0$ 、高-中 :  $-0.4 \pm 2.0$ 、 $p=0.07$ 、図 47)、評価 ((高+)-(中+) :  $-0.1 \pm 1.8$ 、高-中 :  $0.2 \pm 1.7$ 、 $p=0.52$ 、図 48)、ストレス ((高+)-(中+) :  $1.5 \pm 2.1$ 、高-中 :  $1.0 \pm 1.9$ 、 $p=0.224$ 、図 49)、運動継続意欲 ((高+)-(中+) :  $-1.0 \pm 2.4$ 、高-中 :  $0.0 \pm 1.3$ 、 $p=0.071$ 、図 50) のすべての項目において有意差はなかった。

## 考察

本研究では、課題難易度の変化および聴覚刺激による環境要因が、運動課題の成功率および主観的心理状態に及ぼす影響を検討した。主な結果は以下の2点である。1) 課題難易度上昇に伴う成功率の段階的な低下と、「達成感」や「楽しさ」といったポジティブな情動および運動継続意欲の向上、2) 聴覚刺激による成功率に及ぼす影響の欠如と、評価されている感覚およびストレスの増大である。

### 1) 課題難易度が成功率および主観的心理状態に及ぼす影響

課題難易度上昇（許容幅の縮小）に伴い、成功率は段階的かつ有意に低下した。本研究による各難易度は、Shannon 形式 (Scotto 2018) の難易度指数および Kunugi et al. (2024) の設定に加え、Masumoto & Inui (2013) による周期的運動課題の比率に基づき設定された。具体的には、運動振幅を  $2.5^\circ$  に固定したうえで、許容幅を縮小させることによって難易度を変化させたものである。Fitts (1954) のタッピング課題では、 $ID=3$  の条件下でも 99%以上の成功率が維持されていたのに対し、本研究では、それよりも低い成功率であった。このことから、本研究の課題は先行研究と比較して難易度が高いものであったと判断できる。したがって、本研究で設定した低レベル、中レベル、高レベルという区分は絶対的な基準で

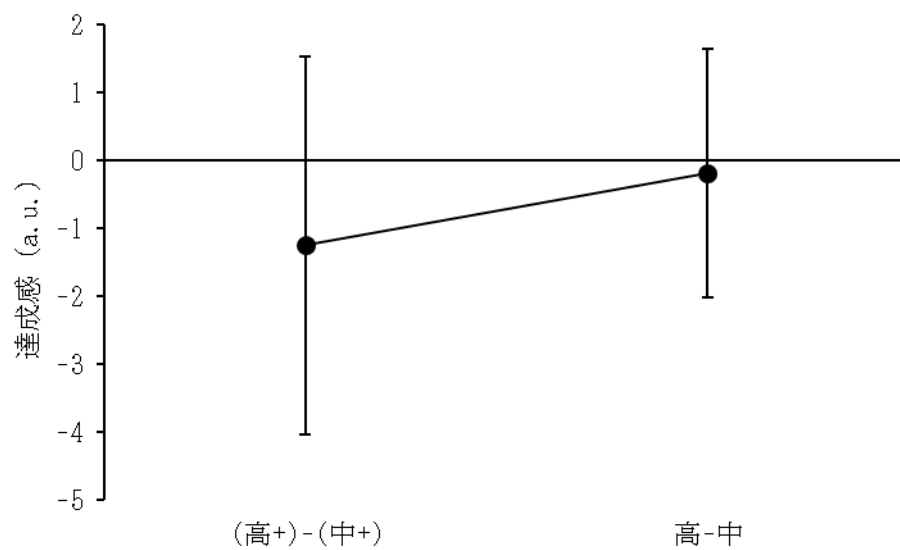


図 46 聴覚刺激有無による難易度上昇に伴う達成感の変化量の比較の平均値

(高+)-(中+) : 聴覚刺激のある環境での難易度上昇による達成感の変化量

高-中 : 聴覚刺激のない環境での難度上昇による達成感の変化量



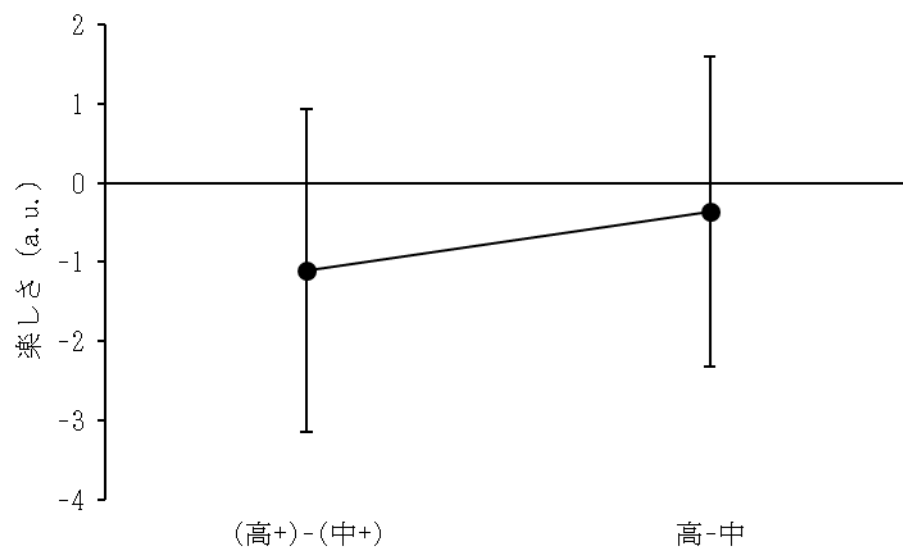


図 47 聴覚刺激の有無による難易度上昇に伴う楽しさの変化量の比較の平均値

(高+)-(中+)：聴覚刺激のある環境での難易度上昇による楽しさの変化量

高-中：聴覚刺激のない環境での難易度上昇による楽しさの変化量

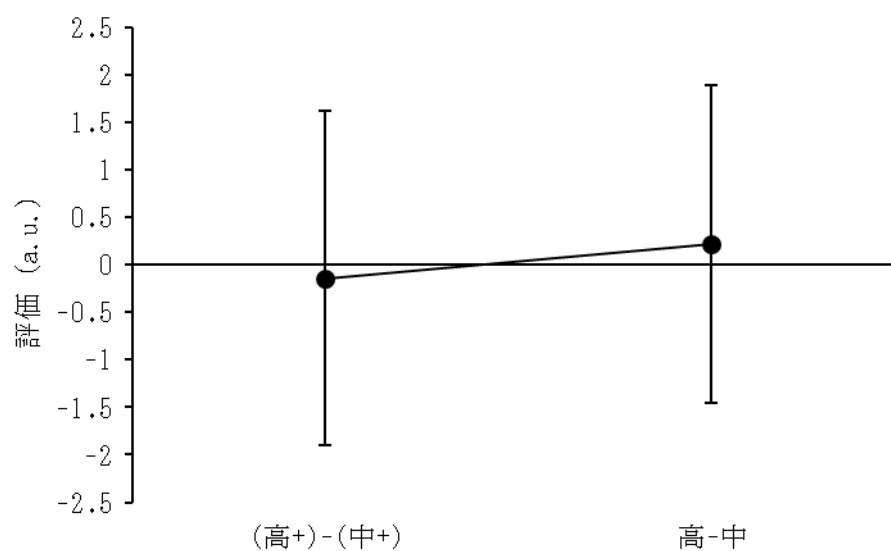


図 48 聴覚刺激の有無による難易度上昇に伴う評価されている感覚の変化量の比較の平均値

(高+)-(中+) : 聴覚刺激のある環境での難易度上昇による評価されている感覚の変化量

高-中 : 聴覚刺激のない環境での難易度上昇による評価されている感覚の変化量

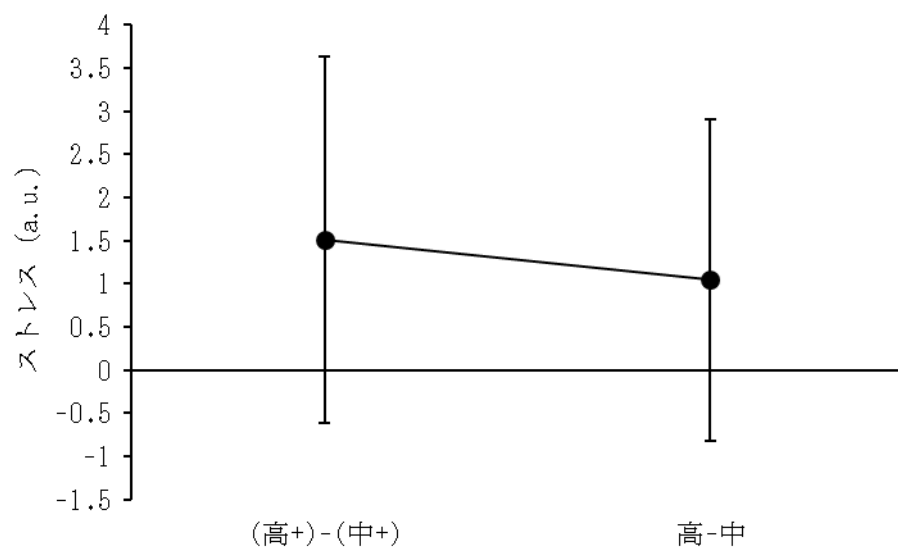


図 49 聴覚刺激の有無による難易度上昇に伴うストレスの変化量の比較の平均値

(高+)-(中+) : 聴覚刺激のある環境での難易度上昇によるストレスの変化量

高-中 : 聴覚刺激のない環境での難易度上昇によるストレスの変化量

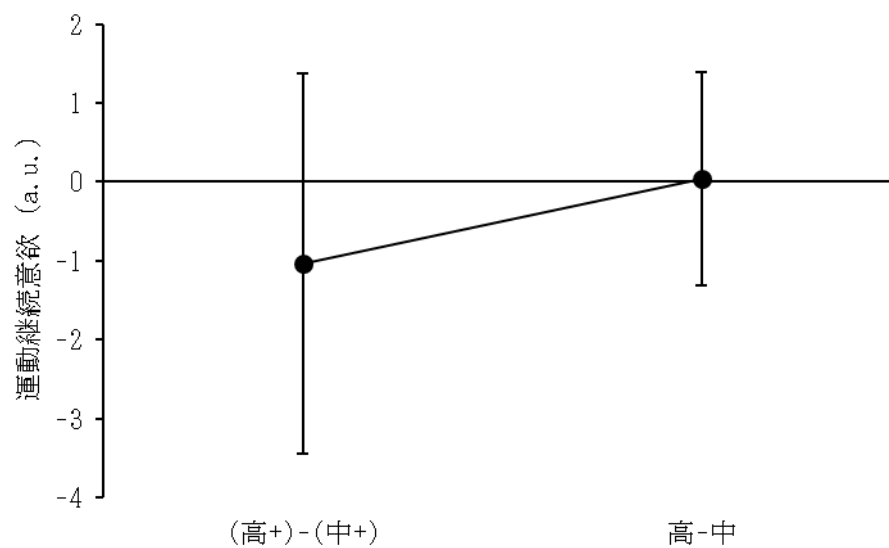


図 50 聴覚刺激有無による難易度上昇に伴う運動継続意欲の変化量の比較の平均値

(高+)-(中+)：聴覚刺激のある環境での難易度上昇による運動継続意欲の変化量

高-中：聴覚刺激のない環境での難度上昇による運動継続意欲の変化量

はなく、本研究の条件下における相対的な難易度指標として捉えるべきである。一方、主観的心理状態においては、成功率が低下したにもかかわらず、中レベルおよび高レベルにおいて、「達成感」や「楽しさ」といったポジティブな情動および運動継続意欲が低レベルよりも有意に高値を示した。難易度上昇がこれらを促進した要因として、Bandura (1977)が提唱するように、自らの能力に見合った適度な挑戦が、容易な課題をこなすよりも心理的な充足感をもたらした可能性が考えられる。また、容易な低レベルと比較して中レベルおよび高レベルにおいて「達成感」や「楽しさ」、「運動継続意欲」が有意に高値を示したことは、自身のスキルと課題難易度が共に高いときに生じるフロー状態の知見 (Baumann & Scheffer 2010) を支持するものである。学習指導要領で重視される「運動の楽しさ」は、単なる成功の容易さから生じるのではなく、適切な難易度の課題に挑戦し、それを達成しようとすることによって引き出されることが示唆された。

## 2) 聴覚刺激が成功率および主観的心理状態に及ぼす影響

聴覚刺激 (1000Hz、54.1～69.2dBA) の有無は、中レベルおよび高レベルのいずれにおいても成功率に有意な影響を及ぼさなかった。本研究で採用した聴覚刺激は、防犯警報音の要求基準 (公益社団法人 日本防犯設備協会) として用いられる周波数であり、騒音レベルは環境省 (2012) が定める昼間の環境基準を超えていた。すなわち、本実験環境は、研究対象者にとって「失敗の強調」として機能していたと考えられる。それにもかかわらず成功率が有意に低下しなかった要因として、本研究の対象者は、1回目訪問 (練習試行) の Base 角度調節課題 (低レベル) を2回という短時間で95%以上の成功率で達成しており、運動課題に対する基礎的な技能が身に付いていた点が挙げられる。そのため、聴覚刺激という多少の

心理的負荷があっても、運動課題遂行を阻害するまでには至らなかったと考えられる。加えて、van Vugt & Tillmann (2015)が示すように、聴覚刺激が運動阻害としてではなく、運動補助としての役割を果たしていた可能性がある。しかし、有意差は認められなかったものの、難易度上昇に伴う成功率の変化に着目すると、単なる難易度上昇と比較して、聴覚刺激のある条件での難易度上昇の方が、成功率がより低下する傾向がみられた。これは、聴覚刺激が成功率に対して潜在的な心理的負荷となり、課題難易度がさらに高まった場合や技能が未習熟の場合には、成功率の低下を招くリスクを示唆している。一方、心理面においては、聴覚刺激により「評価されている感覚」と「ストレス」が中レベルおよび高レベルにおいて一律かつ有意に増大した。しかし、単なる難易度上昇による「評価されている感覚」および「ストレス」の変化量と、聴覚刺激のある条件での難易度上昇による「評価されている感覚」および「ストレス」の変化量との間に有意差が認められなかった。このことは、たとえ難易度が容易であっても、「評価されている感覚」を喚起させる環境下にある限り、常に一定の心理的負荷がかかり続けていると解釈できる。これらの結果は、「見られている」感覚が心理的ストレスになる (Åsebø et al. 2022) とした知見と合致しており、失敗を聴覚刺激によって強調する設定が、Metz et al. (2024)が指摘する「不快な体育経験」を助長する要因となることを裏付けている。

本研究では、運動課題の難易度変化と聴覚刺激による環境要因が、成功率および主観的心理状態に及ぼす影響を検討した。その結果、難易度上昇は成功率を低下させる一方で、適度な挑戦は容易な課題と比較して「達成感」や「楽しさ」といったポジティブな情動や運動継続意欲を有意に高めることが明らかとなった。また、失敗を強調するような聴覚刺激は、成功率を阻害しないものの、「評価されている感覚」や「ストレス」を一律に増大させる要因となることが示された。本研究が得た知見は学校体育やスポーツ

指導の現場に対して重要な示唆を与えている。第一に、子どもの運動習慣の二極化や体育嫌いを解消するには、単に「できた・できていない」に焦点を当てるべきではないということである。第二に、失敗が強調される環境は心理的負荷が高まることに考慮し、他者と比較されない心理的安全性の高い環境を設定する必要があるということである。

本研究にはいくつかの限界が存在する。第一に、対象者の年齢特性である。本研究では、大学生を対象としたが、Casey et al. (2008)によれば、高次認知機能を担う前頭前野は成人期に至るまで発達的变化が続くとされている。したがって、脳の構造や機能が発達段階にある児童生徒に対して、本研究の知見がそのまま適用できるかは不明である。第二に、トレーニングの原理の一つに「特異性の原理」があるように、身体活動による効果は実施した課題の特性等に依存して現れるとされる。実際に Giboin et al. (2015)は、バランストレーニングによるパフォーマンス向上はトレーニングした特定の課題に限定され、類似課題への転移は限定的であると報告している。本研究のアクセルペダルを用いた角度調節課題による効果が、他の運動種目や実際のスポーツ場面に対してどの程度波及するかについては慎重な解釈が必要である。

## 結論

本研究では、課題難易度の変化と聴覚刺激による環境要因が運動課題の成功率および主観的心理状態に及ぼす影響を検討した。その結果、難易度上昇（許容幅の縮小）は成功率を有意に低下させた一方で、適度な難易度においては、「達成感」や「楽しさ」といったポジティブな情動および運動継続意欲が有意に高値を示した。また、聴覚刺激の有無は成功率に有意な影響を及ぼさなかったものの、「評価されてい

る感覚」や「ストレス」を有意に増大させた。

## 謝辞

本卒業論文を執筆するにあたり、指導教員の渡邊航平教授には丁寧なご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。また、実験への参加を通じて本研究にご協力いただきました学生の皆様にも感謝申し上げます。最後に、在学中、精神的・経済的に支え続け、学問に専念する機会を与えてくれた家族に深く感謝いたします。

## 参考文献

- Åsebø, E. K. S., Løvoll, H. S., & Krumsvik, R. J. Students' Perceptions of Visibility in Physical Education. *European Physical Education Review*, 28(1), 151-168, 2022
- Bandura, A. Self-efficacy: Toward a Unifying Theory of Behavioral Change. *Psychological Review*, 84(2), 191, 1977
- Baumann, N., & Scheffer, D. Seeing and Mastering Difficulty: The Role of Affective Change in Achievement Flow. *Cognition and Emotion*, 24(8), 1304-1328, 2010
- Casey, B. J., Getz, S., & Galvan, A. The Adolescent Brain. *Developmental Review*, 28(1), 62-77, 2008
- Fitts, P. M. The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381-391, 1954



Fitts, P. M., & Peterson, J. R. Information Capacity of Discrete Motor Responses. *Journal of Experimental Psychology*, 67(2), 103–112, 1964

Fitts, P. M., & Radford, B. K. Information Capacity of Discrete Motor Responses Under Different Cognitive Sets. *Journal of Experimental Psychology*, 71(4), 475–482, 1966

Giboin, L. S., Gruber, M., & Kramer, A. Task-specificity of Balance Training. *Human Movement Science*, 44, 22–31, 2015

Harris, D. J., Arthur, T., Vine, S. J., Rahman, H. R. A., Liu, J., Han, F., & Wilson, M. R. The Effect of Performance Pressure and Error-Feedback on Anxiety and Performance in an Interceptive Task. *Frontiers in Psychology*, 14, 1182269, 2023

Kunugi, S., Holobar, A., Nakagoshi, A., Kawabe, K., & Watanabe, K. Effects of Repetition of a Car-Driving Pedal Maneuver and Neural Output in Older Adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 76, 102883, 2024

MacKenzie, I. S. Fitts' Law. *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction*, 1, 347–370, 2018

Martens, R., & Landers, D. M. Motor Performance Under Stress: A Test of the Inverted-U Hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 16(1), 29, 1970

Masumoto, J., & Inui, N. Two Heads Are Better Than One: Both Complementary and Synchronous Strategies Facilitate Joint Action. *Journal of Neurophysiology*, 109(5), 1307–1314, 2013

Metz, S., Zander, B., & Hunger, I. The Suffering of Students in Physical Education. *Unsettling*

Experiences and Situational Conditions. Physical Education and Sport Pedagogy, 1-13, 2024

van Vugt, F. T., & Tillmann, B. Auditory Feedback in Error-Based Learning of Motor Regularity. Brain Research, 1606, 54-67, 2015

Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-Formation., 1908

環境省、参考 1 騒音に係る環境基準について

[https://www.env.go.jp/air/car/noise/noise\\_h12/noise\\_h12-1.html](https://www.env.go.jp/air/car/noise/noise_h12/noise_h12-1.html)、2012

公益財団法人 日本防犯設備協会、防犯警報音の要求基準（SES E 0005 防犯警報音規格）

[https://www.ssaj.or.jp/bouhan\\_kiki/bouhan\\_sound.html](https://www.ssaj.or.jp/bouhan_kiki/bouhan_sound.html)

厚生労働省、健康づくりのための身体活動・運動ガイド子ども版

<https://www.mhlw.go.jp/content/001195867.pdf>、2023

スポーツ庁、令和 4 年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査 報告書

[https://www.mext.go.jp/sports/content/20221215-spt\\_sseisaku02-000026462\\_4.pdf](https://www.mext.go.jp/sports/content/20221215-spt_sseisaku02-000026462_4.pdf)、2022

スポーツ庁、令和 6 年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査 報告書

[https://www.mext.go.jp/sports/content/20241217-spt\\_sseisaku02-000039139\\_05.pdf](https://www.mext.go.jp/sports/content/20241217-spt_sseisaku02-000039139_05.pdf)、2024

文部科学省、【体育編】小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説

[https://www.mext.go.jp/content/20240918-mxt\\_kyoiku01-100002607.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20240918-mxt_kyoiku01-100002607.pdf)、2018

文部科学省、【保健体育編】中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説

[https://www.mext.go.jp/content/20250213-mxt\\_kyoiku01-100002608\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20250213-mxt_kyoiku01-100002608_2.pdf)、2018

セット間の神経筋電気刺激が  
レジスタンストレーニング時の代謝応答に及ぼす影響

J622061

田部井優斗

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景： 現代社会において運動不足は深刻な健康リスクとして認知されているが、その実施を阻む最大の要因として「時間のなさ」が挙げられる。したがって、限られた時間内でトレーニング効果を最大化、あるいは維持する手法を確立することは運動・トレーニング実施率向上の一助となりうる。近年、随意的な筋収縮とは異なる機序で筋線維を動員できる神経筋電気刺激の活用が注目されているが、これをレジスタンストレーニングに併用した際の効果、特に生理的・心理的影響については十分に解明されていない。本研究の目的は、レジスタンストレーニングのセット間における神経筋電気刺激の実施が代謝性ストレス、筋疲労、および自覚的運動強度に及ぼす影響を明らかにすることであった。方法： 健常若年男性 6 名を対象に片脚等尺性膝関節伸展運動（等尺性最大随意筋力の 85%強度で 6 回 3 セット）のレジスタンストレーニングを実施した。実験条件は、セット間休息を 6 分間とる条件、6 分間の休息中に大腿部へ神経筋電気刺激を実施する条件、休息時間を 2 分間に短縮する条件の 3 条件を設けた。代謝性ストレスの指標である血中乳酸濃度、筋疲労の指標となる等尺性膝関節伸展最大随意筋力、および主観的なきつさを示す自覚的運動強度を各条件において測定した。結果： 3 つの条件間において、血中乳酸濃度の変化、最大随意筋力の変化、および自覚的運動強度の変化に有意な差は見られなかった ( $P > 0.05$ )。一方で条件内における血中乳酸濃度の変化量、最大随意筋力の変化量、および自覚的運動強度の変化量には有意な差がみられた。 ( $P < 0.05$ )。結論： レジスタンストレーニングのセット間休息における神経筋電気刺激が血中乳酸濃度に影響を及ぼすか明らかにすることはできなかった。しかし最大随意筋力、自覚的運動強度はレジスタンストレーニングのセット間休息時の神経筋電気刺激に影響されない可能性が示唆された。

## 背景

身体活動・運動の多い者は、少ない者と比較して循環器病、2 型糖尿病、がん、ロコモティブシンドローム、うつ病、認知症の発症・罹患リスクが低いことが報告されている（厚生労働省. 健康づくりのための身体活動基準 2013. 2013）。WHO は全世界における死亡に対する危険因子として、高血圧、喫煙、高血糖に次いで、身体活動・運動の不足を第 4 位に位置づけている。我が国では、身体活動・運動不足は、喫煙、高血圧に次いで、非感染性疾患による死亡に対する 3 番目の危険因子であることが示されている。

「健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023」は、健康や体力の維持・向上を目的とした運動やトレーニングの重要性が増している現状を表しているが、週 2 回以上の運動習慣がある成人の割合は 28.7%（男性：33.4%、女性：25.1%）である（健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023. 2023）。スポーツ庁が実施した令和 6 年度「スポーツ実施状況等に関する世論調査」では、運動・スポーツの促進要因として第 1 位に「仕事が忙しくなくなったから」、阻害要因として第 1 位に「仕事が忙しいから」が挙げられている（令和 6 年度スポーツの実施状況等に関する世論調査. 2025）。この結果から、運動・スポーツの実施には時間的な制約が大きく関係していると考えられる。したがって、運動・トレーニングに時間的な制約があった場合においても運動・トレーニングから得られる効果を維持、増大させることが可能か検討することは限られた時間の中で効果的なトレーニング計画を立案する一助になりうる。

American College of Sports Medicine (2009) はレジスタンストレーニング (RT) をあらゆる年齢、フィットネスレベルの人に推奨している。レジスタンストレーニングの効果として筋肉量、筋力、身体機能の向上が報告されている (Jonathan et al. 2023)。レジスタンストレーニングの効果を高めるには、機械的ストレス、代謝性ストレスを高めることが必要である (Ozaki et al. 2016)。レジスタンストレー

ニングなどの随意筋収縮は、サイズの原理に従い小さい運動単位から大きい運動単位の順序で動員される (Carlo and Paola 2011)。一方で、神経筋電気刺激 (NMES) は刺激範囲内において不随意筋収縮を誘発することが報告されている (Gregory and Bickel. 2005)。これは運動単位が非順序的に動員されることによるサイズの原理に従わない運動単位の動員様式で、大きい運動単位をより多く動員することができる (Yuxiao et al. 2021)。

先行研究では、神経筋電気刺激 (NMES) が代謝性ストレスの指標である血中乳酸濃度を高めることが報告されている (Watanabe et al. 2019、Takeda et al. 2024)。また最大随意筋力 (MVC) に影響を及ぼさないことが報告されている (Watanabe et al. 2019)。さらに自覚的運動強度 (RPE) に影響を及ぼさないことが報告されている (Watanabe et al. 2023)。しかし、これらは動的運動時に神経筋電気刺激 (NMES) を行った研究であり、神経筋電気刺激 (NMES) がレジスタンストレーニングに及ぼす影響については不明瞭である。

以上のことから、本研究では神経筋電気刺激 (NMES) がレジスタンストレーニングに及ぼす影響を調べた。1) レジスタンストレーニングの休息时间における神経筋電気刺激 (NMES) が代謝性ストレス (血中乳酸濃度) を高める。2) レジスタンストレーニングの休息时间における神経筋電気刺激 (NMES) は最大随意筋力 (MVC) に影響を及ぼさない。3) レジスタンストレーニングの休息时间における神経筋電気刺激 (NMES) は自覚的運動強度 (RPE) に影響を及ぼさない。の、3つを仮説とした。

## 方法

### 研究対象者

本研究には、習慣的に高強度のトレーニングを行っていない6名の健康な若年男性（年齢： $21.5 \pm 0.5$  歳、身長： $172.9 \pm 4.6$  cm、体重： $63 \pm 8.7$  kg）が参加した。研究の目的や実験参加に伴うリスクについて事前に研究対象者に説明を受けた後、実験を実施した。研究対象者は実験の24時間前から高強度の身体活動、アルコールの摂取、カフェインを含む飲料、食料品の摂取を控えることが求められた。

### 実験概要

本研究では、48時間以上の間隔を空け、4回の測定を異なる日に行った。実験は、中京大学18号館1階スポーツ工学実験室で実施した。初回は実験の測定および等尺性膝関節伸展最大随意筋力(MVC)測定、神経筋電気刺激(NMES)強度設定のために訪れてもらった。2回目から4回目は、セット間の休息時間6分条件(Rest6min)、セット間の休息時間6分+神経筋電気刺激条件(Rest6min+NMES)、セット間の休息時間2分条件(Rest2min)の3条件をランダムな順番で実施した。

### 実験プロトコル

研究対象者は、椅子に着座し、15分安静にしてからレジスタンストレーニング前に血中乳酸濃度を測定した後、以下のレジスタンストレーニングを実施した。股関節と膝関節が $90^\circ$ となる姿勢で座り、足部をアタッチメントに装着し、片脚等尺性膝関節伸展運動を最大随意筋力(MVC)の85%強度で5秒間筋発揮し、3秒間休憩を1回として6回実施した。これらを1セットとし、3セット行った。セット間の休息を6分(Rest6min)、6分+神経筋電気刺激(Rest6min+NMES)、2分(Rest2min)の条件に分け実施した。血中乳酸濃度をレジスタンストレーニング前(pre)、レジスタンストレーニング5分後(post1)、10分後

(post2) の 3 回測定した。

#### 等尺性膝関節伸展最大随意筋力

研究対象者は、股関節と膝関節が 90° となる姿勢で座り、足部をアタッチメントに装着された (図 1)。

研究対象者は、標準化されたウォームアッププロトコル (30%、50%、70% の最大下等尺性収縮) を実施

した後、等尺性膝関節伸展最大随意筋力 (MVC) 測定を 2 回行った。各筋力発揮には十分な回復時間 (120

秒) が設けられた。レジスタンストレーニング時の測定は、レジスタンストレーニング前 (pre) とレジ

スタンストレーニング直後 (post) に行った。測定には STRAIN AMP (竹井機器工業株式会社、新潟、日本)、

デジタル変換機 (Power Lab 16/35、AD Instrument、Bella Vista、New South Wales、Australia) を用

いて、1000Hz で記録され、データ解析ソフトウェア (Lab Chart8.0 ソフトウェア、AD Instrument、Bella

Vista、New South Wales、Australia) によって、10Hz で低域通過処理を行った (図 2、図 3、図 4)。

#### 血中乳酸濃度

左手人差し指をアルコール綿で消毒し乾かした後、ナチュラレット plus (アークレイ株式会社、京都、

日本) を用い、左手人差し指から血液 0.5mm1 を採取し、ラクテート・プロ 2 センサー (アークレイ株式

会社、京都、日本) で血中乳酸濃度を測定した (図 5、図 6)。測定は、レジスタンストレーニング前 (pre)、

レジスタンストレーニング 5 分後 (post1)、10 分後 (post2) の計 3 回実施した。

#### 自覚的運動強度

Borg scale 6-20 を用い、自覚的運動強度 (RPE) を測定した。測定は、レジスタンストレーニング前

(pre)、1 セット目終了直後 (mid1)、2 セット目終了直後 (mid2)、3 セット目終了直後 (post) の計 4

回実施した。





図1 等尺性膝関節伸展最大随意筋力測定時の姿勢

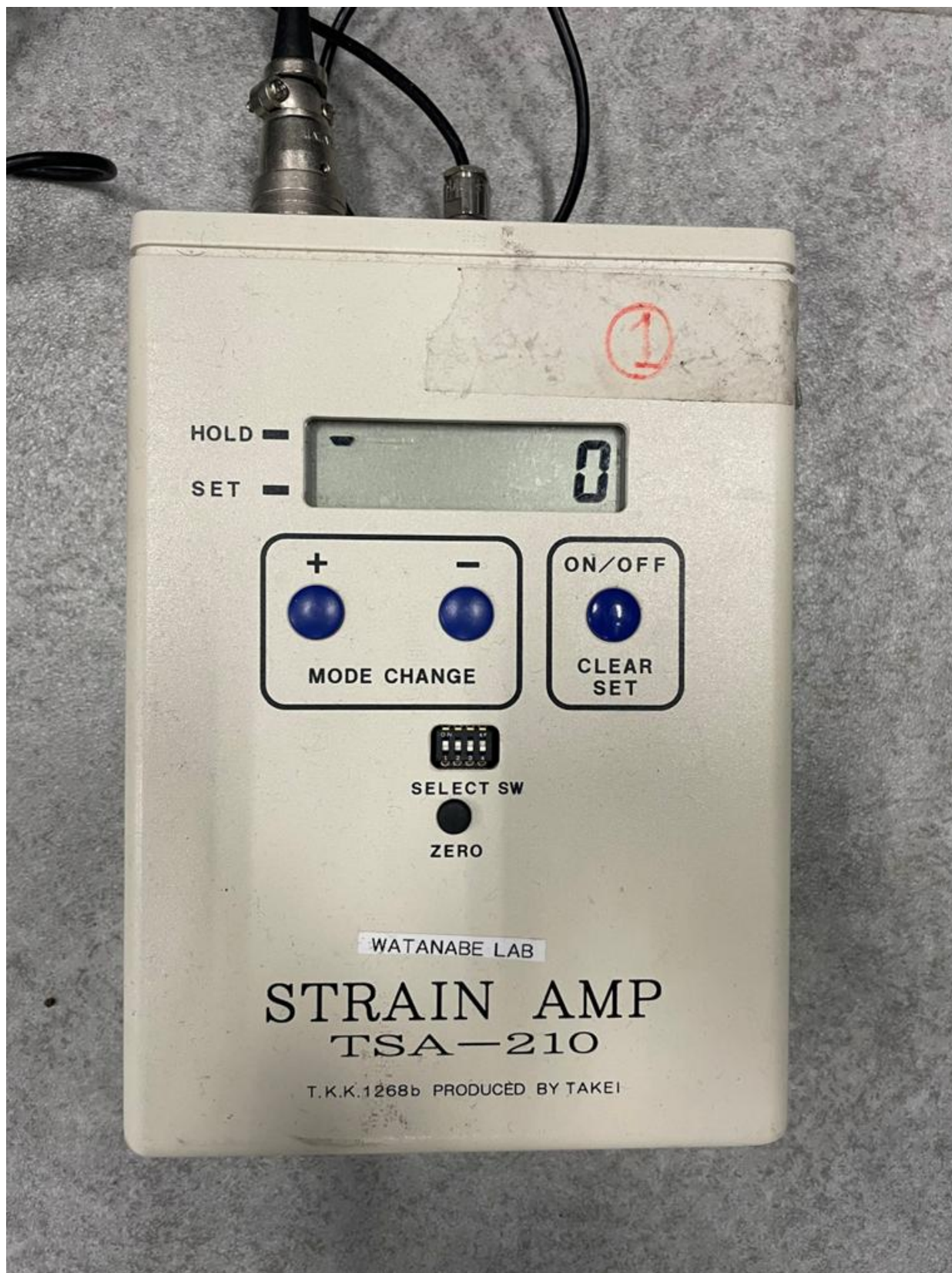


図 2 STRAIN AMP (竹井機器工業株式会社、新潟、日本)



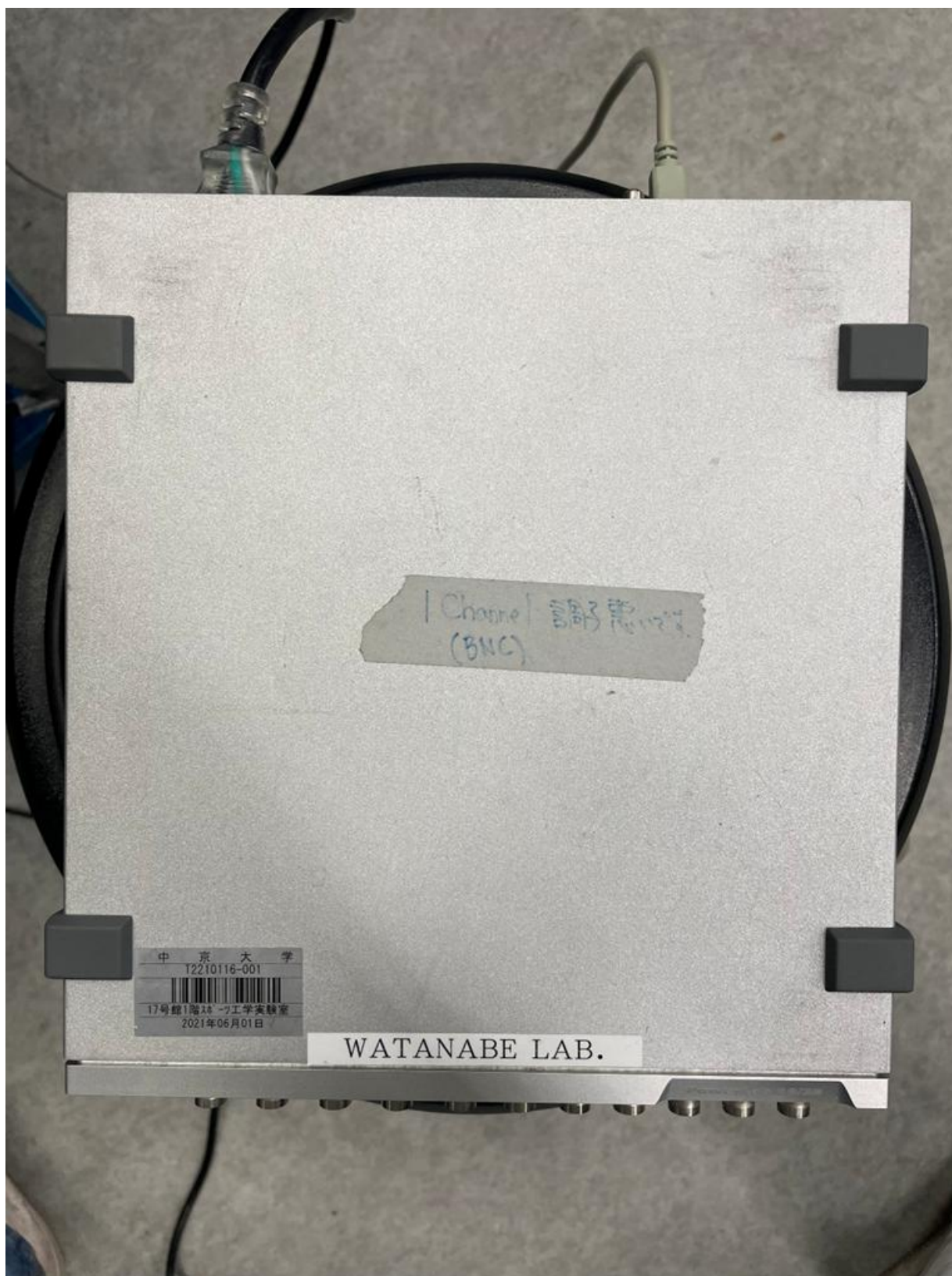


図 3 Power Lab 16/35 (AD Instrument、Bella Vista、New South Wales、Australia)



図 4 Lab Chart8.0 ソフトウェア (AD Instrument、Bella Vista、New South Wales、Australia)





図5 ナチュラレット plus (アークレイ株式会社、京都、日本)



図6 ラクテート・プロ2 センサー（アークレイ株式会社、京都、日本）

## 神経筋電気刺激

Leg Belt 2（株式会社 MTG、名古屋、日本）を用い、6min+NMES 条件のセット間休息時間において大腿四頭筋、ハムストリング、内転筋に神経筋電気刺激（NMES）を実施した（図 7）。神経筋電気刺激（NMES）の強度は、初回に実験室に訪れてもらった際に研究対象者が不快感やストレスのない最大強度に設定された。

## 統計処理

統計解析には統計ソフトウェア（SPSS）を用いた。血中乳酸濃度、等尺性膝関節伸展最大随意筋力（MVC）、自覚的運動強度（RPE）の条件間の比較には、ノンパラメトリック検定の Mann-Whitney-U 検定を用いた。血中乳酸濃度、等尺性膝関節伸展最大随意筋力（MVC）、自覚的運動強度（RPE）の条件内の比較には、ノンパラメトリック検定の Friedman 検定を用いた。統計学的有意水準は 5%未満（ $p < 0.05$ ）とした。データの記述には平均値±標準偏差を用いた。



図 7 Leg Belt 2 (株式会社 MTG、名古屋、日本)



## 結果

Rest6min 条件において MVC の pre ( $59.5 \pm 9.5\text{kg}$ ) と post ( $52.8 \pm 6.2\text{kg}$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 8)。血中乳酸濃度の pre ( $1.6 \pm 0.26\text{mmol/L}$ ) と post1 ( $3.6 \pm 0.6 \text{ mmol/L}$ ) に有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、pre ( $1.6 \pm 0.26\text{mmol/L}$ ) と post2 ( $3.3 \pm 1.12\text{mmol/L}$ ) にも有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 9)。post1 ( $3.6 \pm 0.6 \text{ mmol/L}$ ) と post2 ( $3.3 \pm 1.12\text{mmol/L}$ ) には有意差がみられなかった ( $p > 0.05$ )。RPE の pre ( $8.2 \pm 2.2$ ) と mid2 ( $14.8 \pm 1.2$ )、pre ( $8.2 \pm 2.2$ ) と post ( $16.2 \pm 1.6$ )、mid1 ( $12.5 \pm 0.8$ ) と post ( $16.2 \pm 1.6$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 10)。pre ( $8.2 \pm 2.2$ ) と mid1 ( $12.5 \pm 0.8$ )、mid1 ( $12.5 \pm 0.8$ ) と mid2 ( $14.8 \pm 1.2$ )、mid2 ( $14.8 \pm 1.2$ ) と post ( $16.2 \pm 1.6$ ) には有意な差がみられなかった ( $p > 0.05$ )。

Rest6min+NMES 条件において MVC の pre ( $59.2 \pm 9.8\text{kg}$ ) と post ( $47.7 \pm 5.1\text{kg}$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 11)。血中乳酸濃度の pre ( $1.6 \pm 0.25\text{mmol/L}$ ) と post1 ( $4.7 \pm 1.5 \text{ mmol/L}$ )、pre ( $1.6 \pm 0.25\text{mmol/L}$ ) と post2 ( $4.3 \pm 1.3\text{mmol/L}$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 12)。post1 ( $4.7 \pm 1.5 \text{ mmol/L}$ ) post2 ( $4.3 \pm 1.3\text{mmol/L}$ ) には有意な差がみられなかった ( $p > 0.05$ )。RPE の pre ( $8.2 \pm 2.0$ ) と mid2 ( $15.5 \pm 1.4$ )、pre ( $8.2 \pm 2.0$ ) と post ( $17.2 \pm 1.6$ )、mid1 ( $13.1 \pm 1.3$ ) と post ( $17.2 \pm 1.6$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 13)。pre ( $8.2 \pm 2.0$ ) と mid1 ( $13.1 \pm 1.3$ )、mid1 ( $13.1 \pm 1.3$ ) と mid2 ( $15.5 \pm 1.4$ )、mid2 ( $15.5 \pm 1.4$ ) と post ( $17.2 \pm 1.6$ ) には有意な差がみられなかった ( $p > 0.05$ )。

Rest2min 条件において MVC の pre ( $60 \pm 9.0\text{kg}$ ) と post ( $53 \pm 7.8\text{kg}$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 14)。血中乳酸濃度の pre ( $1.6 \pm 0.34\text{mmol/L}$ ) と post1 ( $4.1 \pm 1.24 \text{ mmol/L}$ )、pre ( $1.6 \pm 0.34\text{mmol/L}$ )

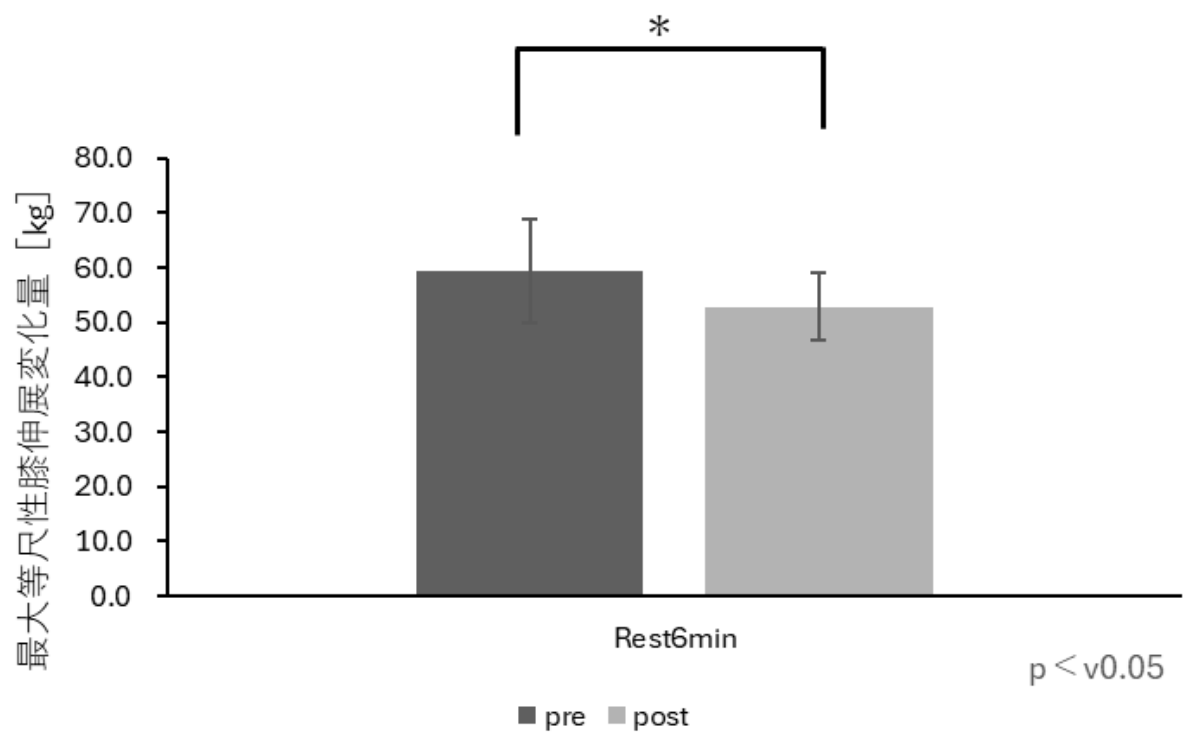


図8 Rest6min 条件において最大等尺性膝伸展（MVC）の pre と post の比較

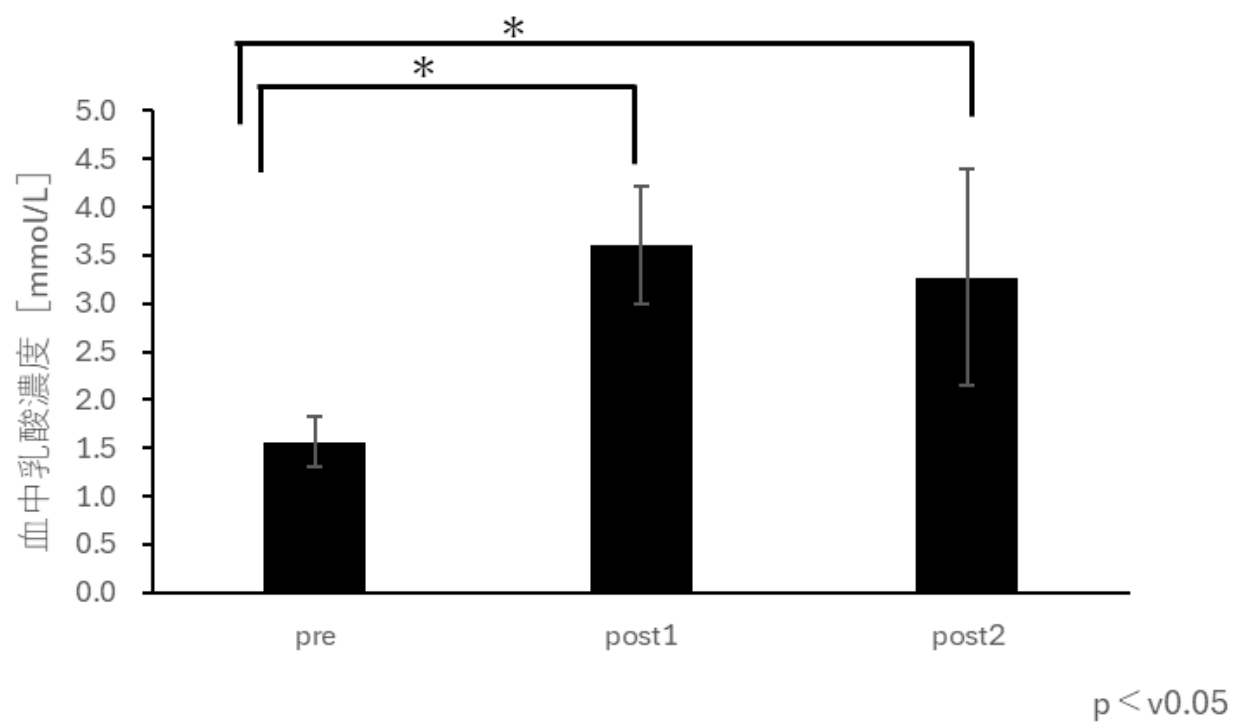


図9 Rest6min 条件において血中乳酸濃度の pre、post1、post2 の比較

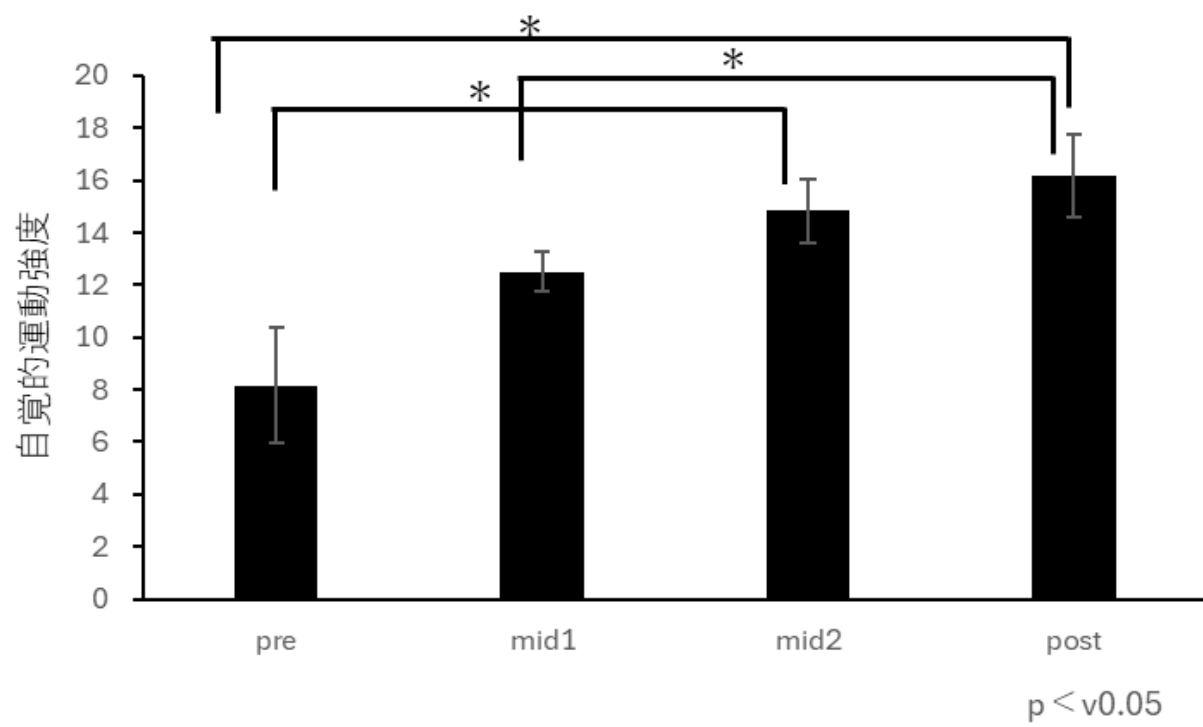


図 10 Rest6min 条件において自覚的運動強度の pre、mid1、mid2、post の比較

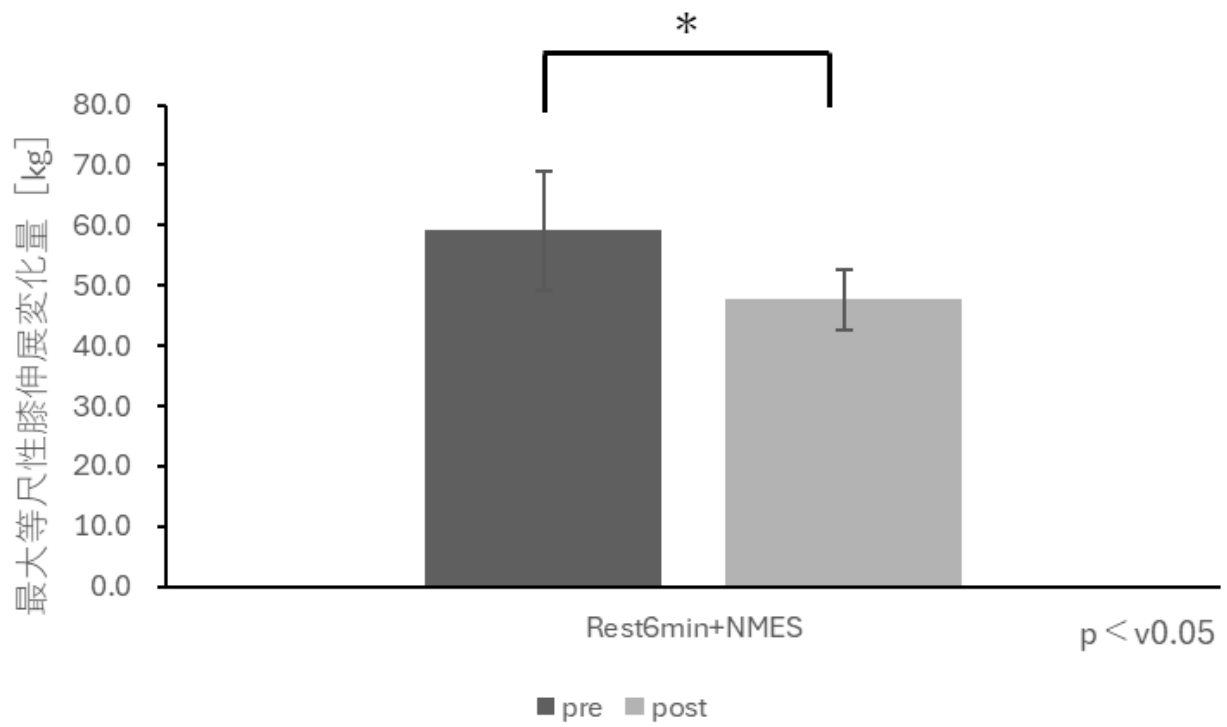


図 11 Rest6min+NMES 条件において最大等尺性膝伸展（MVC）の pre と post の比較

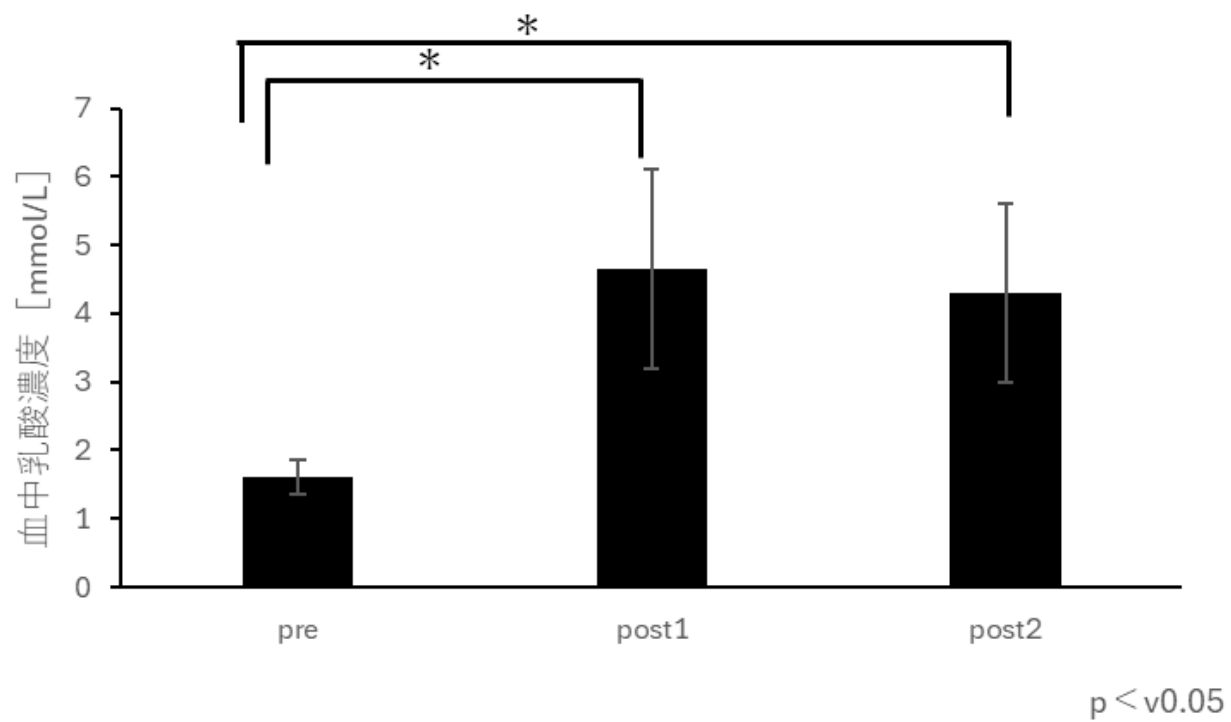


図 12 Rest6min+NMES 条件において血中乳酸濃度の pre、post1、post2 の比較

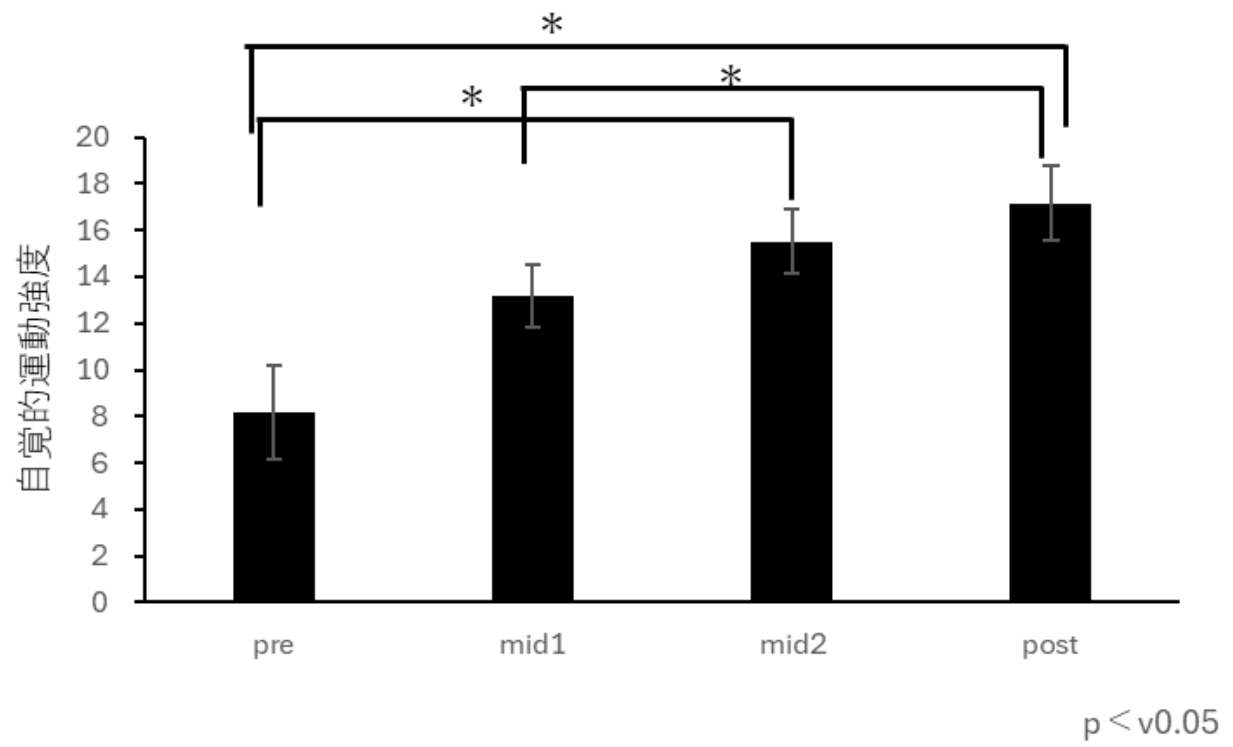


図 13 Rest6min+NMES 条件において自覚的運動強度の pre、mid1、mid2、post の比較

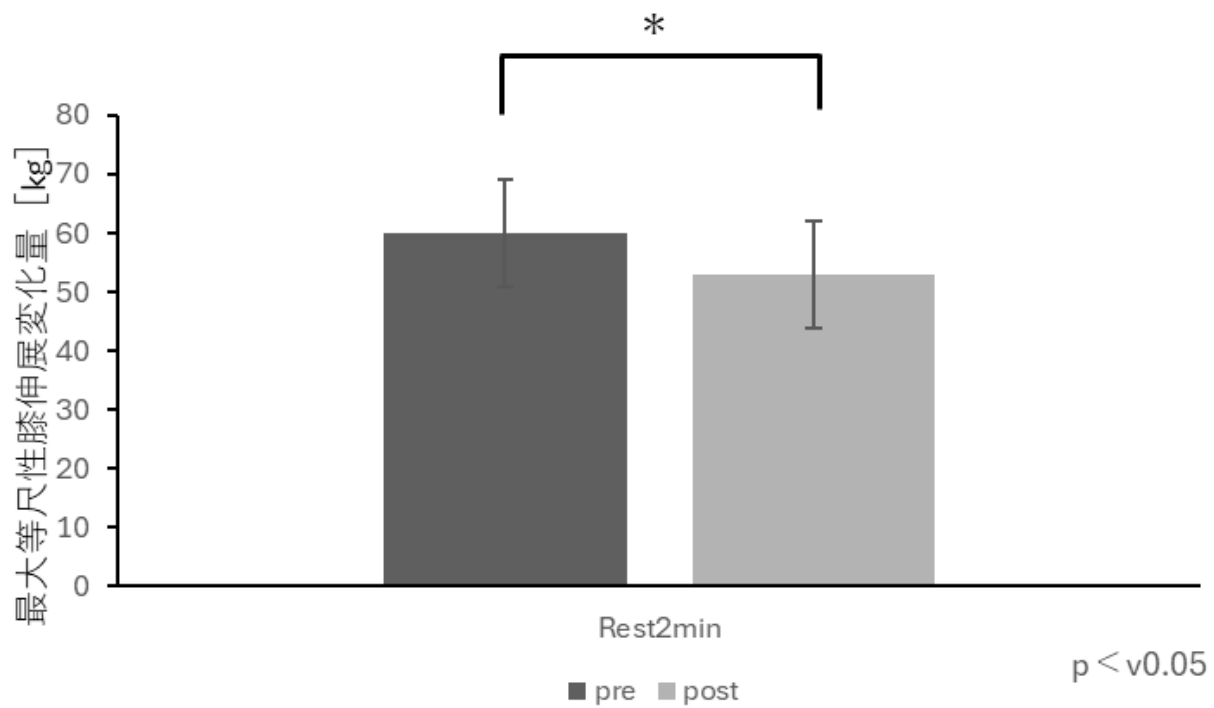


図 14 Rest2min 条件において最大等尺性膝伸展（MVC）の pre と post の比較



と post2 ( $3.9 \pm 1.34 \text{ mmol/L}$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 15)。post1 ( $4.1 \pm 1.24 \text{ mmol/L}$ ) と post2 ( $3.9 \pm 1.34 \text{ mmol/L}$ ) には有意な差がみられなかった ( $p > 0.05$ )。RPE の pre ( $7.7 \pm 1.9$ ) と mid2 ( $15.2 \pm 0.7$ )、pre ( $7.7 \pm 1.9$ ) と post ( $16.5 \pm 1.1$ )、mid1 ( $12.5 \pm 1.0$ ) と post ( $16.5 \pm 1.1$ ) に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ ) (図 16)。pre ( $7.7 \pm 1.9$ ) と mid1 ( $12.5 \pm 1.0$ )、mid1 ( $12.5 \pm 1.0$ ) と mid2 ( $15.2 \pm 0.7$ )、mid1 ( $12.5 \pm 1.0$ ) と post ( $16.5 \pm 1.1$ ) には有意な差がみられなかった ( $p > 0.05$ )。

MVC 変化量 (post-pre) は Rest6min 条件 ( $-6.7 \pm 6.0 \text{ kg}$ )、Rest6min+NMES 条件 ( $-11.5 \pm 9.9 \text{ kg}$ )、Rest2min 条件 ( $-7.0 \pm 3.4 \text{ kg}$ ) の 3 条件間において有意な差はみられなかった ( $p > 0.05$ ) (図 17)。

血中乳酸濃度変化量 (post1-pre) は Rest6min 条件 ( $2.0 \pm 0.66 \text{ mmol/L}$ )、Rest6min+NMES 条件 ( $3.1 \pm 1.6 \text{ mmol/L}$ )、Rest2min 条件 ( $2.5 \pm 1.2 \text{ mmol/L}$ ) の 3 条件間において有意な差はみられなかった ( $p > 0.05$ ) (図 18)。血中乳酸濃度変化量 (post2-post1) は Rest6min 条件 ( $1.7 \pm 1.06 \text{ mmol/L}$ )、Rest6min+NMES 条件 ( $2.7 \pm 1.41 \text{ mmol/L}$ )、Rest2min 条件 ( $2.4 \pm 1.27 \text{ mmol/L}$ ) の 3 条件間において有意な差はみられなかった ( $p > 0.05$ ) (図 19)。

RPE 変化量 (mid1-pre) は Rest6min 条件 ( $4.3 \pm 2.2$ )、Rest6min+NMES 条件 ( $5.0 \pm 1.8$ )、Rest2min 条件 ( $4.8 \pm 1.8$ ) の 3 条件間において有意な差はみられなかった ( $p > 0.05$ ) (図 20)。RPE 変化量

(mid2-mid1) は Rest6min 条件 ( $2.3 \pm 0.9$ )、Rest6min+NMES 条件 ( $2.3 \pm 0.5$ )、Rest2min 条件 ( $2.7 \pm 0.9$ ) の 3 条件間において有意な差はみられなかった ( $p > 0.05$ ) (図 21)。RPE 変化量 (post-mid2) は Rest6min 条件 ( $1.3 \pm 0.7$ )、Rest6min+NMES 条件 ( $1.7 \pm 0.9$ )、Rest2min 条件 ( $1.3 \pm 0.7$ ) の 3 条件間において有意な差はみられなかった ( $p > 0.05$ ) (図 22)。

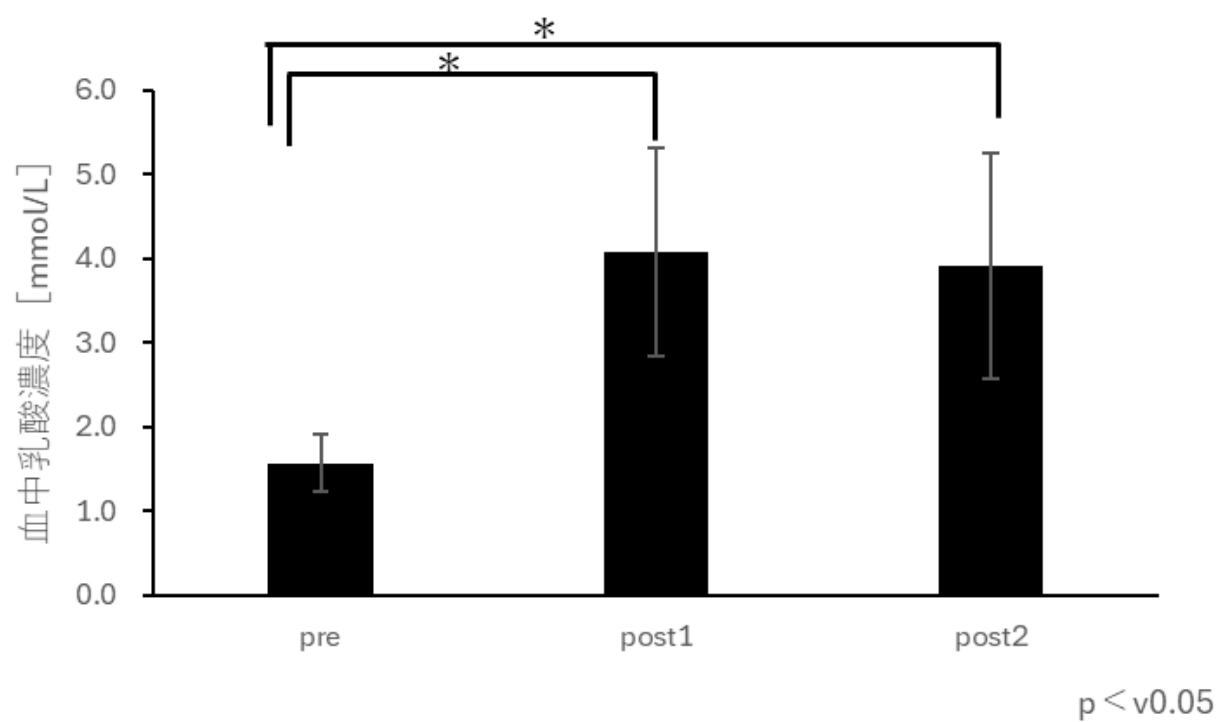


図 15 Rest2min 条件において血中乳酸濃度の pre、post1、post2 の比較

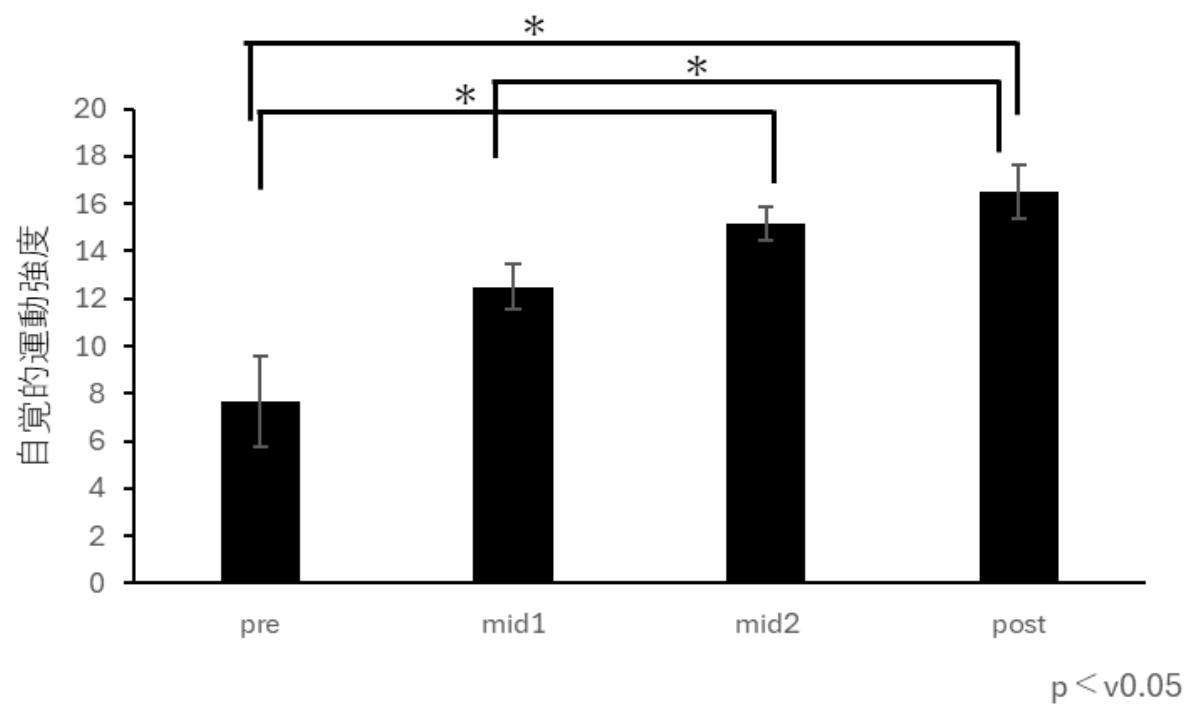


図 16 Rest2min 条件において自覚的運動強度の pre、mid1、mid2、post の比較

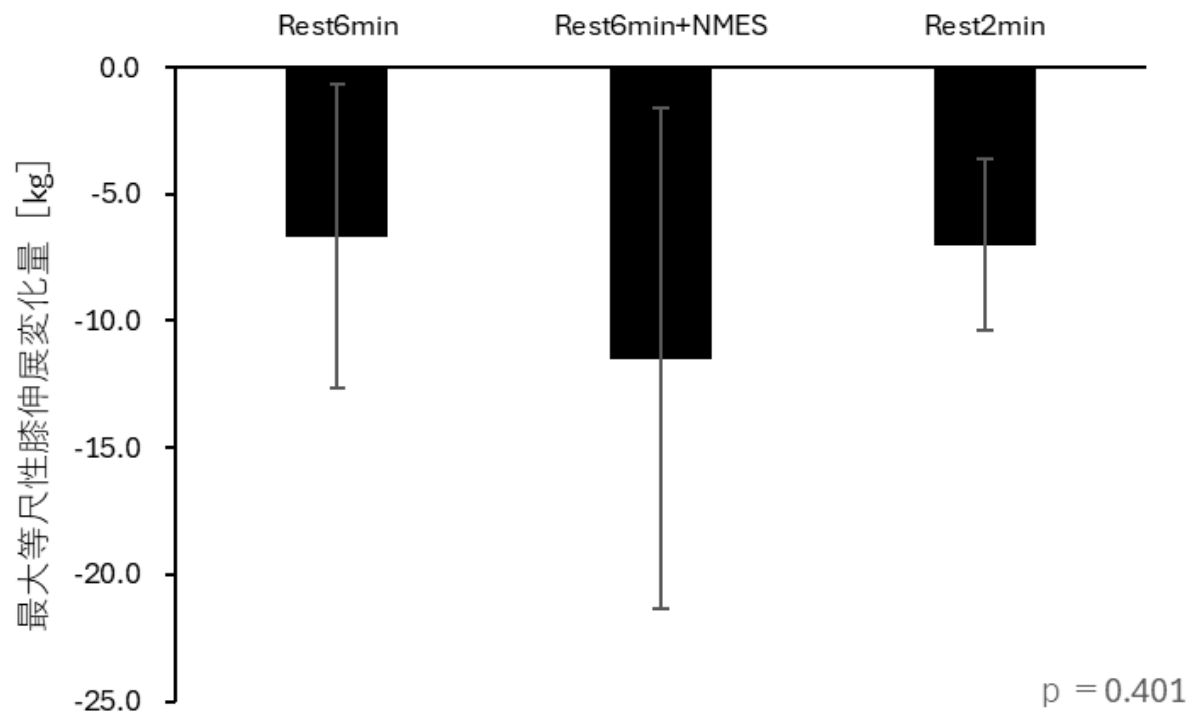


図 17 Rest6min 条件と Rest6min+NMES 条件と Rest2min 条件において最大等尺性膝伸展（MVC）変化量（post-pre）の比較

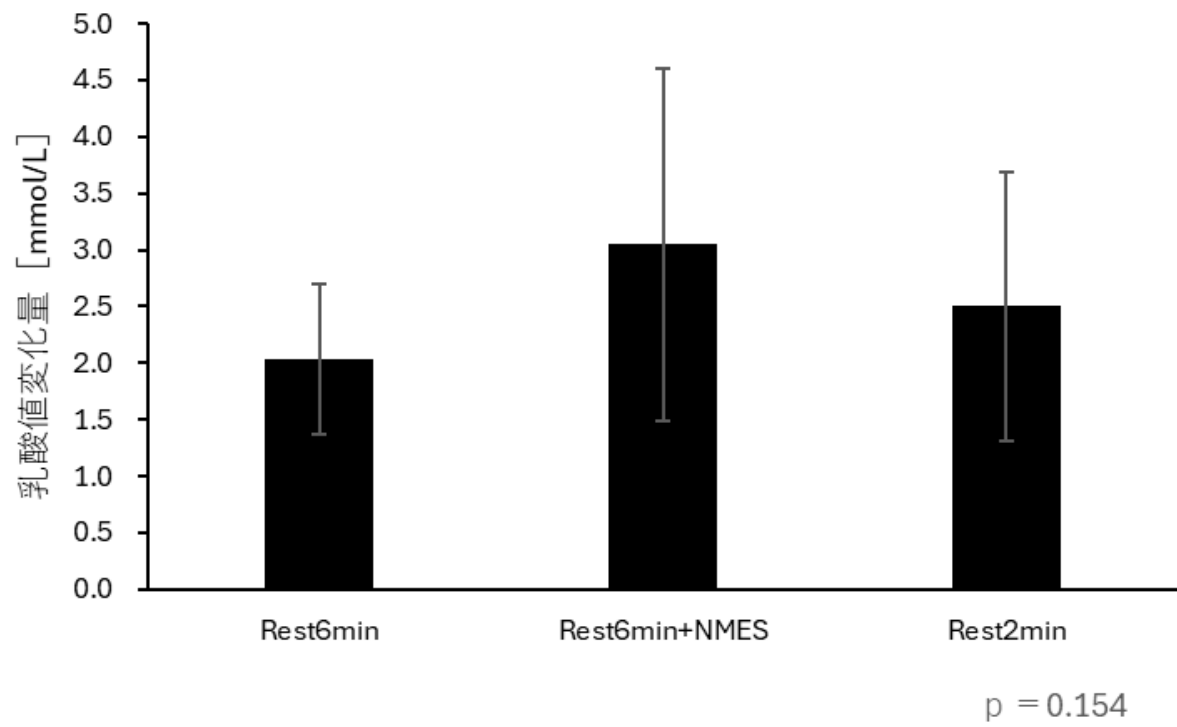


図 18 Rest6min 条件と Rest6min+NMES 条件と Rest2min 条件において血中乳酸濃度変化量 (post1-pre) の比較

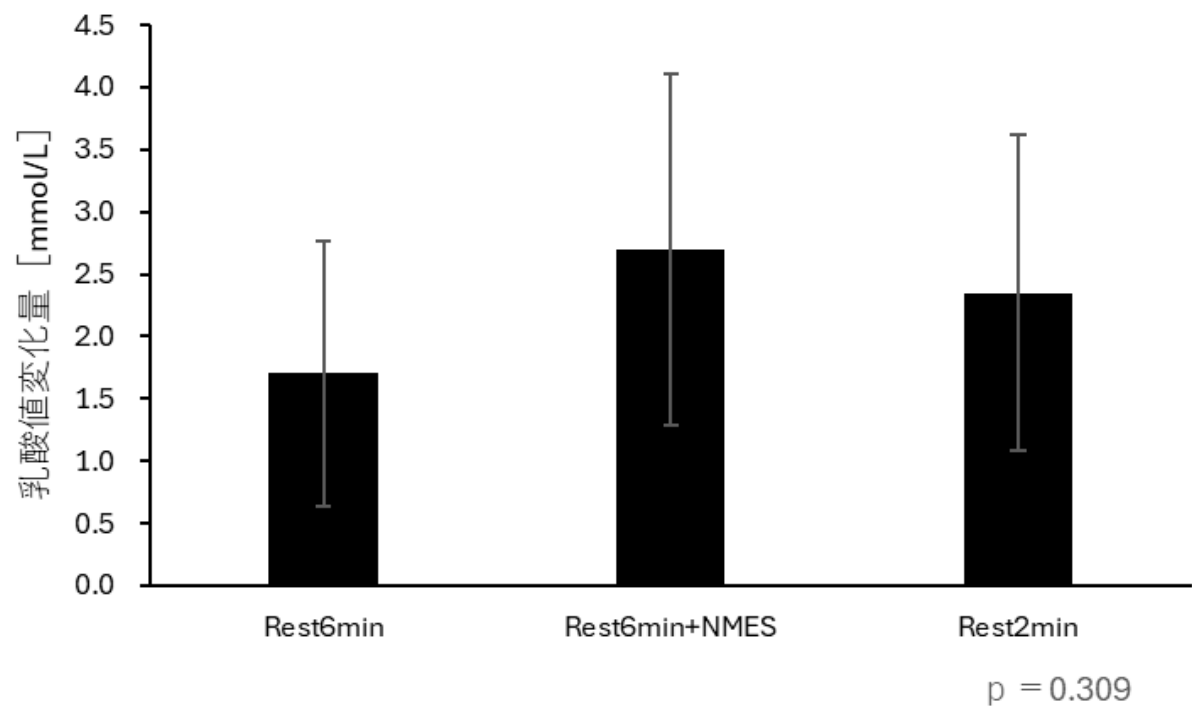


図 19 Rest6min 条件と Rest6min+NMES 条件と Rest2min 条件において血中乳酸濃度変化量 (post2-post1) の比較

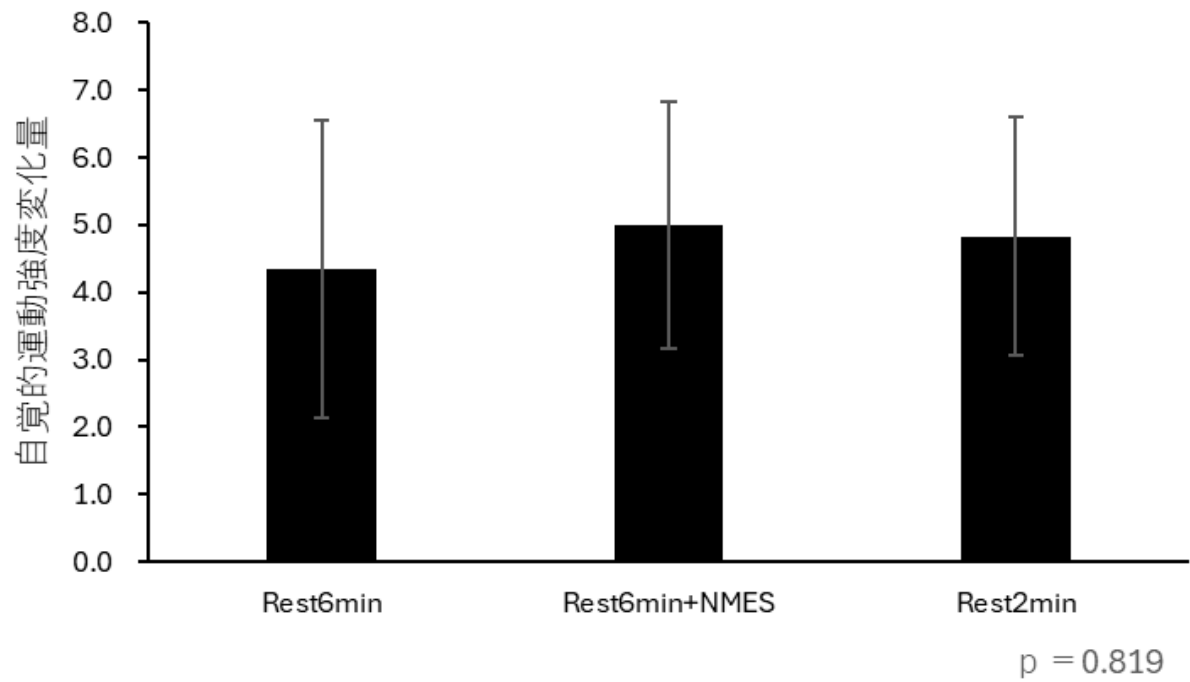


図 20 Rest6min 条件と Rest6min+NMES 条件と Rest2min 条件において RPE 変化量 (mid1-pre) の比較

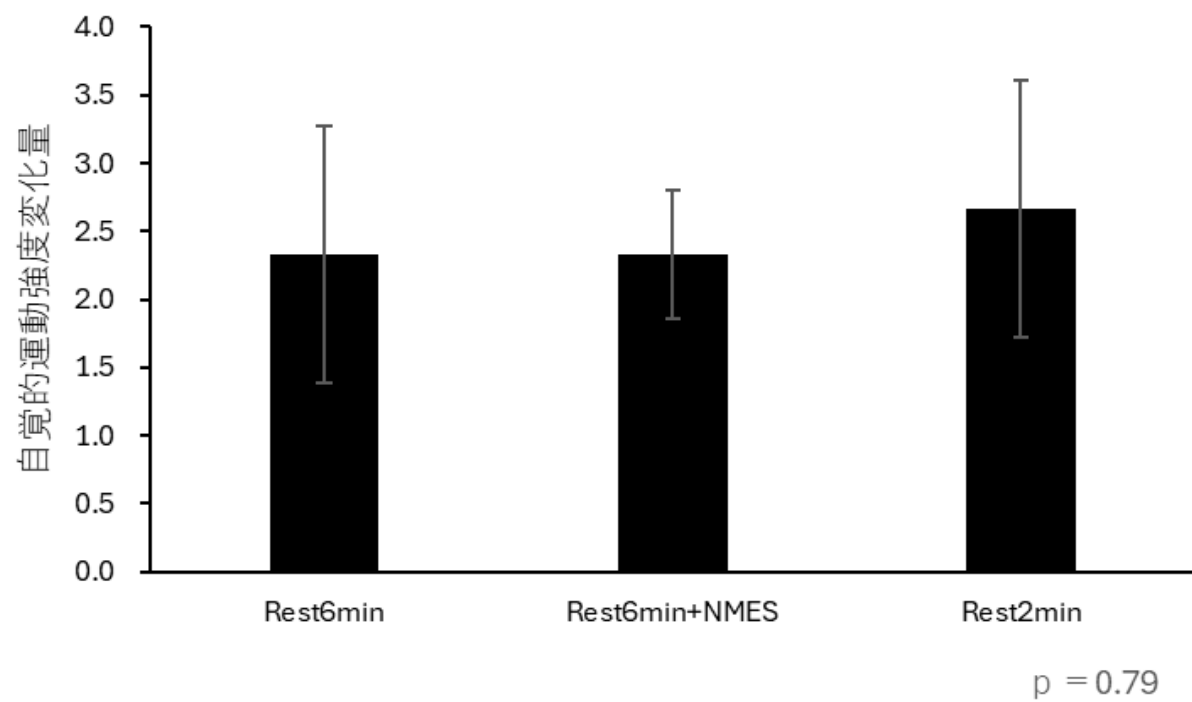


図 21 Rest6min 条件と Rest6min+NMES 条件と Rest2min 条件において RPE 変化量 (mid2-mid1) の比較



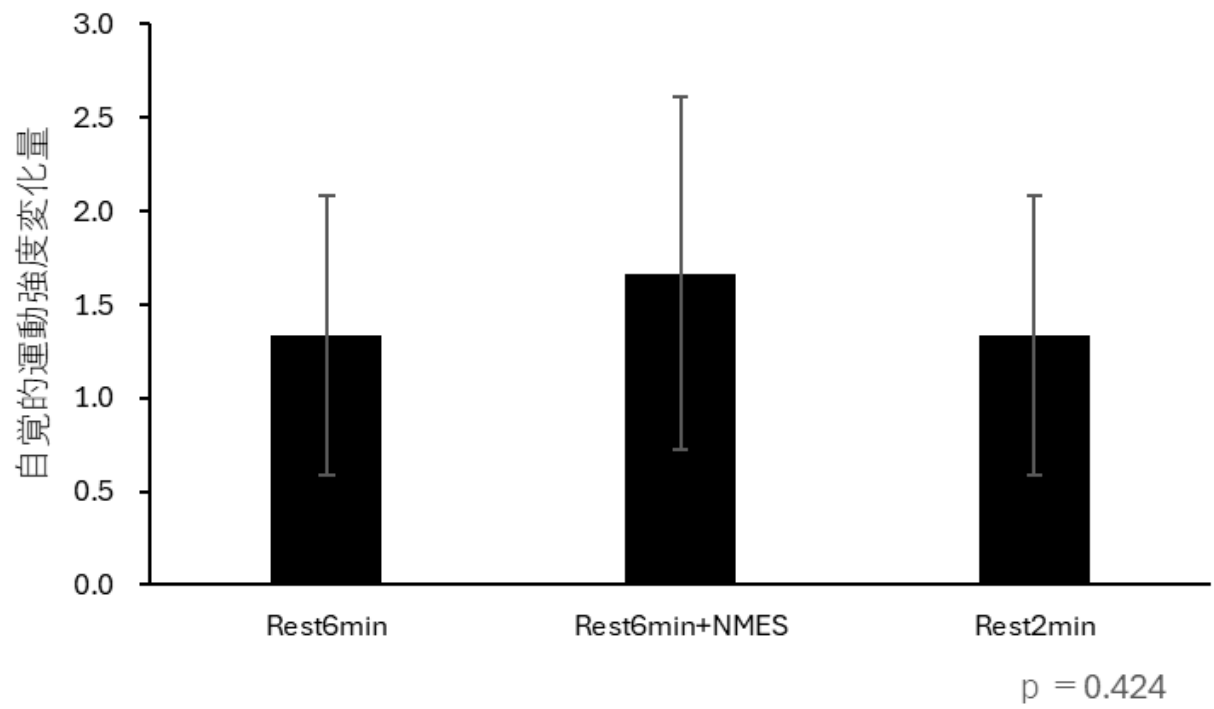


図 22 Rest6min 条件と Rest6min+NMES 条件と Rest2min 条件において RPE 変化量 (post-mid2) の比較

## 考察

本研究ではレジスタンストレーニングの休息時間における神経筋電気刺激がレジスタンストレーニングに及ぼす影響について検討した。

### その結果

- 1) セット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の間に代謝性ストレス（血中乳酸濃度）の有意差はみられなかったこと
- 2) セット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の間に最大等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）の有意差はみられなかったこと
- 3) セット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の間に自覚的運動強度（RPE）の有意差はみられなかったことが明らかになった。

- 1) セット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の条件間に有意な差はみられなかった。各条件内における血中乳酸濃度の上昇については有意な差がみられた。この結果からレジスタンストレーニングにおけるセット間休息時の神経筋電気刺激が血中乳酸濃度に影響を及ぼさない可能性が示唆された。本研究では、Rest6min、Rest6min+NMES 条件、Rest2min 条件の条件内における血中乳酸濃度の上昇に有意な差がみられていることからレジスタンストレーニング強度は十分であったと考えられる。Rest6min+NMES 条件において血中乳酸濃度が Rest6min 条件、Rest2min 条件と比較し有意差がみられなかったことからレジスタンストレーニングのセット間休息

における神経筋電気刺激（NMES）が血中乳酸濃度に影響を及ぼさない可能性が示唆された。しかし、本研究は片脚膝伸展運動をレジスタンストレーニングとして実施しており、Nicolas et al. (2014) は両脚膝伸展運動の最大乳酸濃度が片脚膝伸展運動の最大乳酸濃度と比較し有意に高いことを報告している。また Marko et al. (2003) は等尺性運動と動的運動の筋血流量を比較し、等尺性運動時の筋血流量が動的運動時に比べ少ないことを報告している。先行研究においても、神経筋電気刺激（NMES）を行い血中乳酸濃度に有意差がみられた実験は、ウィングートテストやペダル運動などの動的運動が実施されている（Takeda et al. 2024）。そのことから本研究の実験設計である片脚等尺性膝伸展運動では動的運動に比べ動員された筋肉量が少なく、血中乳酸濃度を高め切れなかった可能性が考えられる。したがってセット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の条件間に有意な差が見られなかった可能性が示唆された。仮説 1「レジスタンストレーニングのセット間休息時における神経筋電気刺激（NMES）が代謝性ストレス（血中乳酸濃度）を高める」は支持されなかった。

- 2) セット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の間に等尺性膝伸展最大随意筋力の有意差はみられなかった。各条件内における等尺性膝伸展最大随意筋力の低下においては有意な差がみられた。この結果からレジスタンストレーニングにおけるセット間休息時の神経筋電気刺激が等尺性膝伸展最大随意筋力に影響を及ぼさない可能性が示唆された。Giedre et al. (2020) は最大随意筋力の低下は末梢性疲労に依存し、末梢性疲労はレジスタンストレーニングの総疲労量に影響されることを報告している。本研究では、Rest6min 条件、Rest6min+NMES 条件、Rest2min

条件の条件内における等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）に有意な差がみられていることから実験のレジスタンストレーニングが末梢性疲労を高めていることが考えられる。Rest6min 条件、Rest6min+NMES 条件、Rest2min 条件の条件内において等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）に有意さがみられたがセット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）に有意な差はみられなかった。これらの結果は、レジスタンストレーニングにおけるセット間休息時の神経筋電気刺激が等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）に影響を及ぼさないことが示唆される。これは、神経筋電気刺激（NMES）が等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）に影響を及ぼさないことが報告されている先行研究の結果と類似している（Watanabe et al. 2019）。これからレジスタンストレーニングにおけるセット間休息時の神経筋電気刺激は等尺性膝伸展最大随意筋力に影響を及ぼさない可能性が示唆された。したがって仮説 2「レジスタンストレーニングの休息時間における神経筋電気刺激（NMES）は最大随意筋力（MVC）に影響を及ぼさない」は支持された。

- 3) セット間休息時の神経筋電気刺激条件とセット間休息時の神経筋電気刺激なし条件の間に自覚的運動強度（RPE）の有意差はみられなかった。各条件内における自覚的運動強度（RPE）においては有意な差がみられた。先行研究では、神経筋電気刺激を実施しながら行ったペダル運動において自覚的運動強度に有意差がないことが報告されている（Watanabe et al. 2021）。また同じ運動強度においての神経筋電気刺激の有無が自覚的運動強度に影響を及ぼさないことが報告されている（Watanabe et al. 2023）。本研究ではレジスタンストレーニングのセット間休息時に神経筋電気刺激を行っており条件間において有意な差がみられなかった。しかし各条件内においての自覚的運動強度（RPE）には有

意な差がみられていることからレジスタンストレーニングにおける神経筋電気刺激が自覚的運動強度に影響を及ぼさない可能性が示唆され、先行研究と類似した結果になった。したがって仮説3「レジスタンストレーニングのレスト時における神経筋電気刺激は自覚的運動強度（RPE）に影響を及ぼさない」は支持された。

#### 目的に対する回答および社会への還元

本研究はセット間休息時の神経筋電気刺激（NMES）がレジスタンストレーニングに及ぼす影響を検討することを目的に実施された。考察からレジスタンストレーニングのセット間休息時における神経筋電気刺激の実施はレジスタンストレーニング時の最大随意筋力（MVC）、自覚的運動強度（RPE）に影響を及ぼさない可能性が示唆された。血中乳酸濃度の変化についてはレジスタンストレーニングのセット間休息時における神経筋電気刺激（NMES）の有無が及ぼす影響がみられなかった。健康や体力の維持・向上を目的とした運動やトレーニングの重要性が増している社会において、レジスタンストレーニングのセット間休息時における神経筋電気刺激の実施が最大随意筋力（MVC）、自覚的運動強度（RPE）に影響を及ぼさない結果は今後、神経筋電気刺激を用いたトレーニングプログラムの作成、身体活動に制限がある入院中や回復期の患者のリハビリテーションへの活用の可能性が考えられる。

#### 本研究の課題と限界

本研究の課題としてレジスタンストレーニングを片脚の等尺性膝関節伸展運動に限定して実施したため、セット間休息時の神経筋電気刺激（NMES）がレジスタンストレーニング時の血中乳酸濃度に及ぼす影響について十分に検討することができなかった。本研究の限界として研究対象者が習慣的に高強度のト

レーニングを行っていない健康な若年男性に限定されているため、習慣的にトレーニングを行っている者や女性、中年者層、高齢者層に対して同様の結果が得られるかは不明であり、一般化には慎重を要する。

## 結論

本研究では、セット間休息時における神経筋電気刺激（NMES）がレジスタンストレーニングに及ぼす影響について検討した。その結果、レジスタンストレーニングのセット間休息時における神経筋電気刺激（NMES）の実施は代謝性ストレス（血中乳酸濃度）、等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）、自覚的運動強度（RPE）において変化がみられなかった。これらの結果から神経筋電気刺激（NMES）はレジスタンストレーニングにおいても等尺性膝伸展最大随意筋力（MVC）、自覚的運動強度（RPE）に影響を及ぼさない可能性が示唆された。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご指導とご助言を賜りました渡邊航平教授をはじめ、研究室の皆さまに深く感謝申し上げます。また、本研究の研究対象者にご協力いただいた皆さまにも心より御礼申し上げます。さらに互いに協力、切磋琢磨したゼミ生皆さまにも深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- ・American College of Sports Medicine. (2009). American College of Sports Medicine position

stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41, 687–708, 2009

• Carlo J, Paola C. Hierarchical control of motor units in voluntary contractions. *Journal of Neurophysiology* 107(1):178–195, 2011

• Giedre J, Andrius S, Agne C, Kristina M, Dovile V, Jurate S, Kristina B, Daiva M, Diana K, Albertas S. High-volume intermittent maximal intensity isometric exercise caused great stress, although central motor fatigue did not occur. *Biology of Sport* 38(3):315–323, 2020

• Gregory M, Bickel C. Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Physical Therapy* 85(4):358–64, 2005

• Hamid A, Bahman M, Naser H. Neuromuscular and Metabolic Responses to Three Different Resistance Exercise Methods. *Asian Journal of Sports Medicine* 5(1):30–38, 2013

• Jonathan C, Brad S, Caroline V, Stuart M. The influence of resistance exercise training prescription variables on skeletal muscle mass, strength, and physical function in healthy adults: An umbrella review. *Journal of Sport and Health Science* 13(1):47–60, 2023

• Marko S, Kari K, Heikki K, Jukka K, Mika T, Hannu S, Pirjo N, Juhani K. Skeletal muscle blood flow and flow heterogeneity during dynamic and isometric exercise in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 284(3):979–986, 2003

• Nicolas W, Patrick W, Heinz K, Joachim M. Lactate Kinetics during Multiple Set Resistance Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine* 13(1):73–77, 2014

- Ozaki H, Jeremy P, Samuel L, Abe T. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. Medical Hypotheses 88:22-26, 2016
- Quan T, David D. Dynamic Training Volume: A Construct of Both Time Under Tension and Volume Load. Journal of Sports Science and Medicine 5(4):707-713, 2006
- Takeda R, Nojima H, Nishikawa T, Okudaira M, Hirono T, Watanabe K. Can Neuromuscular Electrical Stimulation Enhance the Effect of Sprint Interval Training? International Journal of Sports Medicine 45(09):672-677, 2024
- Yuxiao G, Bethan E, Philip J, Mathew P. Molecular and neural adaptations to neuromuscular electrical stimulation; Implications for ageing muscle. Mechanisms of Ageing and Development 193:111402, 2021
- Watanabe K, Yoshida T, Ishikawa T, Kawade S, Moritani T. Effect of the Combination of Whole-Body Neuromuscular Electrical Stimulation and Voluntary Exercise on Metabolic Responses in Human. Frontiers in Physiology 10:291, 2019
- Watanabe K, Yoshimura A, Nojima H, Hirono T, Kunugi S, Takada T, Kawade S, Moritani T. Physiological adaptations following vigorous exercise and moderate exercise with superimposed electrical stimulation. European Journal of Applied Physiology 23:159-168, 2023
- 厚生労働省. 健康づくりのための身体活動基準 2013. [身体活動・運動の推進 | 厚生労働省](#), 2013
- スポーツ庁. 令和 6 年度スポーツの実施状況等に関する世論調査. [令和 6 年度「スポーツの実施状況等](#)



に関する世論調査」の結果を公表します：スポーツ庁, 2025

レジスタンストレーニング時の声掛けの大きさが  
挙上回数に与える影響

J522078

中川真之介

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：2 型糖尿病は筋肉量を増やすことで改善できるといわれているが、筋肉量を増やすことは筋力を増やすことより難しく、特に高齢者に関しては筋肥大を狙うことは難しいとされている。レジスタンストレーニングの回数を多く行うことで筋肥大に効果的なアプローチができるが、回数を行うにも限界がある。先行研究において、声掛けを受けることで反復回数が増加した報告や高重量を挙上した研究があるが、どれも声掛けの音量は明記されていなかった。そこで本研究ではレジスタンストレーニング時の言語的励ましにおいて、どの程度の音量が効果的かを明らかにすることを目的とする。方法：12 名健康な男子大学生を対象に、声掛けなし条件（0VE）、通常音量声掛け 60dB 条件（60VE）、および大音量声掛け 90 dB 条件（90VE）の 3 条件下で各被験者が 1RM の 75% の負荷で実施した座位ダンベルカールにおける最大挙上回数を測定した。声掛けには周波数特性を統一した録音音声を用い、スピーカーは被験者の耳の高さと同一の位置に設置した。スピーカーは被験者から 1m 離れた場所に配置し、当該音声を再生した。統計解析には Friedman 検定を用い、有意水準を  $p < 0.05$  と設定した。結果：ダンベルカールの挙上回数において、声掛け音声なし条件と通常音量声掛け条件には、有意な回数の平均値の差はなかった ( $p < 0.05$ )。一方で声掛け音声なし条件と大音量声掛け条件には、有意な回数の平均値の差があった ( $p < 0.05$ )。また通常音量声掛け条件と大音量声掛け条件には、有意な回数の平均値の差があった ( $p < 0.05$ )。結論：本研究によって、ダンベルカールの挙上回数は、声掛け音声なし条件と比較して、大音量による声掛けが挙上回数の増加に影響を与える可能性があることが明らかになった。また声掛けありの条件でも大音量声掛けの方が挙上回数の増加に効果的である可能性が明らかになった。

## 背景

現在日本における糖尿病患者数は約 552 万人であり、2 型糖尿病患者は約 363 万人とされている（厚生労働省、2023）。さらに国民健康・栄養調査によると、糖尿病の可能性を否定できない者が約 700 万人に上ると報告されており、人口の高齢化や肥満者の増加に伴い今後も増加することが予想される（厚生労働省、2024）。そのため第三次健康日本 21 では糖尿病の発症予防および重症化予防を通じた国民の健康増進を重要施策と位置付け、一次予防として有病者の増加抑制を挙げている（厚生労働省、2024）。

一方でレジスタンストレーニングによる筋肥大はインスリン感受性を高め、2 型糖尿病の発症予防、改善に寄与すると考えられている。Haines et al. (2020) は、除脂肪量を筋肥大の代替マーカーとして上位 3 分の 1 群が下位 3 分の 1 群と比較して平均インスリン感受性が 45% 高いと報告している。また Bucci et al. (2016) は、4 か月間のレジスタンストレーニングにより、肥満女性の筋肉量と全身及び骨格筋インスリン感受性を改善したことを報告した。しかし筋力の増加と筋肉量（筋肥大）の増加は必ずしも比例しないことが報告されている。Ahtiainen et al. (2016) は 20～24 週間のレジスタンストレーニングで平均筋力は約 21% 向上したが、筋肉量は平均約 7% の増加にとどまったと報告した。Andrew et al. (2018) は、短期的には神経適応による筋力向上が大きく、長期・定量的には筋肥大の効果が現れると示しており、Kosek et al. (2006) は週 3 回、16 週のレジスタンストレーニングによる筋線維肥大は、若年者が 25% 増加したのに対し、高齢者は 4% しか成長しなかったとしていることから、特に高齢者では筋肥大を得にくい可能性が示唆される。

筋肥大を促すにはセットを限界に近づけることが有効であるとするエビデンスもある。Hermann et al. (2025) は限界までトレーニングすることは、筋肥大のいくつかの指標を向上させる可能性があるとの報告

している。また Nakatani et al. (2024) は 23 人の柔道選手が 1RM の 80% 重量のダンベルカールトトレーニングを週 2 回 6 週間実施し、反復失敗に至る RT が、より大きな筋肉組織と筋力に有効であるかどうかを検討した結果、反復限界まで行った群が筋厚の変化に対する効果量が多いことを報告している。しかし回数を行うには限界があるため、どのようにして挙上回数を増やすのが課題となる。

その解決策の一つとして、トレーニング中の言語的励ましは反復回数やパフォーマンスを向上させることが示されている。言語的励ましの有無による持久力パフォーマンステストの変動を調べた結果、励ましがある条件群で、スクワット持久力テストの反復回数が 1.2 回増加し、スクワット筋力の平均値に関する比較では、声掛けあり群が声掛けなし群よりも高い値を示したと報告している (Engel, 2019)。また大学生スポーツ実習生 48 名での比較で、1 週間目は通常、2 週間目は励ましありでベンチプレス・スクワット・デッドリフト 1RM を測定した結果、励ましあり条件ではベンチ・スクワット・デッドリフトでそれぞれ有意に高重量を挙上したことを報告している (Romdhani et al. 2024)。Antony, (2012) は他者からの言語的励ましが自己効力感を高め、課題遂行の意欲や達成可能性の認知を強化している。

Ramirez-Moreno and Sejnowski. (2012) によると、80dB 以上のノイズ刺激は交感神経が優位になり、瞬発的な筋出力の増加が起きるとされている。しかし、既存研究の多くは励ましの内容やタイミングは記載していても音量 (デシベル) を明示していないため、条件間で効果のばらつきが生じる可能性がある。

そこで本研究は、レジスタンストレーニング時の言語的励ましにおいてどの音量が挙上回数の増加やパフォーマンス向上に有効かを明らかにすることを目的とする。1) 通常音量声掛け条件は声掛けなし条件と比較して挙上回数が増加する。2) 大音量声掛け条件は声掛けなし条件と比較して挙上回数が増加する。3) 大音量声掛け条件は通常音量声掛け条件と比べて挙上回数が増加する。という仮説を設定した。

## 方法

### 研究対象者

健康な男子大学生 12 人（年齢：21.75±1 歳 身長：172.3±5.38 cm 体重 70.3±8.73 kg）とした。

研究対象者には実験前にダンベルカールを行う上での注意点について説明した。

### 実験デザイン

研究対象者は 48 時間以上の間隔をあけ、異なる日に計 4 回実験室（中京大学豊田キャンパス 17 号館 1 階スポーツ工学実験室）訪問した。初回測定では実験の説明、1RM 測定のために訪れてもらった。2 回目から 4 回目の測定では、声掛け音声なし条件（0VE）、通常音量声掛け 60dB 条件（60VE）、大音量声掛け 90 dB 条件（90VE）の 3 条件下でのダンベルカールを対象者ごとにランダムな順番で実施した。研究対象者は、実験の 24 時間前には中程度以上の運動の実施やカフェインやアルコールの摂取は控えた。

### 測定項目

#### 最大挙上回数

各測定において、研究対象者は椅子に着座してから、大腿内側に肘を置いた姿勢で座位のダンベルカールを実施した。トップポジションはダンベルが肩峰と同じ高さに達する位置、ボトムポジションは肘関節の角度が 170 度の位置とした（図 1, 2）。運動テンポは挙上に 2 秒、下降に 2 秒とし、この一連の動作を 1 回として限界まで反復させた。挙上に用いる負荷は各対象者の 1RM の 75% とした。被験者がボトムポジションから 4 秒以内に挙上を開始できない場合、または 4 秒以内にトップポジションまで到達で

きなかった場合を挙上限界と定義し、その時点で運動を終了した。各条件における最大挙上回数を測定項目とした。

#### 声掛け音声

声掛け音声は音量を独立変数とするため、著者が録音した音声を使用し、Audacity という音声編集ソフトを用いて周波数を統一した。声掛けに用いる文言は「頑張れ頑張れ」「ナイスナイス」「その調子」「もっともっと」「いいよいいよ」「まだいける」「最後まで」の 7 語に固定した。声掛けは上記に記述した順番で再生し、7 語すべてを再生し終えた後は同じ順序で二周目の声掛けを行った。被験者がトップポジションに達した時点でスピーカーから声掛け音声を再生した。スピーカー (SANWA SAPPLY 拡声器 400-SP065) は被験者の耳と同じ高さに設置し、被験者から 1m 離れた位置に配置した (図 3, 4)。音量設定は距離減衰を考慮し、騒音計 (マザーツール デジタル騒音計 MT-EN1S) を用いて被験者の位置で 60 dB および 90 dB となるよう調整した (図 5)。



図1 トップポジション





図2 ボトムポジション



図 3 スピーカー





図 4 スピーカーの位置



図 5 騒音計

## 統計解析

すべてのデータは平均値と標準偏差として示した。本研究の結果は正規分布を示さなかったため、ノンパラメトリック検定を用いた。個人内において、3つの条件間（声掛け音声なし、通常音量声掛け60dB条件、大音量声掛け90dB条件）の差をFriedman検定を用いて解析した。統計用ソフトウェア（SPSS）を使用し、有意水準は0.05未満とした。

## 結果

被験者ごとの条件別挙上回数は図6に示す。ダンベルカールの挙上回数において、声掛け音声なし条件の平均値は $9.25 \pm 0.75$ 。通常音量声掛け60dB条件の平均値は $9.42 \pm 0.79$ 。大音量声掛け90dBの平均値は $10.41 \pm 0.90$ 。声掛け音声なし条件と通常音量声掛け条件には、有意な回数の平均値の差はなかった（ $p > 0.05$ ）（図7）。一方で通常音量声掛け条件と大音量声掛け条件には、有意な回数の平均値の差があった（ $p < 0.05$ ）（図8）。また声掛け音声なし条件と大音量声掛け条件には、有意な回数の平均値の差があった（ $p < 0.05$ ）（図9）。

## 考察

本研究ではレジスタンストレーニング中の言語的励ましが挙上回数の増加に寄与できるのかについて検討した。本研究では、1) 声掛け音声なし条件と通常音量声掛け条件の間に有意差は見られなかった。2) 大音量声掛け条件は、声掛け音声なし条件と比較して、挙上回数を増加させることが明らかに

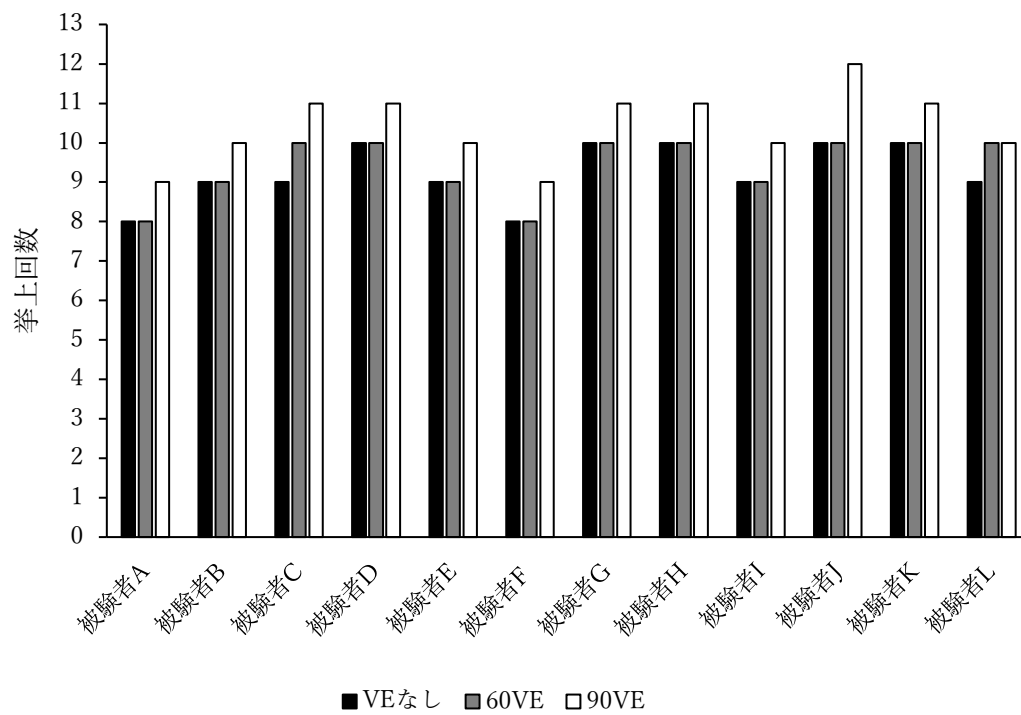


図 6 被験者ごとの条件別挙上回数

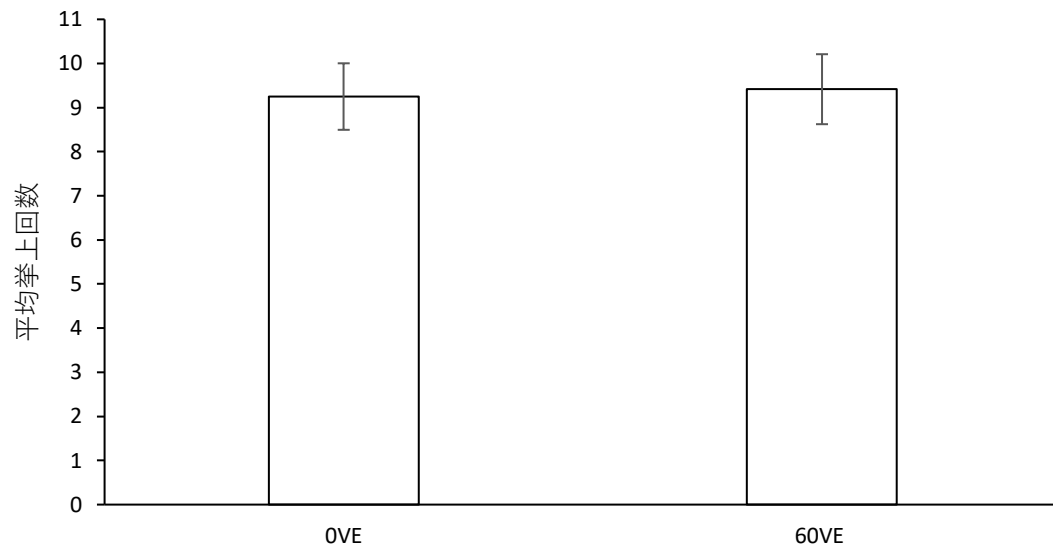


図7 声掛け音声なし条件（0VE）と通常音量声掛け条件（60VE）での挙上回数の平均値の比較

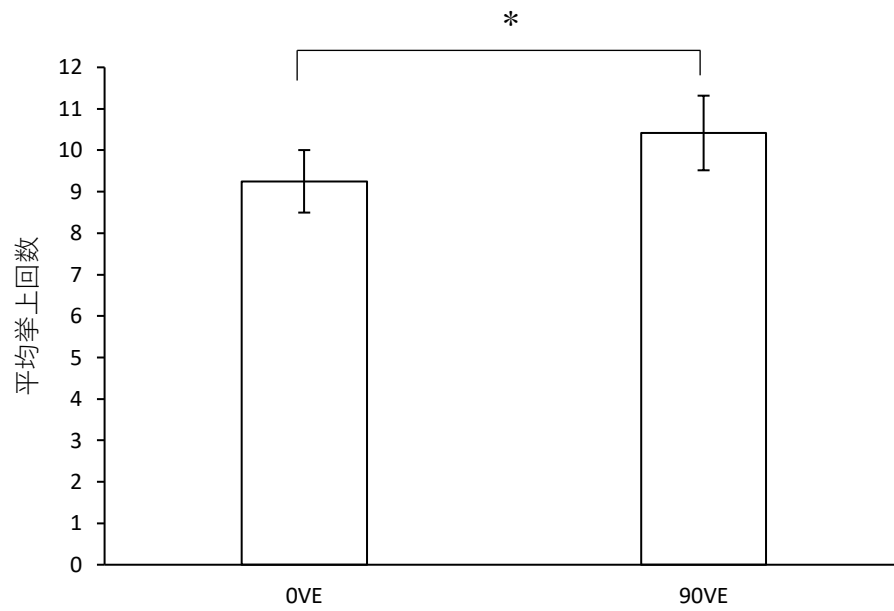


図8 声掛け音声なし条件（0VE）と大音量声掛け条件（90VE）での挙上回数の平均値の比較

\* $p < 0.05$



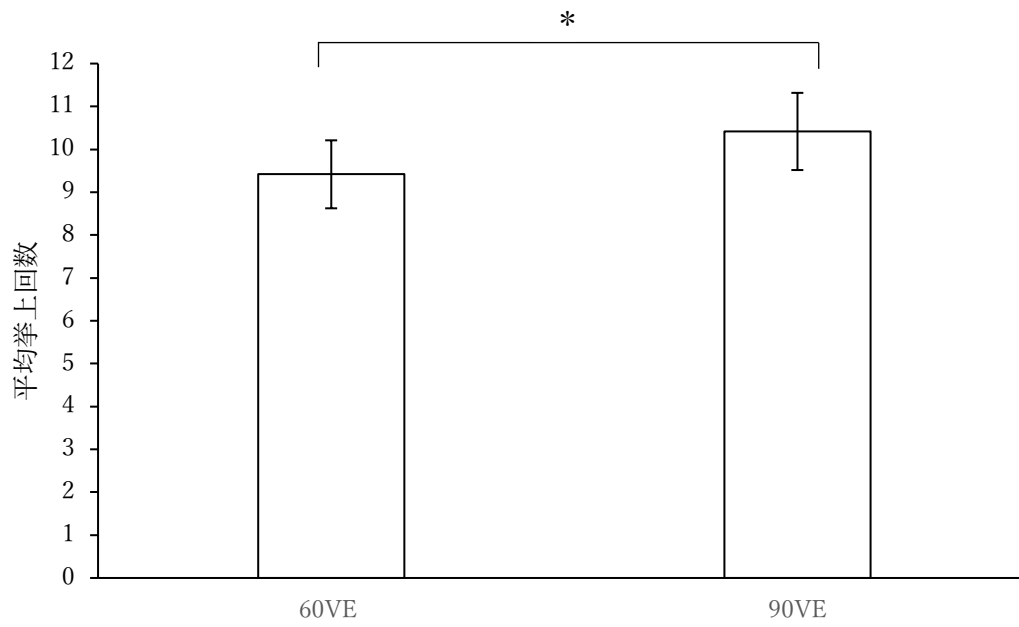


図9 通常音量声掛け条件（60VE）と大音量声掛け条件（90VE）での挙上回数の平均値の比較

\*  $p < 0.05$

なった。3) 大音量声掛け条件は通常音量声掛け条件と比較して挙上回数を増加させることが明らかになった。これらの結果は一部の仮説を支持したが、そうでない結果も見られた。

#### 声掛け音声なし条件 (0VE) と通常音量声掛け条件 (60VE) の比較

本研究では、声掛け音声なし条件 (0VE) と通常音量声掛け条件 (60VE) の間で、挙上回数に有意な差は見られなかった (図 7)。この結果は、通常音量声掛け条件では心理的励まし効果が薄く、知覚的優位性がなかったことや、生理的反応を十分に变化させられなかったことを示唆している。このため、仮説 1 「通常音量声掛け条件は声掛けなし条件と比較して挙上回数が増加する」は支持されなかった。

Romdhani et al. (2024) の先行研究では声掛けの音量について明記されていないが、「よくやった」「がんばれ」「きみならできる」といった文言をトレーニング中に与えることで、ベンチプレス、デッドリフトの最大重量を向上させ、身体活動の楽しさが有意に増加したとしている。また Engel et al. (2019) は VE 下ではスクワット持久力テストの反復回数が増加することが報告されている。しかし、本研究の通常音量声掛け条件では挙上回数の増加にはつながらなかった。これは 60dB という日常会話レベルの音量が、被験者にとって音刺激が弱く、動機付けや生理的覚醒を十分に誘発しないため、効果が現れなかった可能性がある。

#### 声掛けなし条件 (0VE) と大音量声掛け条件 (90VE) の比較

本研究では大音量声掛け条件 (90VE) は声掛けなし条件 (0VE) と比較して、挙上回数を増加させることが明らかになった (図 8)。この結果から、大音量による声掛けは驚愕反応や覚醒水準の上昇を引き起こし、交感神経活動の亢進を通じて瞬発的な筋出力や遂行力を高めた可能性がある。また他者からの声掛けが自己効力感を高め、被験者の努力量や集中を一時的に引き上げることも考えられる。この結果は仮

説2「大音量声掛け条件は声掛けなし条件と比較して挙上回数が増加する」を支持するものである。

Anzak et al. (2011) は大きな聴覚刺激が握力の発生速度の増加と力の強さの向上に影響を及ぼしたことを明らかにしている。また Andreacci et al. (2002) は声掛けがある条件群でトレッドミルテストにおける最大努力値が有意に高まることを報告している。Antony. (2012) は他者からの言語的励ましで自己効力感を高め、課題遂行の意欲や達成可能性の認知を強化している。本研究でも同様のメカニズムが作用した可能性が高い。このことからトレーニング時の大音量による声掛けは即時的に運動反復回数を増加させる可能性が考えられる。

#### 通常音量声掛け条件(60VE)と大音量声掛け条件(90VE)の比較

本研究では、大音量声掛け条件(90VE)は通常音量声掛け条件(60VE)と比較して挙上回数を増加させることが明らかになった(図9)。この結果は、言語的励ましの効果に音量要因が存在する可能性を示す。60dB程度では心理・生理的に有意な覚醒や驚愕反応が誘発されにくい一方、90dBでは驚愕信号や交感神経の活性化が起き、瞬発的筋出力や集中力を高めるため、挙上回数に差が生じたと考えられる。この結果は仮説3「大音量声掛け条件は通常音量声掛け条件と比べて挙上回数が増加する」を支持するものである。先行研究では、80dB以上のノイズ刺激は驚愕信号として伝達され、瞬発的な筋出力の増加が起きるとされている(David and Terrence. 2012)。また Maslovat et al. (2021) は大きな音刺激が入ることと準備済みの運動反応が向上し、交感神経が活性化したことを報告しており、本研究の結果とも一致している。以上から声掛けの効果は単なる有無だけではなく、音量にも依存する可能性が高いことを示唆している。

本研究の学術的意義として、これまで定性的に扱われることの多かった声掛けの効果に対し、「音量」という定量的要因を操作し、その影響を検討した点が挙げられる。本結果は、レジスタンストレーニングにおける言語的励ましの効果が心理的要因のみならず、生理的刺激強度との相互作用によって規定される可能性を示唆しており、今後のトレーニング指導法や研究デザインを検討する上で有用な知見を提供するものと考えられる。

#### 本研究の限界と今後の課題

本研究の限界として声掛け音声は男性の声だったため、異性の声掛けが及ぼす影響について十分に検討できなかった点が挙げられる。Smith et al. (2019) は異性の声に対して、脳の声選択領域の活性化が促進されると報告しているが本研究では検証できなかったため、今後の研究では音声の性別を多様化することで、更なる声掛け介入の効果を解明できる可能性がある。

#### 結論

本研究はレジスタンストレーニング時の声掛けが、挙上回数に及ぼす影響について検討した。本研究によって、ダンベルカールの挙上回数は、声掛け音声なし条件および通常音量声掛け条件と比較して、大音量による声掛けが挙上回数の増加に影響を与える可能性があることが明らかになった。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、渡邊航平教授に指導教員としての丁寧なご指導とご助言を頂きました。心より感謝申し上げます。また実験にご協力いただいた本学生の皆様にもお礼申し上げます。

## 参考文献

- Ahtiainen JP, Walker S, Peltonen H, Holviala J, Sillanpää E, Karavirta L, Sallinen J, Mikkola J, Valkeinen H, Mero A, Hulmi J, Häkkinen K. Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages, *Age*, 2016;38(1):10.
- Artino AR Jr. Academic self-efficacy: from educational theory to instructional practice, *Perspectives on Medical Education*, 2012;1:76-85.
- Andreacci J, LeMura LM, Cohen SL, Urbansky EA, Chelland SA, Von Duvillard SP. The effects of frequency of encouragement on performance during maximal exercise testing, *Journal of Sports Sciences*, 2002;20(4)345-52.
- Anzak A, Tan H, Pogosyan A, Brown P. Doing better than your best: loud auditory stimulation yields improvements in maximal voluntary force, *Experimental Brain Research*, 2011; volume208:237-243.
- Bucci M, Huovinen V, Guzzardi MA, Koskinen S, Raiko JR, Lipponen H, Ahsan S, Badeau RM, Honka MJ, Koffert J, Savisto N, Salonen MK, Andersson J, Kullberg J, Sandboge S, Iozzo P, Eriksson JG, Nuutila P. Resistance training improves skeletal muscle insulin sensitivity in elderly offspring of overweight and obese mothers, *PLoS One*, 2016;59(1):77-86.
- Engel F, Faude O, Kölling S, Kellmann M, Donath L. Verbal Encouragement and Between-Day Reliability During High-Intensity Functional Strength and Endurance Performance Testing,

Frontiers in physiology, 2019;10:460:1–8.

• Haines MS, Dichtel LE, Santoso K, Torriani M, Miller KK, Bredella MA. Association between muscle mass and insulin sensitivity independent of detrimental adipose depots in young adults with overweight/obesity, International journal of obesity, 2020;44(9):1851–1858.

• Hermann T, Mohan AE, Enes A, Sapuppo M, Piñero A, Zamanzadeh A, Roberts M, Coleman M, Korakakis PA, Wolf M, Refalo M, Swinton PA, Schoenfeld BJ. Without Fail: Muscular Adaptations in Single-Set Resistance Training Performed to Failure or with Repetitions-in-Reserve, Medicine and science in sports and exercise, 2025;57(9): 2021–2031.

• Kosek D, Kim JS, Petrella JK, Cross JM, Bamman MM. Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults, Journal of applied physiology, 2006;101(2)1–14.

• Maslovat D, Sadler CM, Smith V, Bui V, Carlsen AN. Response triggering by an acoustic stimulus increases with stimulus intensity and is best predicted by startle reflex activation, Scientific reports, 2021;11(1)1–17.

• Nakatani M, Takai Y, Kaneisha H. Resistance training leading to repetition failure increases muscle strength and size, but not power-generation capacity in judo athletes, Plos One, 2024;28;19(8):1–19.

• Ramirez-Moreno DF, Sejnowski TJ. A computational model for the modulation of the prepulse inhibition of the acoustic startle reflex, Biological cybernetics, 2012;106(3):169–76.

• Robinson ZP, Pelland JC, Remmert JF, Refalo MC, Jukic I, Steele J, Zourdos M. Exploring the Dose-Response Relationship Between Estimated Resistance Training Proximity to Failure, Strength Gain, and Muscle Hypertrophy: A Series of Meta-Regressions, Sports Medicine, 2024;54(9):2209-2231.

• Romdhani A, Sahli F, Ghouili H, Trabelsi O, Rebhi M, Aissa MB, Saidane M, Guelmami N, Dergaa I, Haddad M, Zghibi M. Exploring the impact of verbal encouragement on strength, endurance, and psychophysiological responses: enhancing teaching strategies in sports science education, Frontiers in sports and active living, 2024;6:1-11.

• Smith E, Junger J, Pauly K, Kellermann T, Dernt B, Habel U. Cerebral and behavioural response to human voices is mediated by sex and sexual orientation, Behavioural Brain Research, 2019, volume 356:89-97.

• 厚生労働省 患者調査の概況 2023

[kanjya.pdf](#)

• 厚生労働省 国民健康・栄養調査結果の概要 2024

[001603146.pdf](#)

• 厚生労働省 健康日本 21（第 3 次）の推進のための説明資料

[001158871.pdf](#)

Qtrac による短母指外転筋運動単位数測定における  
測定姿勢と再現性の検討

J722063

秦彩葉

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室





## 抄録

背景：近年の医療技術の発展や労働環境の変化により、平均寿命および健康寿命はいずれも延長傾向にあり、健康維持に対する社会的関心は一層高まっている。しかし、加齢に伴って運動神経数は減少し、その減少は回復しないことが知られている。運動神経数の減少は筋線維数の減少と関連しており、その不可逆性から、運動神経の数をいかに保持するかが重要な研究課題となっている。閾値電気緊張法を用いることで運動単位数の評価は可能であるが、測定部位末端の動きやノイズが測定値に影響を及ぼすことが分かっている。先行研究ではテーピングによる固定が用いられてきたが、測定姿勢の違いによる影響については十分に検討されていない。

方法：本研究では、Qtrac による筋電図測定において、同一対象者内で再現性の高い運動単位数が得られる測定姿勢を検討した。対象は 20 代女性 1 名とし、非利き手の短母指外転筋を測定部位とした。測定姿勢は、手掌を回外する姿勢、手掌を回内する姿勢、手掌を回外して 3kg の重りを乗せた姿勢の 3 つとした。測定順序や測定日を変更して複数回測定を行い、得られたデータから全体平均、日内平均、日内および日間変動係数を計算した。統計処理には SPSS を用いた。

結果：3 つの測定姿勢における運動単位数の全体平均には統計的有意差は認められなかった。一方、変動係数に着目すると、日内および日間のいずれにおいても、手掌を回内する姿勢が最も小さい値を示し、測定値のばらつきが少ないことが明らかとなった。重りを用いた姿勢は日内変動が小さいものの、日間変動が大きく、測定の安定性に課題があることが分かった。

結論：Qtrac を用いた短母指外転筋の運動単位数測定においては、手掌を回内した測定姿勢が最も安定した測定条件であることが示唆された。本知見は、筋電図測定の精度向上に寄与し、運動神経機能や筋疲労に関する今後の研究に有用な基礎的情報を提供するものである。

## 背景

近年、医療技術の進歩や社会構造の変化、働き方の多様化などにより、平均寿命および健康寿命はいずれも増加傾向にある。(厚生労働省、2024)それに伴い、単に寿命を延ばすだけでなく、生活の質を維持したまま健康に過ごすことへの関心が高まっている(厚生労働省、2006)。このような背景の中で、身体機能の維持、特に筋機能や神経機能の変化を適切に評価することは、健康寿命延伸の観点からも重要な課題である。

加齢に伴い、運動神経数は徐々に減少することが知られており、一度減少した運動神経数は再び増加することはない(Larsson et al、2019)。運動神経数の減少は、支配下にある筋線維の減少と密接に関連しており、この変化も不可逆的である。そのため、運動神経をどのように維持するか、あるいは残存する運動神経がどの程度保持されているかを評価することに注目が集まっている。

運動神経機能の評価方法の一つとして、閾値電気緊張法が挙げられる。筋電図測定、特に Qtrac を用いた測定では、電気刺激に対する神経反応の閾値を追跡することで、運動ニューロンに支配された運動単位数を推定することが可能である(Bostock et al、1998)。しかし、Merletti and Muceli (2019)によると、閾値電気緊張法の際には、電気刺激に伴うノイズを可能な限り除去することが求められる。測定部位の末端が自由な状態である場合、刺激によって筋が変形し、その影響が測定結果に反映される可能性がある。

Jacobsen et al (2018)では、こうした影響を抑制するために指のテーピングが用いられてきたが、測定姿勢を工夫することで、末端の動きを制御し、より安定した測定が可能となる余地があると考えられる。また、誘発筋電図における活動電位の信頼性は、対象とする筋肉が限定されているため、測定部位ご

との正常値や測定条件の違いを比較・検討する必要がある。(Besomi et al, 2019)

以上より、測定姿勢の違いが運動単位数の測定値に与える影響を明らかにすることが本研究の目的である。

本研究の目的は、Qtrac を用いた閾値電気緊張法において短母指外転筋の運動単位数を測定する際に、同一個体内でより安定した値を得ることができる測定姿勢を明らかにすることである。あわせて、測定姿勢の違いによって、同一個体内の運動単位数がどのように変化するかを検討することを目的とした。

本研究では、Qtrac を用いた閾値電気緊張法において、測定姿勢の違いが中手骨筋の運動単位数の測定値およびその再現性に及ぼす影響について検討するにあたり、以下の仮説を設定した。

1)測定姿勢の違いによって得られる運動単位数の平均値には、有意な差は生じないと仮定した。

Rodriguez-Falces and Place (2018)は、Qtrac により記録される活動電位は不随意的に誘発されるものであり、測定姿勢の変化が運動ニューロンの数そのものに影響を及ぼすことはないと考えられる。先行研究においても、誘発筋電図で得られる活動電位の大きさは、活性化された運動ニューロン数と必ずしも比例しないことが報告されている。また、本研究は同一個体内での比較であるため、個体差の影響を排除でき、測定姿勢の違いによって運動単位数の平均値が大きく変動する可能性は低いと判断した。

2)測定姿勢の違いは、運動単位数測定の再現性に影響を及ぼすと仮定した。先述の通り、閾値電気緊張法では、刺激に伴う筋の変形や電極の微細なずれがノイズとなり、測定値のばらつきを生じさせることが知られている。測定部位の末端が自由な状態である場合、これらの影響はより顕著になると考えられる。

手掌を回内した測定姿勢では、手の自重によって末端部の動きが抑制されるため、刺激に伴う筋や電極

の不要な動きが制限され、ノイズの低減につながると考えた。このことから、日内および日間変動係数が最も小さい値を示し、最も安定した測定姿勢となると予想した。一方、手掌を回外した測定姿勢では、末端部の動きを十分に制御することが難しく、刺激に伴う筋や電極の動きが生じやすいため、測定値のばらつきが大きくなると考えた。また、重りを乗せた測定姿勢では、末端部の動きを物理的に制限できる可能性はあるものの、重りの乗せ方や力の加わる位置が測定ごと、あるいは測定日ごとに異なることで、測定条件を一定に保つことが難しくなるのではないかと考えた。

以上の理由から、本研究では、測定姿勢によって運動単位数の平均値に有意差は生じないが、測定姿勢の違いによって再現性に差が生じ、特に手のひらを下にした測定姿勢が最も安定した測定条件となると仮定した。

## 方法

本研究では、Qtrac を用いた筋電図測定を行い、同一個体内において再現性の高い測定値が得られる測定姿勢を検討した。対象者は 20 代女性 1 名とし、運動習慣はなく、測定は対象者の非利き手である右手を対象とした。本研究では、書字動作において主に使用する手を利き手と定義する。測定対象とする筋肉は短母指外転筋とした。体温計、定電流刺激器、筋電図記録装置、および QTRAC 解析ソフトウェアを搭載したコンピュータを用いて実施した (図 1、2)。機器同士の接続は図 3 にて示す。記録電極は短母指外転筋筋腹上に貼付し、基準電極は手関節掌側、橈側手根屈筋腱近傍に配置した。二つの電極間距離は 2,5cm とした。また、接地電極を手背にそれぞれ配置した。(図 4、5) 電気刺激装置により末梢神経を刺激し、誘発された筋電図信号を記録した。記録されたデータを Qtrac を用いて解析した。

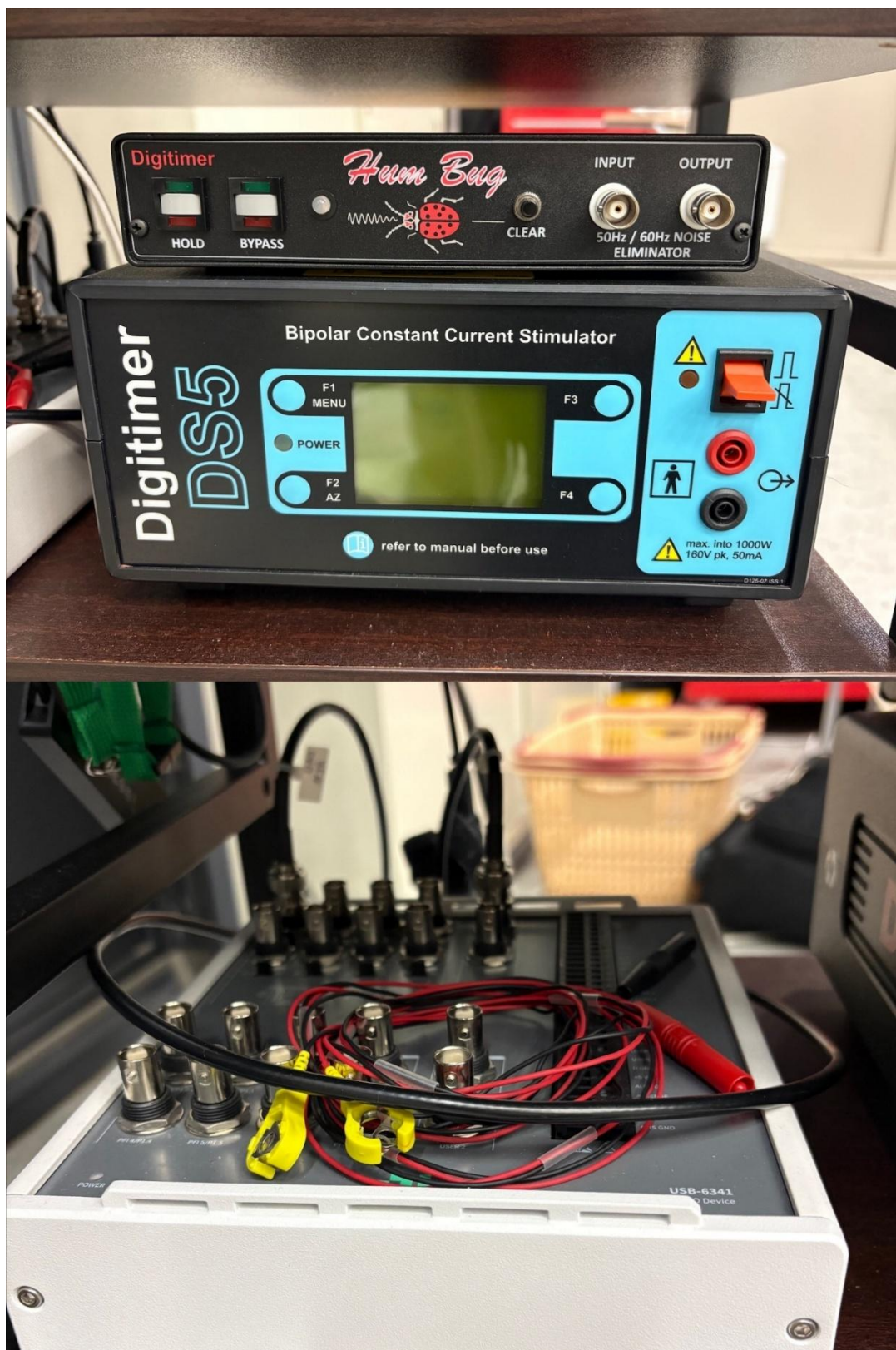


図 1) 上から定電流・双極刺激装置、生体信号の制御装置





図 2) 体温計、EMG

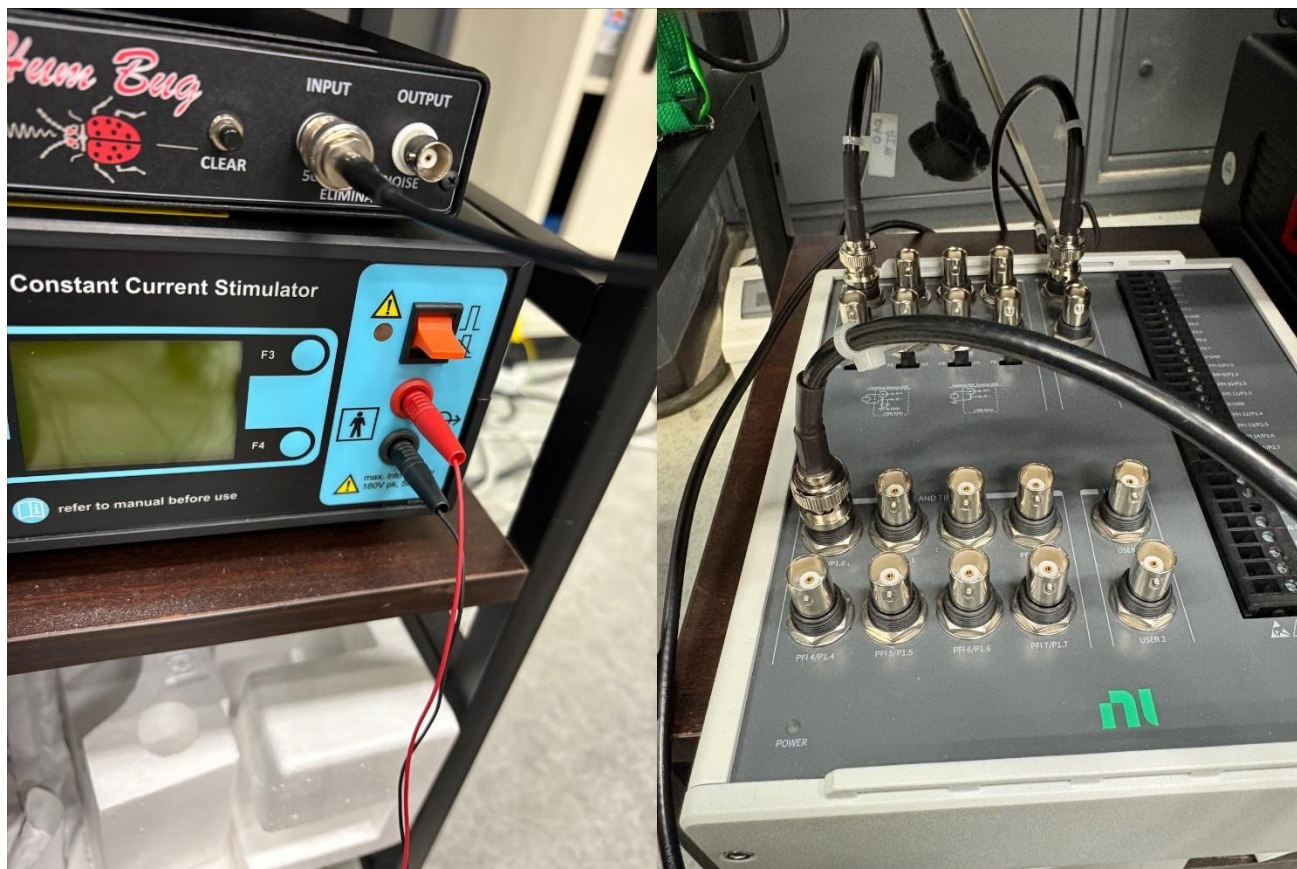


図 3) 測定時コード類の接続



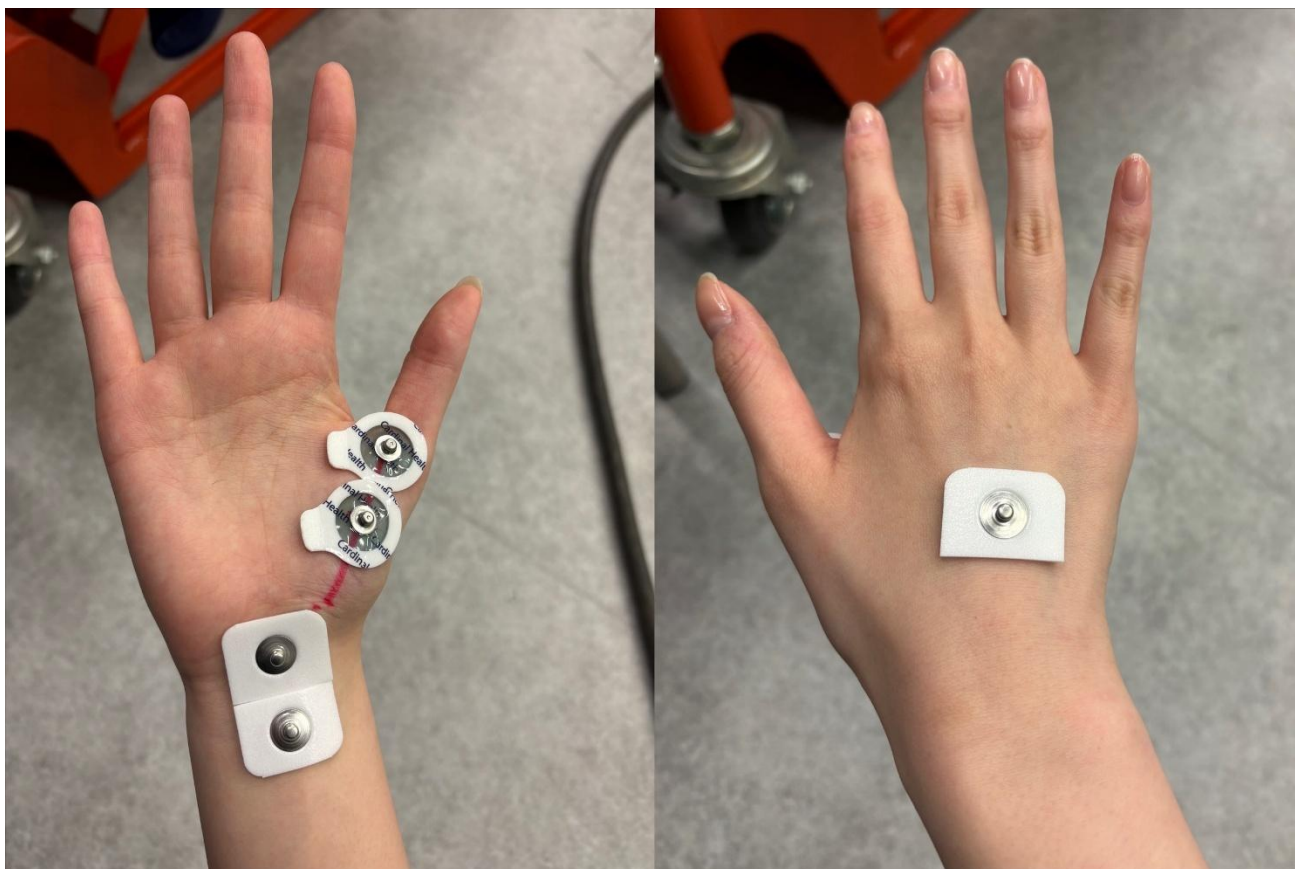


図 4) 電極貼付位置



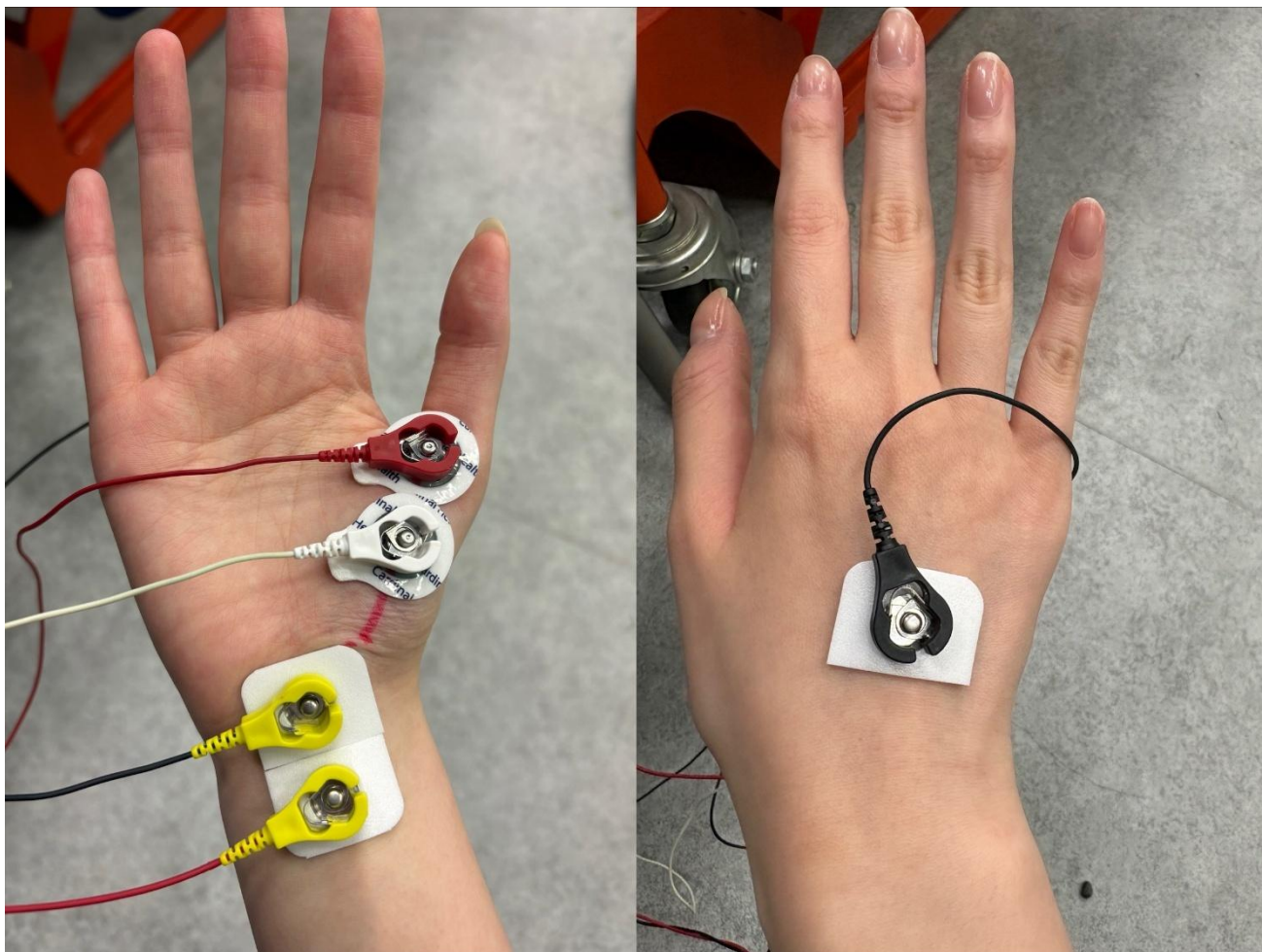


図 5) 測定準備イメージ

測定姿勢は図 6 で示す 3 つの条件で行った。

A：手掌を回外した姿勢

B：手掌を回内した姿勢

C：手掌を回外し、3kg の重りを乗せた姿勢

重りは 1.5kg の平たいものを 2 つ、測定部位を全体的に覆うように乗せた。予備実験として、姿勢 C の重りに適切な重りの重さを検討した。3 kg の他に 1kg、2kg、4kg の重りを試したが、親指の把持力がおよそ 10 kg であることを踏まえ、手への負担を最小限に抑えつつ末端の動きを抑制できる最小負荷を検討した結果、3kg が妥当であると判断した。測定前には皮膚温を可能な限り 32℃ に近づけるよう調整し、手指の消毒を行った。また、測定姿勢は座位とし、逆の手は脱力した状態で膝の上にのせていた。(図 7) 測定対象の手は台に乗せ、肘との角度が出来るだけ直角になるように座席位置を調整した。それぞれの姿勢を 3 回ずつ別日で測定を行ったほか、各姿勢を同日に 1 回ずつ測定する条件を 6 回、測定順序を変えて行い、計 9 回実施した。測定は各条件につき 1 分程度の休息時間を取り 3 回行った。

得られたデータをもとに、全体平均、日内平均、日内変動係数および日間変動係数を算出した。統計解析には SPSS の Friedman の順位付けによる変数の双方向分析(ノンパラメトリック検定)を使用し、測定姿勢ごとの平均値に有意差が認められるかを検討した。有意水準は 0.05 に設定した。

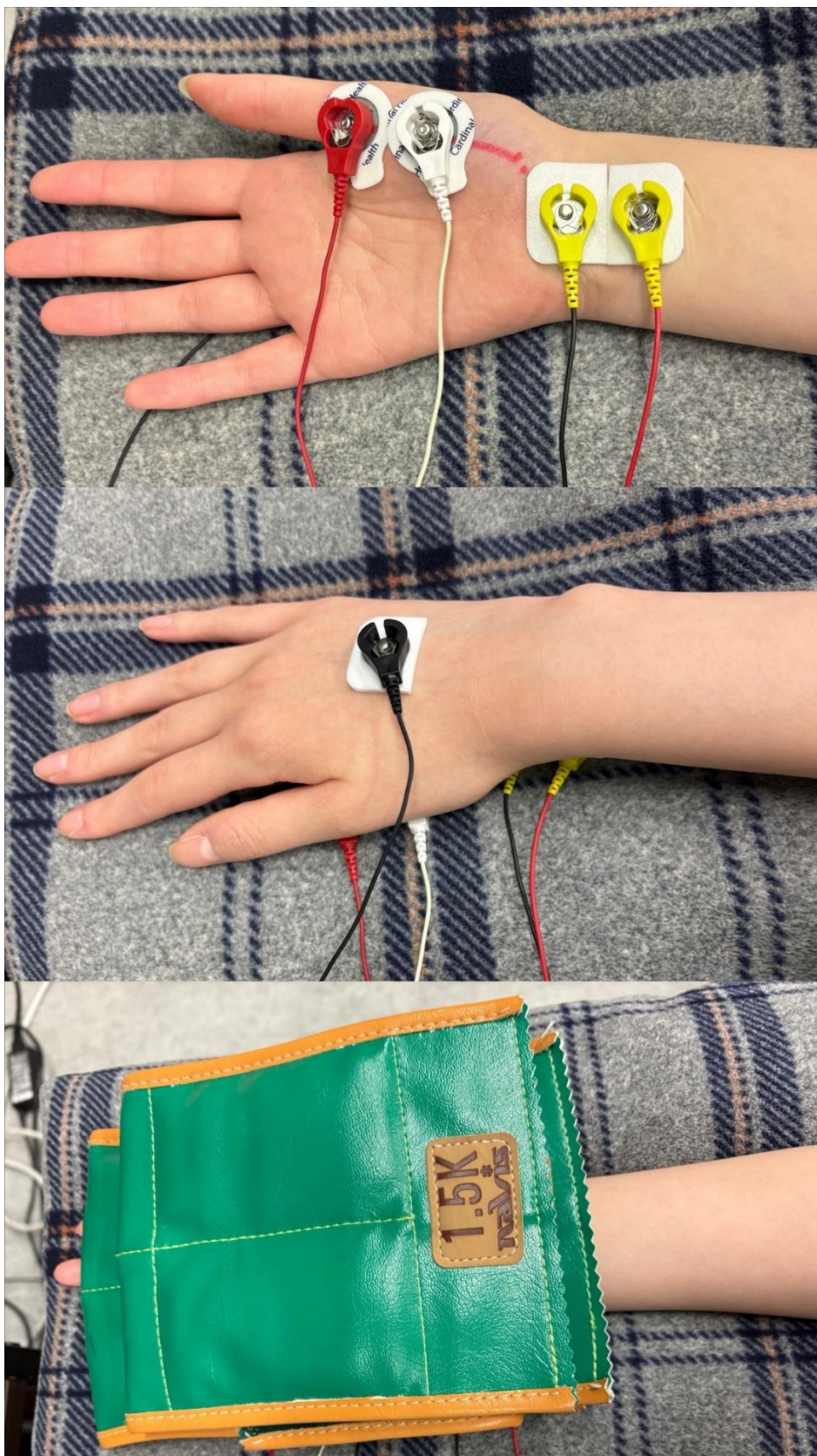


図 6) 測定姿勢 ABC





図 7) 座位での測定イメージ

## 結果

3つの測定姿勢における運動単位数の日内・全体平均は図1の通りになった。また3つの姿勢の全体平均について、Friedmanの順位付けによるノンパラメトリック検定の結果、有意確率は0.147であり、3姿勢間に統計的に有意な変化は認められなかった。

日内変動係数は、図2で示す通り、姿勢Cが最も小さい値を示した。しかし、日間変動係数は、姿勢Cが日によるばらつきが大きい結果となった。日内・日間変動係数を見ると、姿勢Bが最も安定した測定姿勢であることが示された。

## 考察

本研究では、Qtracを用いた閾値電気緊張法における短母指外転筋の運動単位数について、より安定した値を得られる測定姿勢について検討した。その結果、1) 3つの測定姿勢で得られた全体平均に有意差はなかったこと、2) 日内、日間の変動係数を合計で見ると、手掌を回内する姿勢Bが最も小さかったこと、が明らかになった。これらの結果は仮説を支持したが、検討が必要な結果も得られた。

測定姿勢により得られる運動単位数について、実験の結果から、3つの測定姿勢について、統計処理をもとに有意差はなかったことが分かった。日内平均についても得られた値は誤差の範囲内であると考察する(Jacobsen et al、2018)。Dimitrova and Dimitrov (2003)より、誘発筋電図によって得られる信号は、随意収縮とは異なり、不随意的に活性化された運動単位の応答を反映するものである。そのため、測定姿勢の変化があつたとしても、神経-筋接合部や運動ニューロン数そのものが変化するわけではなく、同一個体内における運動単位数の推定値は大きく変動しないと考えられる。本論文では同時に、筋電

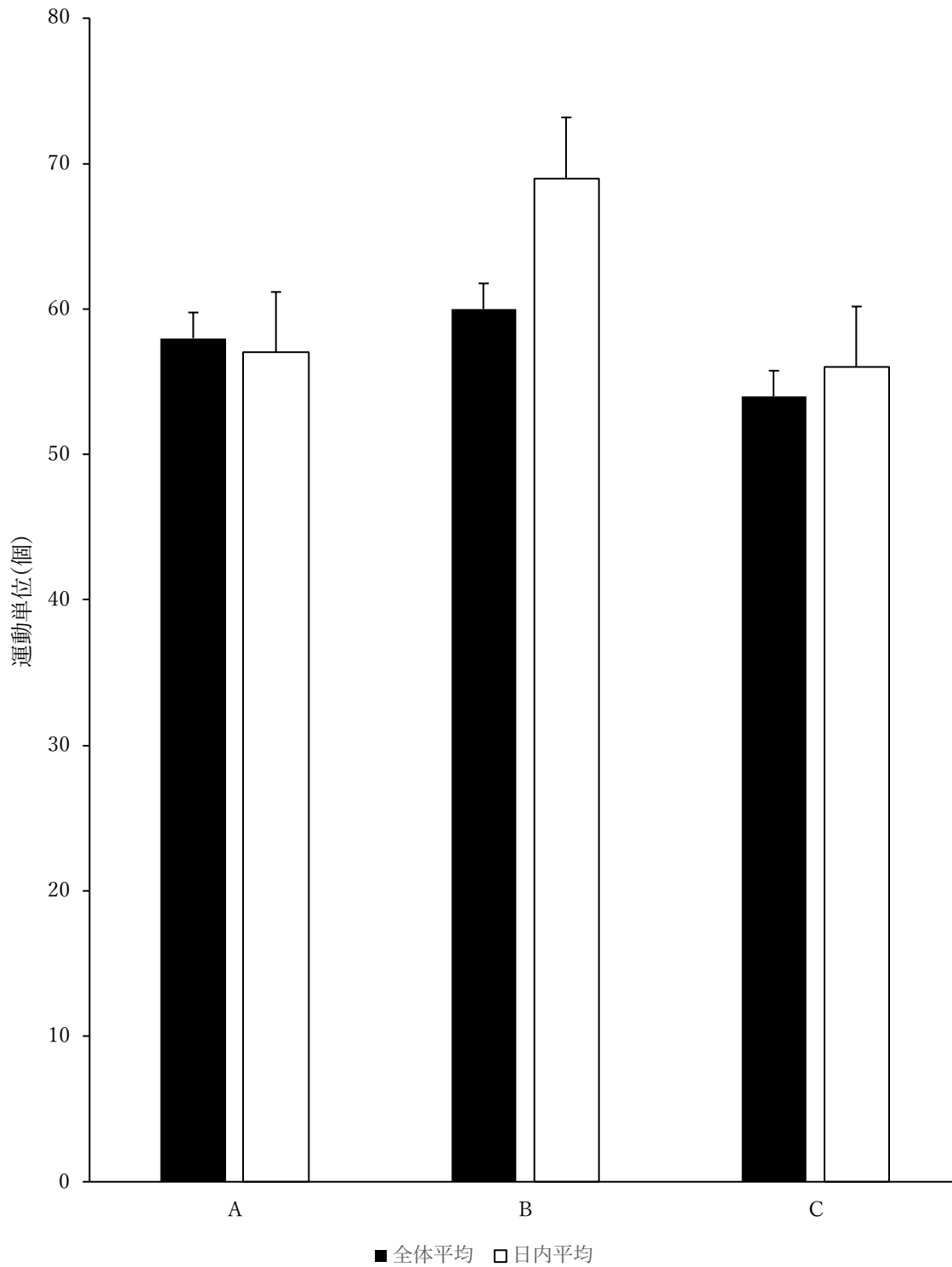


図 1) A : 手掌を回外、B : 手掌を回内、C : 手掌を回外し、3kg の重りを乗せた姿勢

3 つの測定姿勢を 3 回連続で測定した際の運動単位数の日内平均、測定 9 回の全体平均 (個)

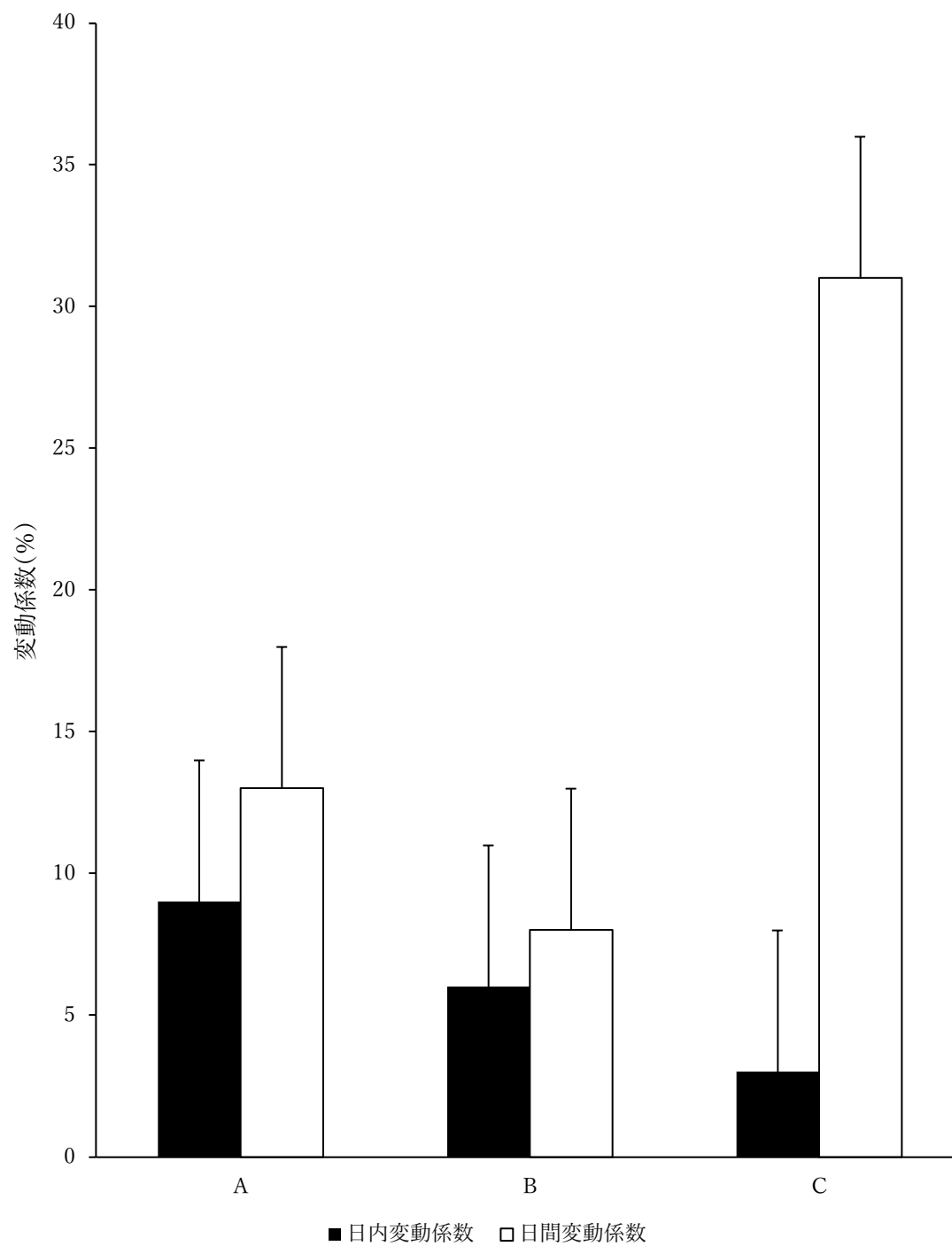


図 2) A：手掌を回外、B：手掌を回内、C：手掌を回外し、3kg の重りを乗せた姿勢

3 つの測定姿勢を 3 回連続で測定した際の運動単位数の日内変動係数、別日で測定した 6 回の日間  
変動係数

位の振幅や波形の変化が必ずしも活性化された運動単位数と比例関係にないことが報告されている。手掌を回内した姿勢では、手指および測定部位が接地面によって自然に支持されるため、電気刺激によって生じる末端の不要な動きや筋の変形が抑制されやすい。このような末端部の安定は、刺激由来の機械的ノイズの低減につながり、結果として筋電図波形のばらつきを小さくした可能性がある。Gazzoni et al (2017)では、測定部位の固定や安定性が筋電図測定の信頼性向上に重要であることが指摘されており、本研究の結果は先行研究を支持する。これらを踏まえると、本研究において測定姿勢の違いが運動単位数の平均値に有意な影響を与えなかったことは、理論的にも妥当な結果であると考えられる。

さらに、本研究で対象とした短母指外転筋は比較的小さく、浅層に位置する筋である。そのため、測定電極と筋との位置関係が比較的一定に保たれやすく、姿勢変化による電極 - 筋間距離の変動や、隣接筋からの影響を受けにくかった可能性も考えられる。この点も、測定姿勢による平均値の差が小さかった要因の1つであると推察される。

測定姿勢ごとに得られた日内、日間変動係数から、手掌を回内した測定姿勢が3つの中で最も再現性の高い測定姿勢であることが示唆された。変動係数を比較することで、より測定値がぶれない姿勢について検討することが可能である。手掌を回内した姿勢では、手の自重によって末端部の動きが自然に制限され、電極や筋の不要な動きが抑えられたことで、ノイズの低減につながった可能性が考えられる。

また、重りを乗せる測定姿勢について、日内変動係数は3.0と最も小さい割合を示したが、日間変動係数は31.0で最も大きい結果になった。重りを乗せるという操作は、確かに手指の動きを物理的に制限する効果があるが、その一方で、重りの接触位置や圧のかかり方が測定日ごとに微妙に異なる可能性がある。また、被験者の姿勢や緊張の程度、測定中のわずかな動きによって、筋への負荷状態や電極への影響



が変化しやすい。これらの要因により筋電の入り具合を変えてしまうような大きな変化をもたらしてしまっただけで、日間変動係数の増大につながったと考えられる。

したがって、重りを用いた測定姿勢は、条件統制が難しく、長期的な再現性を確保するという点では適切な測定姿勢とは言い難い。

Qtrac を用いた筋電図測定における短母指外転筋の運動単位の数について、より安定した値を得られる測定姿勢は手掌を回内した測定姿勢である。測定姿勢によって、同一個体内の運動単位数は手掌を回内、回外、重りを乗せる測定姿勢の順に高い値を取ることが出来る。筋電図を用いた短母指外転筋の運動単位数の測定において、より安定した値を得られやすい測定姿勢が明らかになったことで、運動神経に関する研究に寄与する。

本研究には、いくつかの限界が存在する。第 1 に、測定手順に伴う繰り返しの影響を十分に考慮できていない点が挙げられる。本研究では、各測定姿勢について連続して 3 回の測定を行っているが、このような連続測定により、皮膚温の上昇や局所的な血流変化が生じた可能性がある。皮膚温は誘発筋電図の測定値に影響を及ぼすことが知られており、測定中の温度変化が運動単位数の推定に影響した可能性を否定できない。また、室温の微細な変動についても完全に統制することは困難であった。さらに、連続した測定によって対象筋に軽度の筋疲労が生じ、それを筋力レベルの変化として誤認識していた可能性も考えられる。Dimitrova and Dimitrov (2003) より、誘発筋電図では随意的収縮を伴わないものの、繰り返される電気刺激が筋の興奮性に影響を与え、測定値のばらつきに影響した可能性がある。この点については、本研究の結果解釈において留意すべき点である。

第 2 に、測定対象とした筋および対象者の限定性が挙げられる。本研究では、比較的小さく浅層に位置

する短母指外転筋を対象としており、神経系への影響が比較的少ない条件で測定を行った。しかし、Rodriguez-Falces & Place, (2018) は、より大きな筋肉や深層筋を対象とした場合、神経刺激の伝導や周囲組織の影響など、考慮すべき要因が増加することが指摘されている。そのため、本研究で得られた測定姿勢の有用性が、他の筋群にそのまま適用できるとは限らない。また、本研究は単一被験者を対象とした検討であり、年齢、性別、身体特性、運動習慣などの個人差を十分に反映できていない点も限界である。測定姿勢による再現性の違いが、他の被験者においても同様に認められるかについては、今後さらなる検討が必要である。

以上の点から、本研究の結果は、Qtrac を用いた筋電図測定における測定姿勢の重要性を示す基礎的知見として位置づけられる一方で、その適用範囲には慎重な解釈が求められる。

## 結論

本研究では、Qtrac を用いた筋電図測定において、短母指外転の筋の運動単位数をより安定して測定できる姿勢について検討した。その結果、手掌を回内した測定姿勢が、日内および日間変動係数の観点から最も安定した測定姿勢であることが明らかとなった。測定姿勢を適切に選択することで、筋電図測定の再現性を向上させることが可能となり、本研究の知見は、今後の筋疲労や運動神経機能に関する研究に貢献するものと考えられる。

## 謝辞

本論文の執筆にあたり、渡邊航平ゼミにおいて得た沢山の学びと経験に、心より感謝申し上げます。渡

邊先生からのご指導を通して、研究に向き合う姿勢や思考を学ぶことができ、本研究を進める上で大切な支えとなりました。また、研究室の皆様には、日頃より多くのご助言やご意見を頂き、深く感謝しております。研究室という恵まれた環境の中で学ぶことができたことが私の大きな財産となりました。

## 参考文献

- Besomi, M., Hodges, P. W., Van Dieën, J., Carson, R. G., Clancy, E. A., Disselhorst-Klug, C., Holobar, A., Hug, F., Kiernan, M. C., Lowery, M., McGill, K., Merletti, R., Perreault, E., Søgaard, K., Tucker, K., Besier, T., Enoka, R. M., Falla, D., Farina, D., Gandevia, S., & Wrigley, T. (2019). Consensus for experimental design in electromyography (CEDE) project: Electrode selection matrix. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 48, 128-144. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.07.008>
- Bostock, H., Cikurel, K., & Burke, D. (1998). Threshold tracking techniques in the study of human peripheral nerve. *Muscle & Nerve*, 21(2), 137-158. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4598\(199802\)21:2<137::AID-MUS1>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4598(199802)21:2<137::AID-MUS1>3.0.CO;2-C)
- Dimitrova, N. A., & Dimitrov, G. V. (2003). Interpretation of EMG changes with fatigue: Facts, pitfalls, and fallacies. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 13-36. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(02\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(02)00083-4)
- Gazzoni, M., Botter, A., & Vieira, T. (2017). Surface EMG and muscle fatigue: Multi-channel approaches to the study of myoelectric manifestations of muscle fatigue. *Physiological*

*Measurement*, 38(5), R27-R60. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aa60b9>

Jacobsen, A. B., Bostock, H., & Tankisi, H. (2018). CMAP scan MUNE (MScan): A novel motor unit number estimation (MUNE) method. *Journal of Visualized Experiments*, (136), e57459. <https://doi.org/10.3791/57459>

Larsson, L., Degens, H., Li, M., Salviati, L., Lee, Y. I., Thompson, W., Kirkland, J. L., & Sandri, M. (2019). Sarcopenia: Aging-related loss of muscle mass and function. *Physiological Reviews*, 99(1), 427-511. <https://doi.org/10.1152/physrev.00061.2017>

Merletti, R., & Muceli, S. (2019). Tutorial. Surface EMG detection in space and time: Best practices. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 49, 102363. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2019.102363>

Rodriguez-Falces, J., & Place, N. (2018). Determinants, analysis and interpretation of the muscle compound action potential (M wave) in humans: Implications for the study of muscle fatigue. *European Journal of Applied Physiology*, 118, 501-521.

Ye, S., Lim, J. Y., & Huang, W. (2022). Statistical considerations for repeatability and reproducibility of quantitative imaging biomarkers. *BJR Open*, 4, 20210083. <https://doi.org/10.1259/bjro.20210083>

厚生労働省健康・生活衛生局健康課. (2024). 健康寿命の令和4年値について（第4回健康日本21（第三次）推進専門委員会資料）. 厚生労働省. <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/001363069.pdf>

厚生労働省. (2006). 少子高齢社会等調査検討事業報告書（健康意識調査編）[PDF]. 厚生労働省.

<https://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-12601000-Seisakutoukatsukan->

[Sanjikanshitsu\\_Shakaihoshoutantou/002.pdf](#)

家庭用神経筋電気刺激を用いた  
高齢者の筋力トレーニングにおける筋長条件の影響

J522088

服部明日風

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：高齢者における筋力トレーニングの実施率は低く、時間不足や運動施設の不足が阻害要因となっている。近年、家庭用の神経筋電気刺激（NMES）機器は、自宅で簡便に筋収縮を誘発できる手段として注目されている。しかし、家庭用 NMES の出力は医療用に比べて小さく、筋肥大や筋力向上に十分な効果が得られるかは明らかでない。また、筋肉がより長い筋長でトレーニングされると筋肥大効果が高まることや、等尺性条件下では筋長に関わらず筋力向上が得られることが報告されており、これらの条件を工夫することで家庭用 NMES の効果を高められる可能性がある。本研究では、家庭用 NMES を用いたトレーニングにおける筋長条件の影響を検討した。方法：対象は医師から運動禁止を受けていない高齢者 46 名であり、座位姿勢群と立位姿勢群の 2 群に割り当てた。介入は 1 日 15 分、週 6 日、6 週間にわたる自宅での NMES トレーニングとした。測定項目は筋厚、等尺性足趾屈曲筋力、等尺性足関節底屈筋力、筋肉量、相対筋長とし、超音波画像診断装置や体組成計、筋力測定器を用いて評価した。統計解析にはノンパラメトリック手法を用い、介入前後の群内比較には Friedman 検定、群間比較には Mann-Whitney-U 検定を用いた。結果：筋厚および筋肉量には、座位群、立位群ともに有意な変化は認められず、群間差もなかった。一方、等尺性足趾屈曲筋力および等尺性足関節底屈筋力は両群で有意に向上したが、筋長条件による群間差は認められなかった。これにより、短期間の家庭用 NMES トレーニングでは筋肥大は得られないものの、筋長に関係なく筋力向上は可能であることが示された。結論：家庭用 NMES 機器を用いた 6 週間の神経筋電気刺激トレーニングは、高齢者において筋力向上に有効であることが明らかとなった。しかし、筋肥大を目的とする場合には、介入期間の延長や筋長条件の工夫が必要であることが示唆された。本研究の結果は、自宅での高齢者向け運動介入の有用性を示すものであり、運動習慣の確立が困難な高齢者にとって実践的かつ社会的意義のある知見である。

## 背景

厚生労働省は、高齢者に対して筋力トレーニングを週 2〜3 日実施することを推奨している（健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023）。しかし、高齢者における筋力トレーニング習慣を有する者の割合は約 17%（34/196 名）と低いことが報告されている（Takeda et al 2024）。高齢者が筋力トレーニングへの参加を妨げる要因として、時間不足や運動施設の不足が挙げられている（Burton et al 2017）。一方、リハビリテーション領域では、筋力トレーニングの代替手段として神経筋電気刺激（NeuroMuscular Electrical Stimulation: NMES）が用いられている。NMES 市場は 2024 年に 12 億米ドルと推定され、2026〜2033 年にかけて年平均成長率 9.2%で成長し、2033 年には 25 億米ドルに達すると予測されている（Verified Market Reports 2025）。NMES をトレーニングとして介入することで、筋肥大および筋力増大効果が得られることが示されている（Maffiuletti 2010）。しかし、家庭用 NMES 機器は最大出力が約 4.85 mA であるのに対し、医療用 NMES 機器は 60〜100 mA と大きな出力差が存在する（Watanabe et al 2017）。そのため、家庭用 NMES 機器では十分なトレーニング効果が得られにくい可能性がある。近年、筋力トレーニングは実施条件を工夫することで、その効果を高められることが報告されている。特に、筋肉がより長い筋長でトレーニングを行うことで、筋肥大効果が増大することが示されている（Oranchuk et al 2019）。また、等尺性トレーニングでは、トレーニング強度や筋長に関わらず、最大筋力発揮が大幅に改善することが報告されている（Oranchuk et al 2019）。以上より、高齢者において、出力の小さい家庭用 NMES 機器であっても、筋長などの条件を工夫することで、自宅において簡単に筋肥大および筋力増大効果を得ることが可能ではないかと考えた。

本研究の目的は、家庭用 NMES 機器を用いた神経筋電気刺激トレーニングにおいて、より長い筋長で介



入した場合に、筋肥大および最大筋力発揮がより大きく改善するかを検討することである。仮説として、より長い筋長で神経筋電気刺激をトレーニングとして介入した方が、筋肥大が促進され、筋長に関わらず筋力増大効果が得られると立てた。

## 方法

### 研究対象者

医師から運動を禁止されていない高齢者 46 名（男性 22 名、女性 24 名、年齢  $72.7 \pm 4.8$  歳、身長  $159.4 \pm 8.3$  cm、体重  $57.8 \pm 10.6$  kg）が本研究に参加した。研究対象者には、研究の目的および参加に伴うリスクについて事前に十分な説明を行い、同意を得た上で実験を実施した。

### 実験デザイン

研究対象者は、合計 4 回、実験室（中京大学豊田キャンパス 17 号館 1 階スポーツ工学実験室）を訪問した。1 回目の訪問（PREPRE）では、生体電気インピーダンス法（BIA 法）を用いた体組成測定、超音波画像診断装置による筋厚測定、足指筋力測定器Ⅱを用いた片脚での等尺性足趾屈曲筋力の最大随意収縮（MVC）測定、ならびに研究室自作装置を用いた片脚での等尺性足関節底屈筋力 MVC 測定を行った。PREPRE 終了後、研究対象者を電気刺激装置を使用する座位姿勢群（ $n=23$ ）および立位姿勢群（ $n=23$ ）の 2 群に割り付けた。PREPRE 訪問の 3 週間後に行った 2 回目の訪問（PRE）では、体組成測定を除き、1 回目訪問と同様の測定を実施した。さらに、自宅で実施する神経筋電気刺激トレーニングの体験を行った後、MVC 測定を再度実施した。PRE 訪問の 3 週間後に行った 3 回目の訪問（INTER）では、2 回

目訪問と同様の測定を行った。PRE 訪問の 6 週間後に行った 4 回目の訪問 (POST) では、1 回目訪問と同様の測定を行った。

#### 神経筋電気刺激トレーニング介入

2 回目訪問 (PRE) 以降、電気刺激装置 (Sixpad Foot Fit 3 MTG) を用いて、1 日 1 回 15 分のトレーニング・プログラムによる神経筋電気刺激トレーニングを、週 6 日、6 週間実施した。刺激強度は、座位姿勢で電気刺激装置を使用し、下腿三頭筋の収縮により足関節が底屈位へ動く強度まで上げ、痛みを感じない範囲で可能な限り強く設定した。設定した強度に慣れた研究対象者には、無理のない範囲で刺激強度を漸増させた。座位姿勢群では、下腿三頭筋を弛緩させた状態で実施した。壁に発泡スチロールブロック (18 cm × 36 cm × 8.5 cm) を固定し、その上に電気刺激装置を傾けて設置した。研究対象者は膝を軽度伸展位とし、足関節が底屈位となるよう固定した状態で実施した (図 1)。立位姿勢群では、下腿三頭筋を伸張させた状態で実施した。壁に発泡スチロールブロックを固定し、その上に電気刺激装置を傾けて設置した。研究対象者は壁でバランスを保持しながら装置上に立ち、足関節が背屈位となるよう固定した状態で実施した (図 2)。なお、両群ともにすべての研究対象者が神経筋電気刺激トレーニング介入を完遂した。

#### 測定項目

##### 筋厚

研究対象者を壁に向かって立たせ、バランスを保持させた。右腓腹筋内側頭において、下腿の最も厚く外側に突出する部位を測定部位としてマーキングし (図 3)、超音波画像診断装置 (LOGIQ e GE Medical Systems (China) Co. Ltd.) を用いて筋厚を測定した (図 4)。測定位置は、膝内側顆からアキ

レス腱中央までの距離を記録し、次回以降の測定時に同一部位を再現できるようにした。撮影した画像は ImageJ を用いて解析した。腓腹筋とヒラメ筋の複合部における垂直距離を測定し、画像内に写ったキャリブレーションマーカの長さを基準にスケールを設定し、ピクセル単位の距離を実際の長さに換算した。このスケール設定は、すべての画像で統一して適用した。各測定は、同一条件下で撮影した 4 枚の画像から実施し、各画像の測定値の平均を算出した（図 5）。

#### 等尺性足趾屈曲筋力

研究対象者を股関節および膝関節がそれぞれ  $90^{\circ}$  となる座位姿勢とした。姿勢を正し、腕は体側に自然に下垂させた。足指筋力測定器 II（竹井機器工業株式会社 新潟 日本）を用い、足の大きさに合わせてメモリを調節し、ベルトで固定した。メモリ位置を記録し、次回測定時にも同一条件で測定できるようにした。測定前に、30～100%MVC の範囲で 5 秒間のウォーミングアップを行い、その後 MVC を 2～3 回測定した（図 6）。

#### 等尺性足関節底屈筋力

研究対象者を股関節および膝関節が  $90^{\circ}$  となる座位姿勢とした。研究室自作装置（Watanabe and Kunugi 2022）のねじにより高さを調節し、姿勢を正した状態で前方のバーを把持させた。測定脚が装置中央に位置していることを確認した後、30～100%MVC の範囲で 5 秒間のウォーミングアップを行い、MVC を 2～3 回測定した（図 7）。

#### 筋肉量

体重および骨格筋量は、InBody 380N（InBody 380N InBody Co. Ltd. Korea）を用いて測定した。研究対象者は、両脚をそれぞれ独立した金属電極上に配置し、立位姿勢を保持するとともに、金属製グリ

ップ電極を把持した。体重測定および四肢と体幹を含む各部位のインピーダンスを測定し、骨格筋量を推定した。

#### 相対筋長

ヒラメ筋、腓腹筋、長趾屈筋、短趾屈筋について、それぞれ最大伸張位および最大短縮位となる姿勢をとらせ、各筋の起始および停止に赤外線反射マーカを貼付して撮影を行った（図 8、9、10、11）。さらに、神経筋電気刺激トレーニングを実施する際の座位姿勢および立位姿勢においても同様に、各筋の起始および停止に赤外線反射マーカを貼付し、撮影を行った（図 12、13）。撮影した画像から ImageJ を用いて筋肉の長さを測定し、神経筋電気刺激トレーニング実施時の座位姿勢および立位姿勢における筋肉の長さが、最大短縮位から最大伸張位までの可動範囲のうち、どの程度伸長しているかを相対筋長として算出した。さらに、先行研究との比較を目的として、膝角度および姿勢条件における相対筋長も算出した。膝角度  $0^{\circ}$  を最大短縮位、正座姿勢を最大伸張位として定義し、先行研究に準じ、SL 群では膝角度  $40^{\circ}$ 、LL 群では膝角度  $87.5^{\circ}$  の姿勢を設定した。各姿勢での筋肉の長さを測定するため、各筋の起始および停止に赤外線反射マーカを貼付し、撮影を行った（図 14、15、16、17）。これらの測定値を用いて、最大短縮位および最大伸張位を基準とした相対筋長を算出した。

#### 統計解析

全てのデータは、平均値±標準偏差で示した。小さなサンプルサイズに基づいたため、ノンパラメトリック検定を用いた。介入前後における筋厚、等尺性足趾屈曲筋力、等尺性足関節底屈筋力および筋肉量の群内比較には Friedman 検定を、2 群間の変化率の比較には Mann-Whitney-U 検定を用いた。全ての統計解析は、SPSS ソフトウェアを利用し、有意水準を 0.05 未満とした。



図1 電気刺激装置座位姿勢



図 2 電気刺激装置立位姿勢



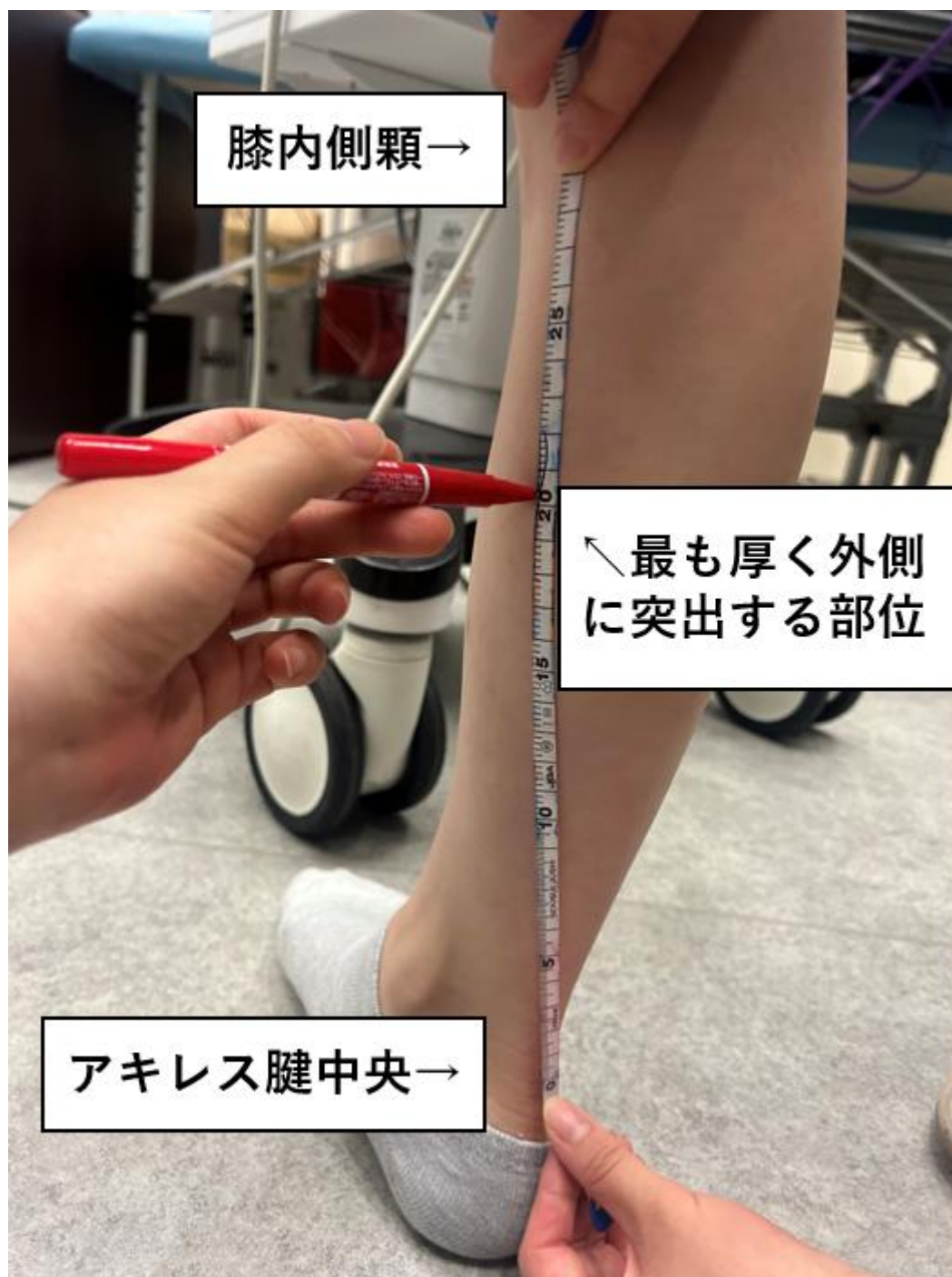


図3 筋厚測定部位



図 4 超音波画像診断



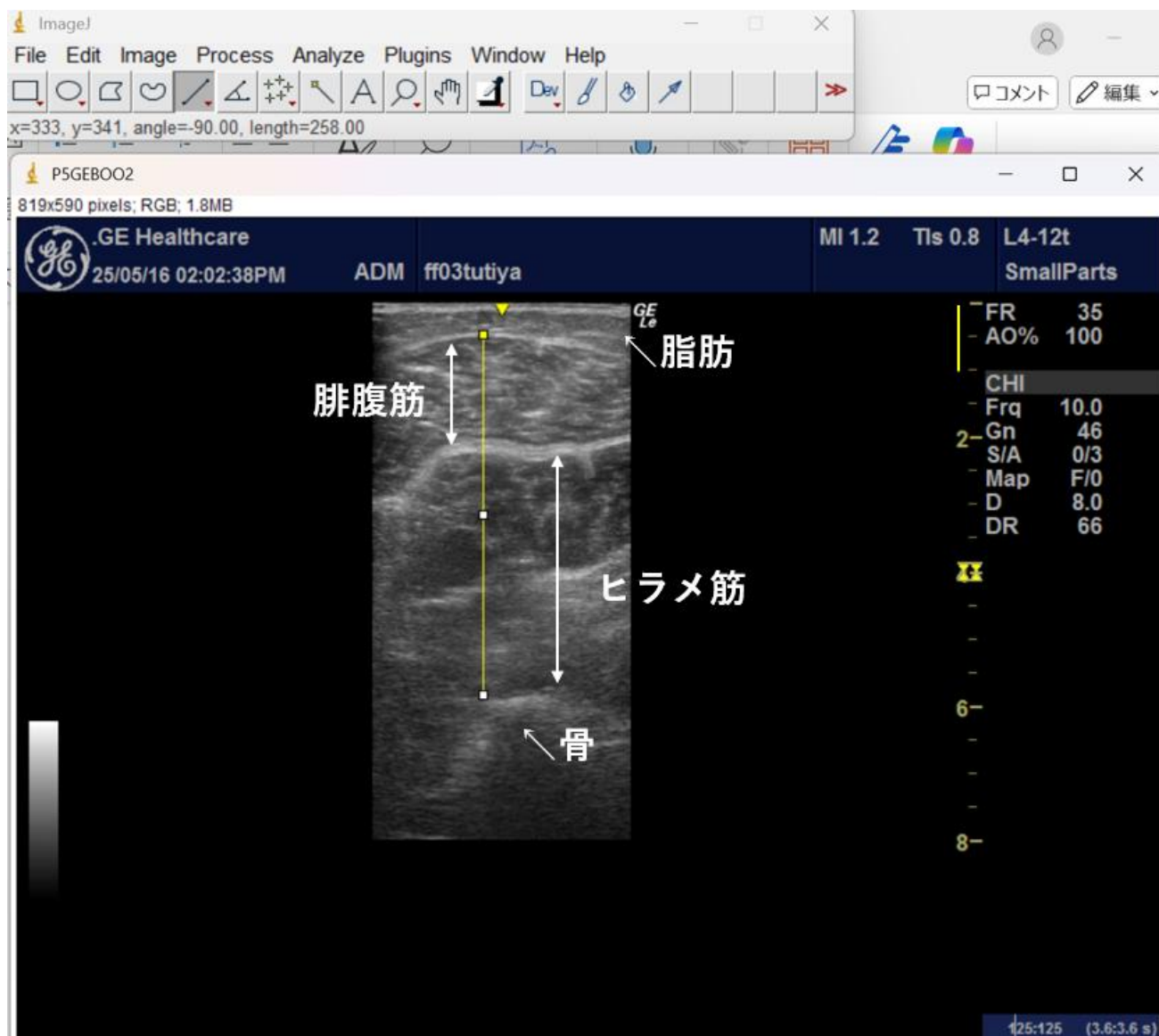


図 5 ImageJ 解析



図6 等尺性足趾屈曲筋力





図 7 等尺性足関節底屈筋力



図 8 ヒラメ筋、腓腹筋最大伸張位



図 9 ヒラメ筋、腓腹筋最大短縮位



図 10 長趾屈筋、短趾屈筋最大短縮位



図 11 長趾屈筋、短趾屈筋最大伸張位





図 12 電気刺激装置座位姿勢





図 13 電気刺激装置立位姿勢



図 14 膝角度最大短縮位



図 15 膝角度最大伸張位



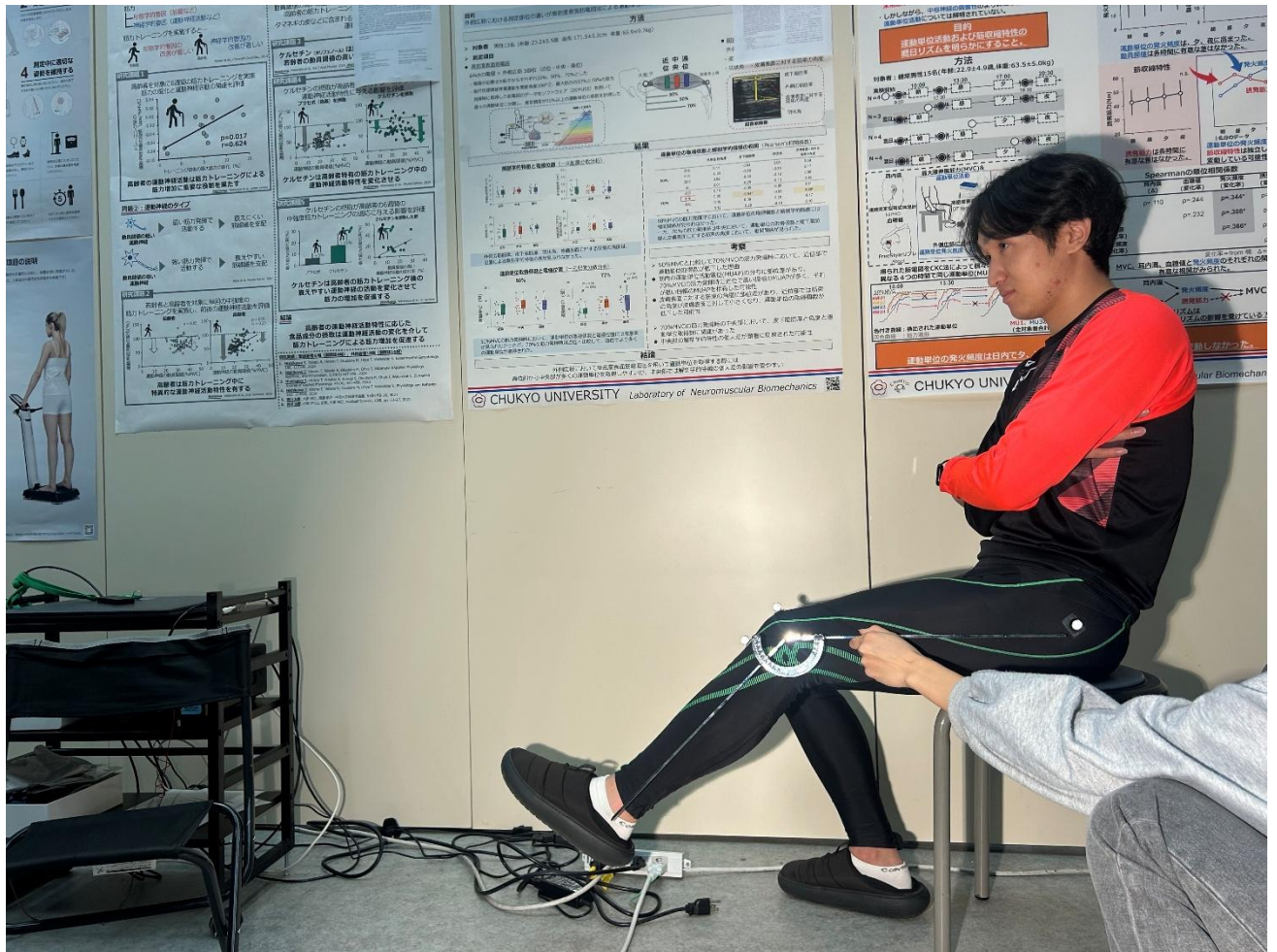


図 16 膝角度 40°

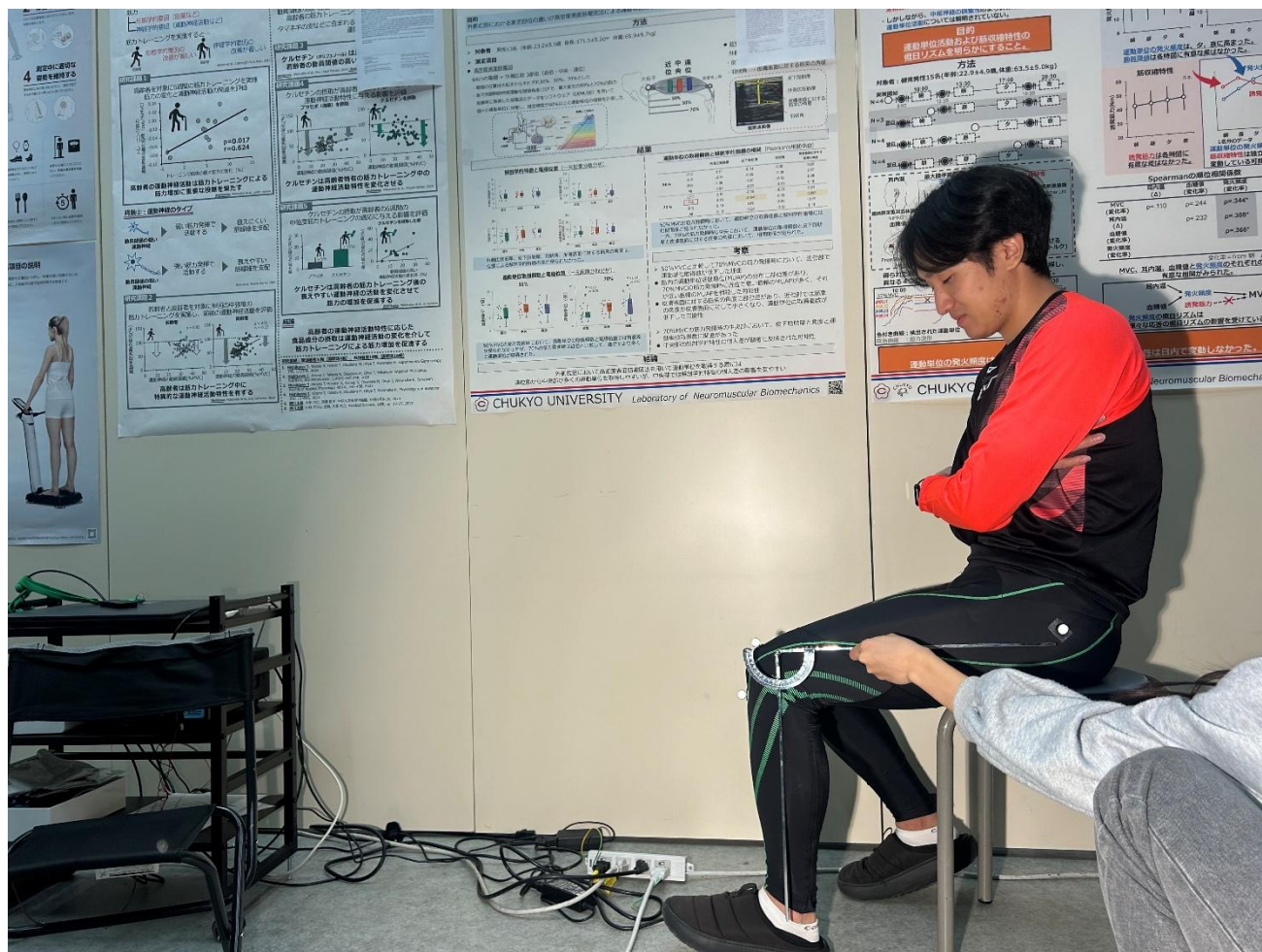


図 17 膝角度 87.5°

## 結果

### 筋厚

座位姿勢（0 週： $5.97 \pm 0.7$ cm、6 週： $6.02 \pm 0.7$ cm、 $p=0.513$ ）（図 18）、立位姿勢（0 週： $6.17 \pm 0.42 \pm 0.4$ 、6 週： $6.13 \pm 0.5$ 、 $p=0.144$ ）（図 19）ともに筋肥大せず、2 群間の変化率に有意な差はなかった（座位姿勢群： $100.0 \pm 6.9\%$ 、立位姿勢群： $99.4 \pm 4.1\%$ 、 $p=0.953$ ）（図 20）。

### 等尺性足趾屈曲筋力

座位姿勢（0 週： $14.95 \pm 4.2$ kg、6 週： $18.64 \pm 4.6$ kg、 $p<0.000$ ）（図 21）、立位姿勢（0 週： $14.79 \pm 5.5$ kg、6 週： $18.50 \pm 5.7$ kg、 $p=0.001$ ）（図 22）ともに筋力は向上したが、2 群間の変化率に有意な差はなかった（座位姿勢群： $128.2 \pm 24.1\%$ 、立位姿勢群： $135.5 \pm 48.2\%$ 、 $p=0.974$ ）（図 23）。

### 等尺性足関節底屈筋力

座位姿勢（0 週： $46.74 \pm 16.4$ kg、6 週： $57.96 \pm 16.6$ kg、 $p=0.002$ ）（図 24）、立位姿勢（0 週： $43.71 \pm 15.3$ kg、6 週： $53.91 \pm 18.5$ kg、 $p=0.022$ ）（図 25）ともに筋力は向上したが、2 群間の変化率に有意な差はなかった（座位姿勢群： $132.0 \pm 34.2\%$ 、立位姿勢群： $145.0 \pm 120.4\%$ 、 $p=0.339$ ）（図 26）。

### 筋肉量

座位姿勢（-3 週： $39.60 \pm 9.2$ kg、6 週： $39.61 \pm 9.3$ kg、 $p=0.67$ ）（図 27）、立位姿勢（-3 週： $39.31 \pm 7.7$ kg、6 週： $39.51 \pm 7.9$ kg、 $p=0.297$ ）（図 28）ともに向上せず、2 群間の変化率に有意な差はなかった（座位姿勢群： $100.1 \pm 2.3\%$ 、立位姿勢群： $100.5 \pm 2.8\%$ 、 $p=0.784$ ）（図 29）。

### 相対筋長

神経筋電気刺激トレーニング実施時の相対筋長は、座位姿勢では、ヒラメ筋が 21.6%、腓腹筋が 34.3%、長趾屈筋が-21.0%、短趾屈筋が-27.5%であった。立位姿勢では、ヒラメ筋が 49.0%、腓腹筋が 57.8%、長趾屈筋が-10.7%、短趾屈筋が-9.1%であった。膝角度条件における相対筋長は、膝角度 40° で 30.0%、膝角度 87.5° で 68.4%であった。

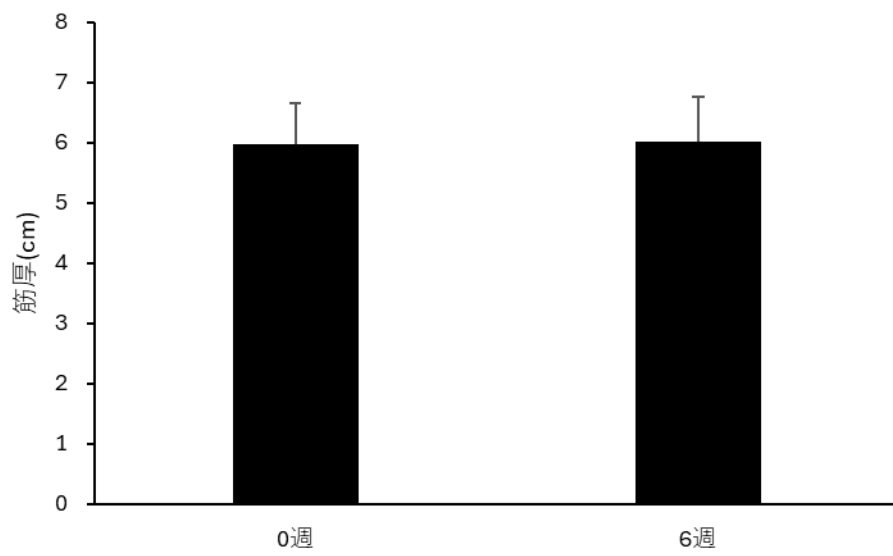


図 18 座位姿勢群の筋厚に関する平均値



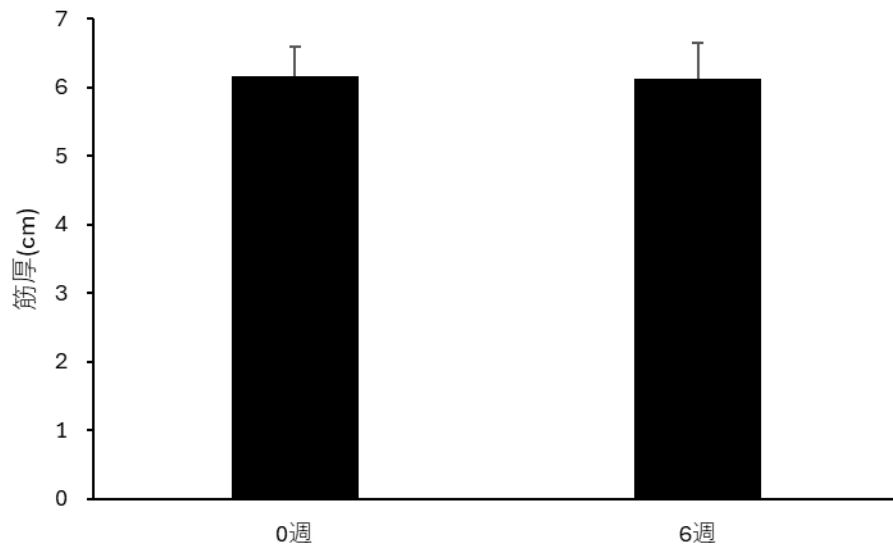


図 19 立位姿勢群の筋厚に関する平均値

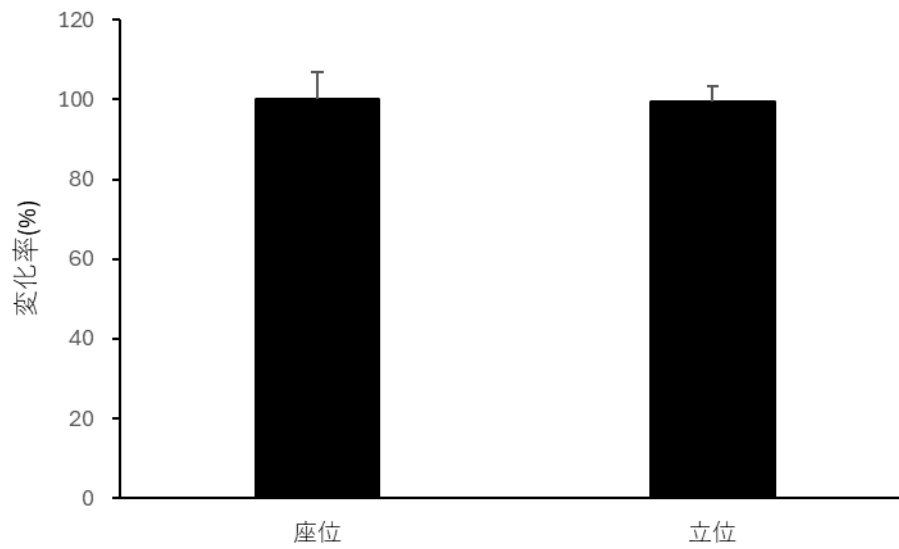


図 20 座位姿勢群と立位姿勢群の筋厚の変化率に関する平均値

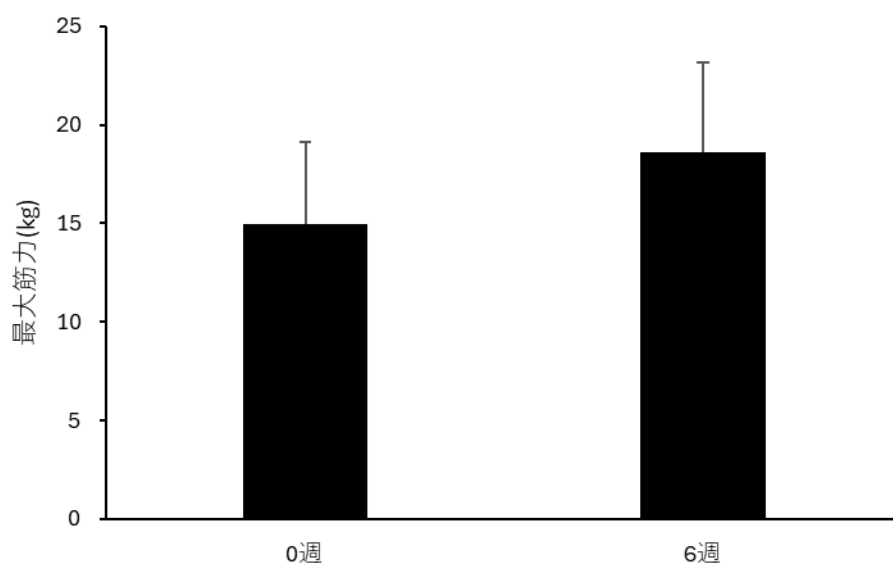


図 21 座位姿勢群の等尺性足趾屈曲筋力に関する平均値

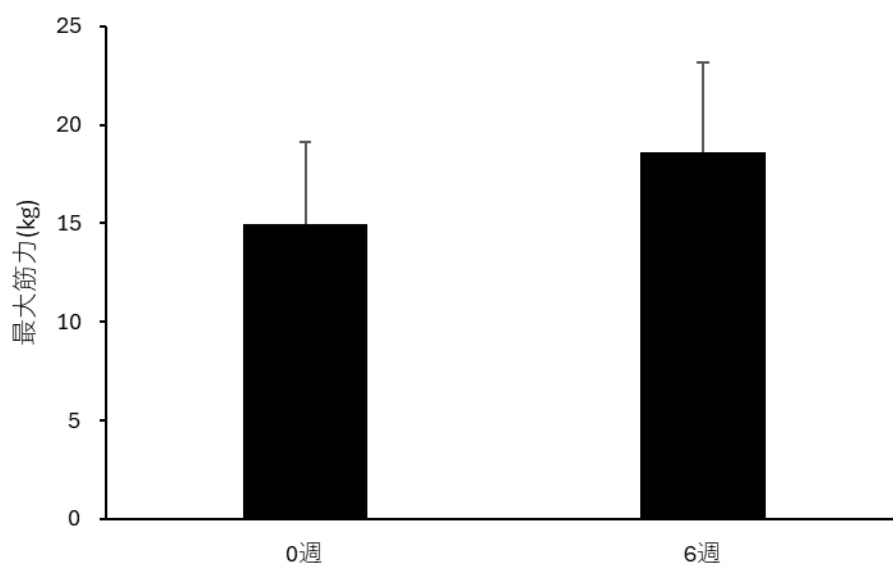


図 22 立位姿勢群の等尺性足趾屈曲筋力に関する平均値

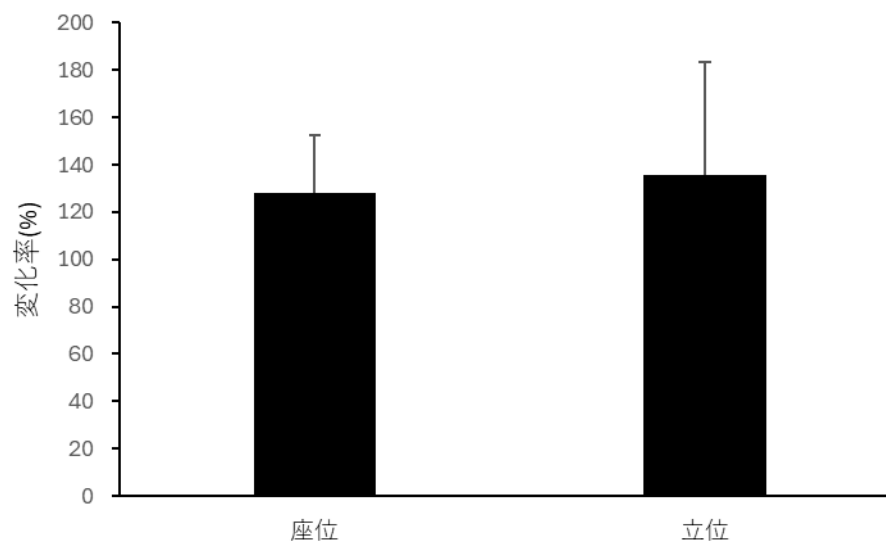


図 23 座位姿勢群と立位姿勢群の等尺性足趾屈曲筋力の変化率に関する平均値

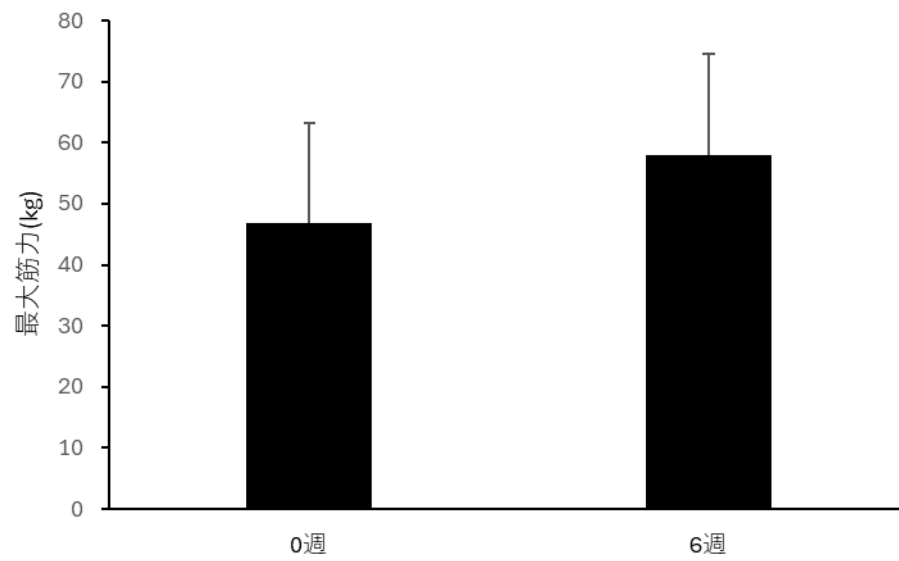


図 24 座位姿勢群の等尺性足関節底屈筋力に関する平均値

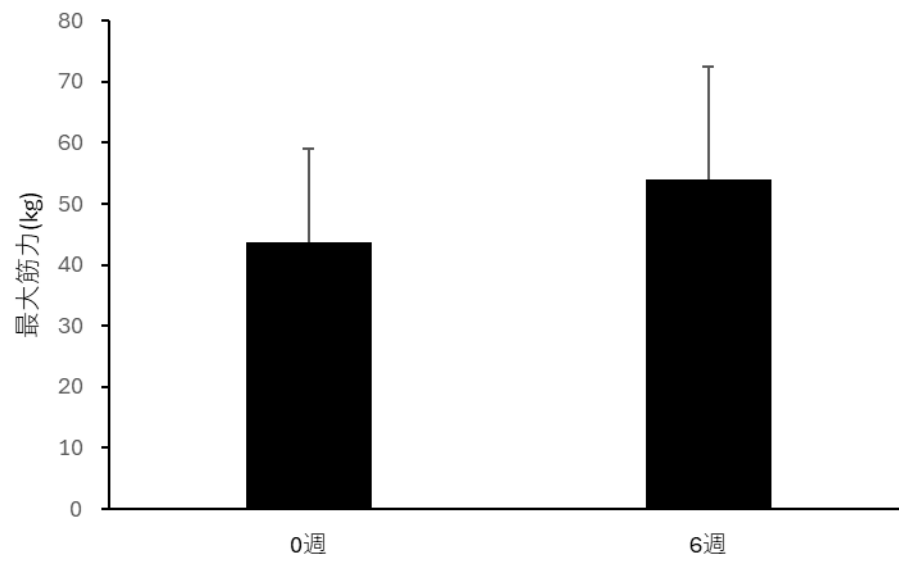


図 25 立位姿勢群の等尺性足関節底屈筋力に関する平均値

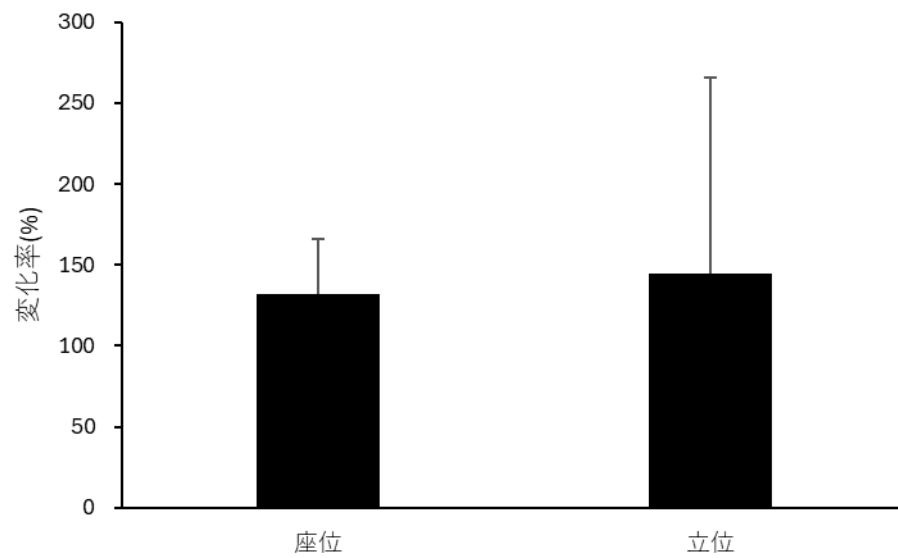


図 26 座位姿勢群と立位姿勢群の等尺性足関節底屈筋力の変化率に関する平均値



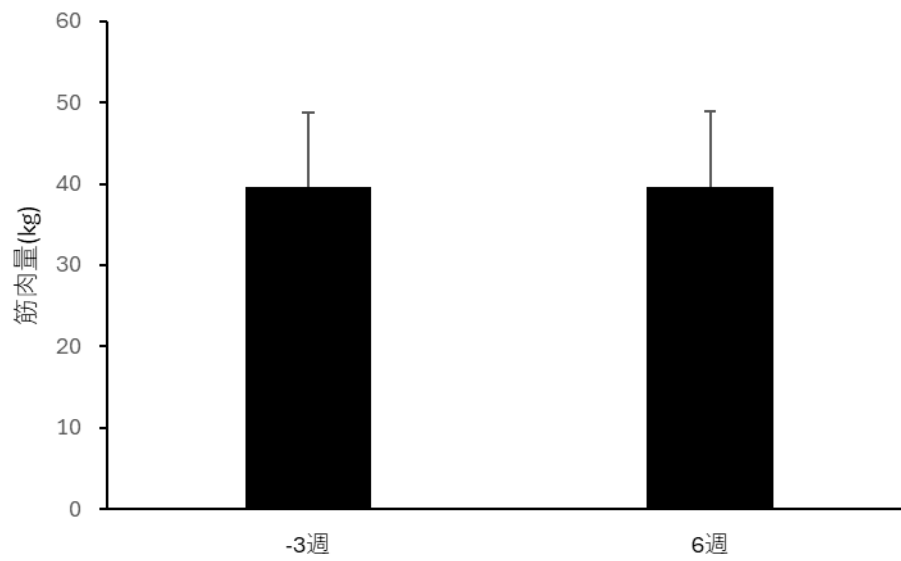


図 27 座位姿勢群の筋肉量に関する平均値

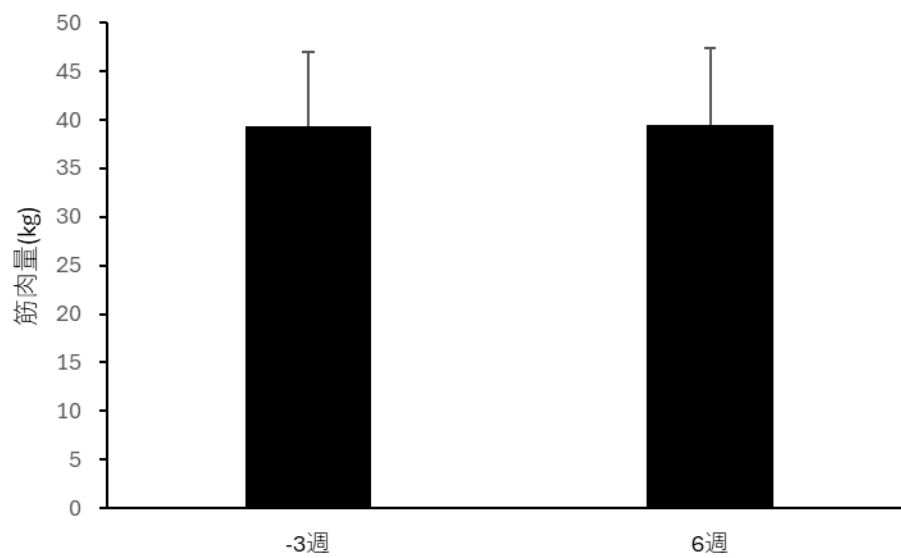


図 28 座位姿勢群の筋肉量に関する平均値

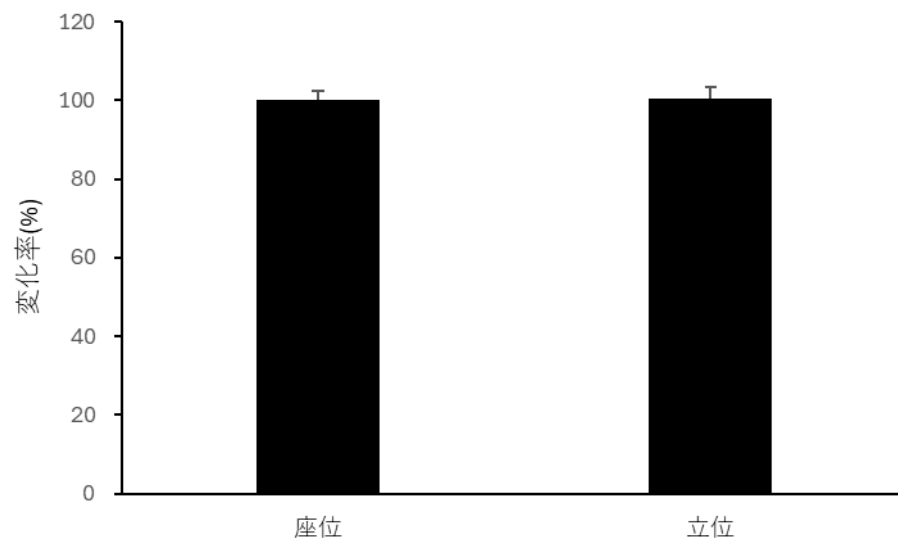


図 29 座位姿勢群と立位姿勢群の筋肉量の変化率に関する平均値

## 考察

本研究では、家庭用 NMES 機器を用いた神経筋電気刺激トレーニングにおいて、より長い筋長で介入した場合に、筋肥大および最大筋力発揮がより大きく改善するかを検討した。その結果、家庭用 NMES 機器を用いた神経筋電気刺激トレーニングにより、1) 筋肥大は認められなかったこと、2) 最大筋力は有意に向上したが、筋長条件の違いによる筋力向上の違いは認められなかったこと、が明らかになった。これらの結果は、一部の仮説を支持した。

### 筋肥大

本研究では、6 週間の神経筋電気刺激トレーニング介入によって、筋肥大の有意な増加は認められなかった。この要因として、まずトレーニング期間の短さが考えられる。先行研究では、高齢者を対象にレッグプレスを週 2 回実施した場合、18 回目、すなわち 9 週間後に有意な筋肥大が認められている (Lixandrão et al 2011)。一方、若齢者では高強度レジスタンストレーニングにより、3~4 週間で筋肥大が始まる可能性が示されている (Lixandrão et al 2011)。しかし、加齢に伴いトレーニングに対する同化反応は低下することが知られており、高齢者では急性レジスタンストレーニング後の筋原線維タンパク質合成が若齢者よりも低いことが報告されている (Lixandrão et al 2011)。これらを踏まえると、本研究の 6 週間という介入期間は、特に高齢者において筋肥大を引き起こすには不十分であった可能性が高い。また、神経筋電気刺激トレーニングに関する先行研究においても、高齢者を対象に 8 週間の介入を行った結果、筋肥大が認められている (Jandova et al 2020) ことから、本研究で筋肥大が認められなかった要因として、介入期間の不足が強く示唆される。さらに、本研究における筋長条件の差も影響した可能性がある。本研究では、座位姿勢群と立位姿勢群における筋長の相対値の差は、ヒラ

メ筋で+27.4%、腓腹筋で+23.5%、長趾屈筋で+10.3%、短趾屈筋で+18.4%であった。一方、膝関節角度の違いにより大腿四頭筋の筋長を操作した先行研究では、相対値の差が+38.39%と報告されており

(Noorkõiv et al 2015)、本研究の筋長差は比較的小さかった。このことから、筋長条件の違いが筋肥大を引き起こすための十分な刺激とならなかった可能性が考えられる。

## 筋力

本研究では、筋肥大が認められなかったにもかかわらず、最大筋力は有意に向上した。等尺性トレーニングに関する先行研究では、トレーニング強度や筋長に関係なく、最大筋力発揮が大幅に改善することが報告されている (Oranchuk et al 2019)。この結果は、仮説を支持するものとなった。

## 本研究の目的に対する回答と社会的意義

本研究の目的は、家庭用 NMES 機器を用いた神経筋電気刺激トレーニングにおいて、より長い筋長で介入した場合に、筋肥大および最大筋力発揮がより大きく改善するかを検討することであった。本研究の結果から、短期間の介入では筋肥大は認められないものの、筋力向上は筋長条件に関係なく得られることが示された。高齢者における筋力トレーニングの実施が不十分に普及していない現状を踏まえると、家庭用 NMES 機器は、運動習慣の確立が困難な高齢者や運動制限を有する者にとって、簡便に筋力向上を図る手段となり得る。本研究の知見は、家庭環境下での NMES トレーニングが筋力維持・向上に有用である可能性を示しており、今後の高齢者に対する運動介入戦略を検討するうえで、実践的かつ社会的意義を有するものであると考えられる。

## 本研究の限界と今後の課題

本研究にはいくつかの限界がある。第一に、トレーニング期間が6週間と比較的短かった点である。より長期間の介入を行うことで、筋肥大や筋長条件の違いによる影響が明確になる可能性がある。第二に、筋長条件の相対的な差が先行研究と比較して小さかった点であり、より大きな筋長差を設定することで、筋肥大への影響をより明確に検討できると考えられる。第三に、NMES 刺激強度や個人差の影響について十分に検討できていない点も、結果解釈の際に考慮すべきである。

## 結論

本研究では、家庭用 NMES 機器を用いた神経筋電気刺激トレーニングにおいて、より長い筋長で介入した場合に、筋肥大および最大筋力発揮がより大きく改善するかを検討した。その結果、6 週間の介入では筋肥大および筋肉量の有意な向上は認められなかったが、最大筋力は筋長条件に関係なく有意に向上することが明らかになった。以上のことから、家庭用 NMES 機器を用いた神経筋電気刺激トレーニングは、短期間での筋力向上には有効であるが、筋肥大を目的とする場合には、介入期間や条件設定の再検討が必要であると結論づけられる。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、中京大学スポーツ科学部の渡邊航平教授には、多大なるご指導とご助言を賜り、心より御礼申し上げます。また、本研究の実験に際し、多くのご協力を賜りました、渡邊航平研究室の皆様ならびに被験者の皆様に深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- Burton E, Farrier K, Lewin G, Pettigrew S, Anne-Marie Hill, Phil Airey, Liz Bainbridge, Keith D. Hill. Motivators and Barriers for Older People Participating in Resistance Training: A Systematic Review. *Journal of Aging and Physical Activity*, Volume 25, Issue 2, pp. 311-324, 2017
- Jandova T, Narici M, Steffl M, Bondi D, Amico M, Pavlu D, Verratti V, Fulle S, Pietrangelo T. Muscle Hypertrophy and Architectural Changes in Response to Eight-Week Neuromuscular Electrical Stimulation Training in Healthy Older People. *Life*, Volume 10, Issue 9, Article 184, 2020
- Lixandrão M, Damas F, Chacon-Mikahil M, Cavaglieri C, Ugrinowitsch C, Bottaro M, Vechin F, Conceição M, Berton R, Libardi C. Time course of resistance training-induced muscle hypertrophy in the elderly. *Journal of Strength & Conditioning Research*, Volume 30, Issue 1, pp. 159-163, 2016
- Maffiuletti N. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, Volume 110, Issue 2, pp. 223-234, 2010
- Noorkõiv M, Nosaka K, Blazeovich A. Effects of isometric quadriceps strength training at different muscle lengths on dynamic torque production. *Journal of Sports Sciences*, Volume 33, Issue 18, pp. 1952-1961, 2015
- Oranchuk D, Storey A, Nelson A, Cronin J. Isometric training and long-term adaptations: Effects

of muscle length, intensity, and intent: A systematic review. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, Volume 29, Issue 4, pp. 484-503, 2019

Takeda R, Hirono T, Yoshiko A, Nishikawa T, Ueda S, Igawa K, Shinoda R, Kawakami S, Tominari R, Watanabe K. Impact of higher resistance exercise and bathing habits on cardiovascular risks in older adults. International Journal of Biometeorology, Volume 69, Issue 6, pp. 1253-1266, 2025

Watanabe K, Kawade S, Moritani T. Effect of electrode position of low intensity neuromuscular electrical stimulation on the evoked force in the quadriceps femoris muscle. BMC Research Notes, Volume 10, Article 300, 2017

Watanabe K, Kunugi S. Comparisons in muscle compound action potential parameters measured during standing, walking, and running. Journal of Biomechanics 145:111380, 2022

Verified Market Reports. Global Electrical Muscle Stimulation (EMS) Device Market Size, Development, Research & Forecast 2033, [Electrical Muscle Stimulation \(EMS\) Device Market Size, Development, Research & Forecast 2033](#), 2025

厚生労働省．健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023, <https://www.mhlw.go.jp/content/001195869.pdf>, 2023



大学生ゴルファーにおける最大酸素摂取量が試合中の主観的疲労  
およびパッティングの正確性に及ぼす影響

J322123

藤川 茉莉

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：ゴルフは多くの国民に親しまれているスポーツであるが、1 ラウンドの所要時間は約 4 時間に及び、総移動距離は 8km を超えるなど、見た目以上に長時間の身体活動を伴う競技である。そのため、競技の終盤には疲労が蓄積し、これが集中力やパッティングなどの技術発揮に悪影響を及ぼすことが懸念される。しかし、実際の指導現場や競技者の間では、スイング技術の習得が重要視され、基礎体力である全身持久力が、実際のラウンド中の疲労軽減やパフォーマンス維持に具体的にどのような影響をもたらすかについては、十分に理解されていないのが現状である。本研究の目的では、大学生競技ゴルファーを対象に、全身持久力の指標である最大酸素摂取量が、試合中の主観的な疲労感、注意力の持続、およびパッティングの正確性に及ぼす影響を検討し明らかにすることである。方法：中京大学ゴルフ部に所属する学生 13 人（男子 10 人、女子 3 人）を対象に、ゴルフ場にて最大酸素摂取量の測定を行った。また、実際のラウンド中における主観的な身体的疲労感、精神的疲労感、プレイに対する注意力について、視覚的アナログスケール（VAS）を用いた。また、パットの正確性を検討する指標としてここ 1 年間における平均パット数もアンケート調査を実施し、任意のタイミングで回答を得た。結果：最大酸素摂取量が高い人ほど、18 ホール終了後における主観的な身体的疲労感が有意に低いことが明らかになった ( $p < 0.05$ )。一方で、最大酸素摂取量の高低と主観的なプレイに対する注意力および精神的疲労感の強さと年間平均パット数に関しては、有意な相関関係は認められなかった ( $p > 0.05$ )。結論：本研究では、最大酸素摂取量が高い人ほど試合後における身体的疲労が少ないということは明らかになったが、最大酸素摂取量とプレイに対する注意力および精神的疲労の高低とパッティング精度に関しては明らかにすることができなかった。

## 背景

近年、ゴルフは世界的に見ても人気のあるスポーツであり、成人の競技人口は 6,410 万人に達し、2023 年以降も約 180 万人の増加傾向にある (R&A 2023)。本国内においても、スポーツ庁のスポーツの実施状況等に関する世論調査 (令和 6 年度) において、「この 1 年間で行った運動・スポーツの種目」でゴルフは上位 10 位に入るなど、多くの国民にとって身近なスポーツとして定着している (スポーツ庁 2025)。ゴルフは一般的に、激しい身体接触がなく、運動強度が低いスポーツであると認識されており、生理的な負担はそれほど厳しくないと考えられている。そのため、ゴルフでの成功は身体的な強さよりも、技術的、戦術的、そして精神的な側面に重きが置かれる傾向にある。

ゴルフは強度の観点からみると、ゴルフの生理学的欲求は低いと考えられており、1 ラウンド 18 ホールを完了するには約 4 時間かかり、4.3-4.5METs である (Farrally 2003)。しかし、ゴルフラウンド中の歩行距離は平均  $8251 \pm 450$  m、歩数は  $12,766 \pm 1,530$  歩 を歩くことになる (Hayes 2009)。長時間の試合および長距離の歩行は身体的疲労および精神的疲労が生じる。また、精神的疲労はアイアンクラブの精度やドライバーの飛距離などゴルフのパフォーマンスにも直接影響を及ぼす。特にパッティングのパフォーマンスに大きな影響を与える (Galanis 2022)。

本研究の目的は、大学生ゴルファーを対象に、最大酸素摂取量が試合中の主観的疲労感、注意力の持続、およびパッティングの正確性に及ぼす影響を調べた。1) 最大酸素摂取量が高い人ほど試合中の疲労感が少ない。2) 最大酸素摂取量が高い人ほどプレイに対する注意力が続く。3) 試合後の精神的疲労が大きい人ほど正確性が下がる。以上 3 つを仮説とした。

## 方法

### 研究対象者

中京大学ゴルフ部に所属する大学生 13 名（男性 10 名、女性 3 名、年齢  $19.7 \pm 0.8$  歳）が本研究に参加した。

### 実験デザイン

本研究は全身持久力の指標として、AEROBIKE75XLⅢ（KONAMI 東京 日本）（図 1）及びアンケート（図 2、3）を用いて行った。AEROBIKE75XLⅢにプログラムされている体力テストという項目を用いた。この体力テストプログラムでは、有酸素性作業能力（全身持久力＝スタミナ）を測定する。推定最高脈拍は、男性は  $209 - 0.69 \times \text{年令}$ （拍/分）、女性は  $205 - 0.75 \times \text{年令}$ （拍/分）で算出されている。エアロバイク 75XLⅢは、推定最高脈拍数の 75%における酸素摂取量と運動強度および最大酸素摂取量を求め、被測定者の有酸素性作業能力を評価する。本研究は運動負荷を少しずつ増加させて体力テストを行うランプ方式であった。脈拍値と負荷値をそれぞれサンプリングして直線回帰（3 データ以上の多点回帰）を求め、あらかじめ内部に組み込んであるデータ（多数の方から同じ体力テストをして得られた負荷値と酸素摂取量の男女別平均の関係式）を合成して、評価指標を得ている。質問内容は、競技年数、身体的な疲労、プレイに対する注意力、精神的な疲労、パット回数、スコアである。

### 身体的な疲労及び精神的な疲労の評価

10 cmの直線を用いた視覚的アナログスケール（VAS）を使用した。疲労感は、左端 0 cmを「陰性（全くない）」、右側 10cmを「陽性（最大）」と設定し、調査対象者に疲労感の程度を自身の感覚に従って直線上に印で示してもらった。

## プレイに対する注意力の評価

身体的な疲労と同様に、10 cmの直線を用いた VAS を使用した。左端 0cm を「陰性（全く注意を払っていない）」、右側 10cm を「陽性（完全に注意を払っている）」と設定した。

## 統計分析

結果は平均±標準偏差で示す。最大酸素摂取量と身体的疲労との関連、最大酸素摂取量とプレイに対する注意力との関連、精神的疲労と正確性との関連について Spearman の順位相関係数を使用した。統計解析には統計ソフトウェア（SPSS）を用いた。統計学的有意水準は 5%未満（ $p < 0.05$ ）とした。



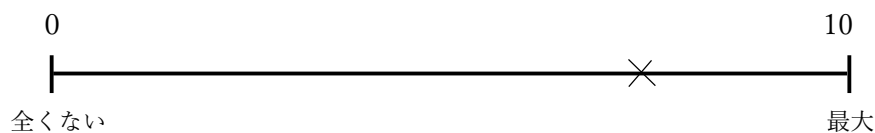
図1 AEROBIKE75XLIII (KONAMI 東京 日本)

質問1 競技年数を教えてください。

(            ) 年 (            ) か月

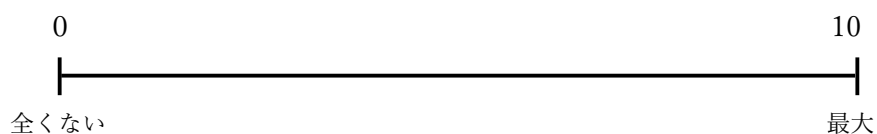
以下質問2～7は例のような回答方法をお願いします。

例



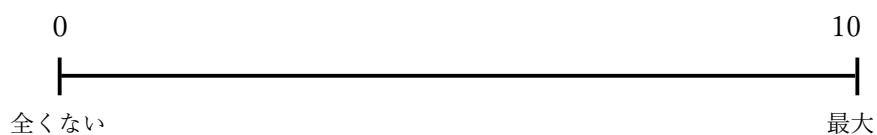
質問2 この1年の平均的なラウンドにおける9ホール後の身体的な疲労はどの程度でしたか。

自分が当てはまるところの直線の上に1つ×印をつけてください。



質問3 この1年の平均的なラウンドにおける18ホール後の身体的な疲労はどの程度でしたか。

自分が当てはまるところに1つ×印をつけてください。



質問4 この1年の平均的なラウンドにおける9ホール目のプレイにどれくらいの注意を払っていますか。

自分が当てはまるところに1つ×印をつけてください。

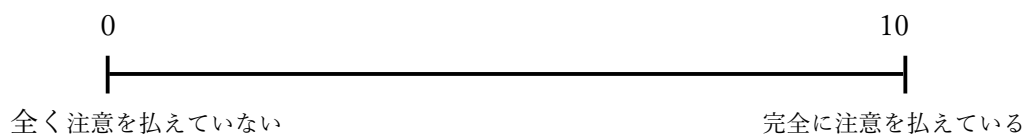
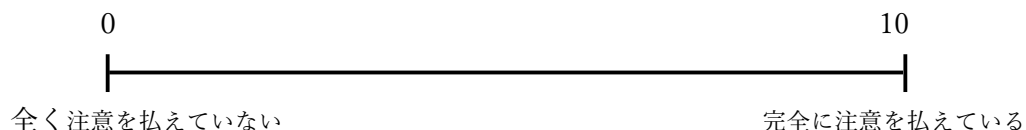


図2 アンケート調査 (1/2)

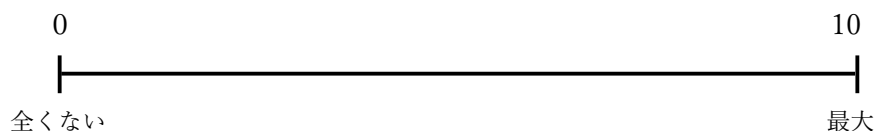
質問5 この1年の平均的なラウンドにおける18ホール目のプレイにどれくらいの注意を払っていますか。

自分が当てはまるところに1つ×印をつけてください。



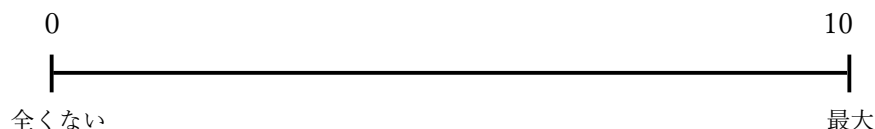
質問6 この1年の平均的なラウンドにおける9ホール後の精神的な疲労はどの程度でしたか。(精神的疲労とは精神的に消耗した感情、エネルギーの欠如、疲弊、集中するための意欲の減少などを指します。)

自分が当てはまるところに1つ×印をつけてください。



質問7 この1年の平均的なラウンドにおける18ホール後の精神的な疲労はどの程度でしたか。(精神的疲労とは精神的に消耗した感情、エネルギーの欠如、疲弊、集中するための意欲の減少などを指します。)

自分が当てはまるところに1つ×印をつけてください。



質問8 この1年の平均的なラウンドにおける18ホールの合計のパット回数を教えてください。

( )

質問9 この1年の平均的なラウンドにおけるスコアを教えてください。

( )

図3 アンケート調査 (2/2)



## 結果

調査の結果、最大酸素摂取量と 9 ホール後の身体的疲労との相関では、有意な相関がみられなかった

( $p=0.560$ 、 $r=-0.542$ ) (図 4)。最大酸素摂取量と 18 ホール後の身体的疲労との相関では、有意な相関

がみられた ( $p=0.000$ 、 $r=-0.830$ ) (図 5)。最大酸素摂取量と 9 ホール目の注意力との相関では、有意

な相関がみられなかった ( $p=0.596$ 、 $r=-0.162$ ) (図 6)。最大酸素摂取量と 18 ホール目の注意力との相

関でも有意な相関がみられなかった ( $p=0.915$ 、 $r=-0.330$ ) (図 7)。9 ホール後の精神的疲労とパット回

数との相関でも有意な相関がみられなかった ( $p=0.476$ 、 $r=0.217$ ) (図 8)。18 ホール後の精神的疲労と

パット回数との相関でも有意な相関がみられなかった ( $p=0.343$ 、 $r=0.287$ ) (図 9)。9 ホール後の身体

的疲労とパット回数との相関でも有意な相関がみられなかった ( $p=0.690$ 、 $r=0.520$ ) (図 10)。18 ホー

ル後の身体的疲労とパット回数との相関でも有意な相関がみられなかった ( $p=0.338$ 、 $r=0.289$ ) (図 11)。

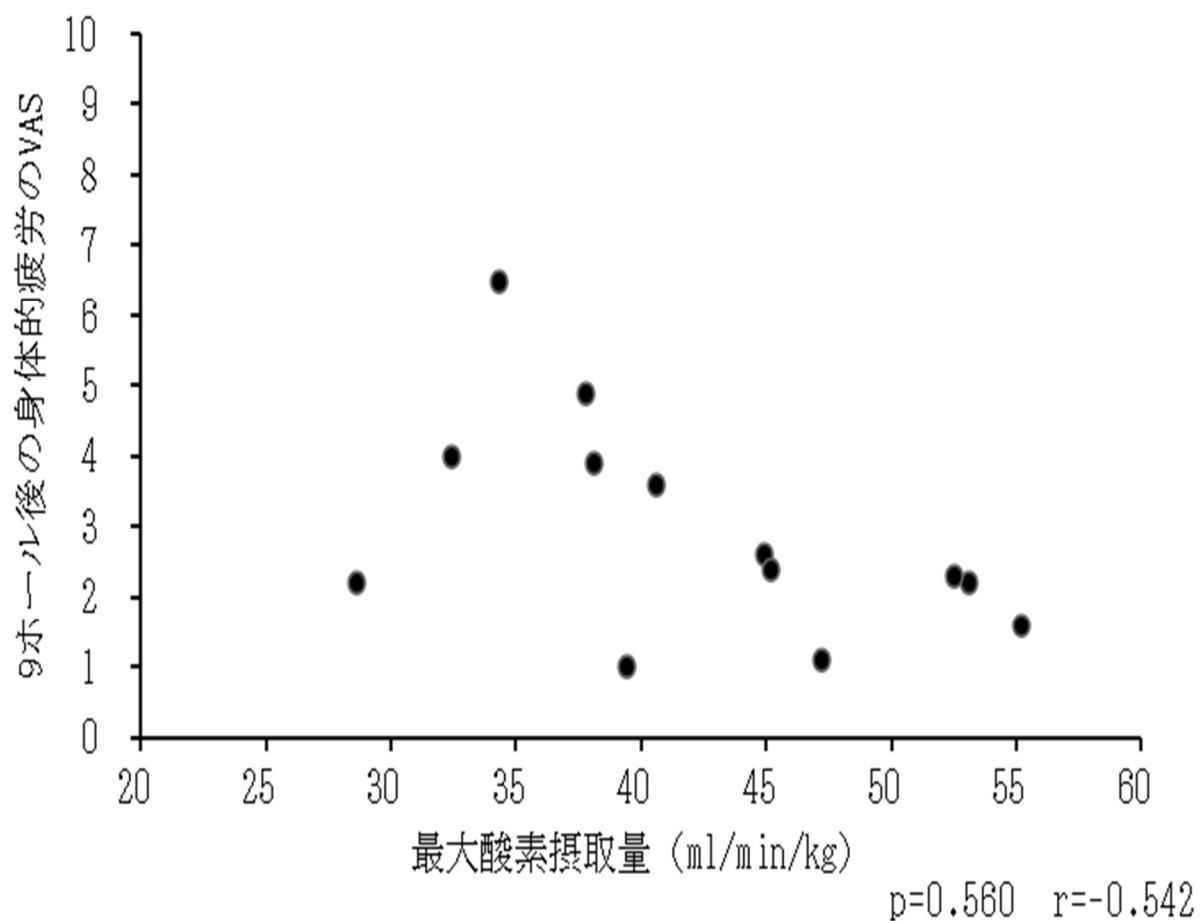


図 4 最大酸素摂取量と 9 ホール後の身体的疲労との関係

VAS の値について「0:全くない～10 最大」、有意差 :  $p=0.560$ 、相関係数 :  $r=-0.542$ 、有意水準は 5% 未満 ( $p < 0.05$ )

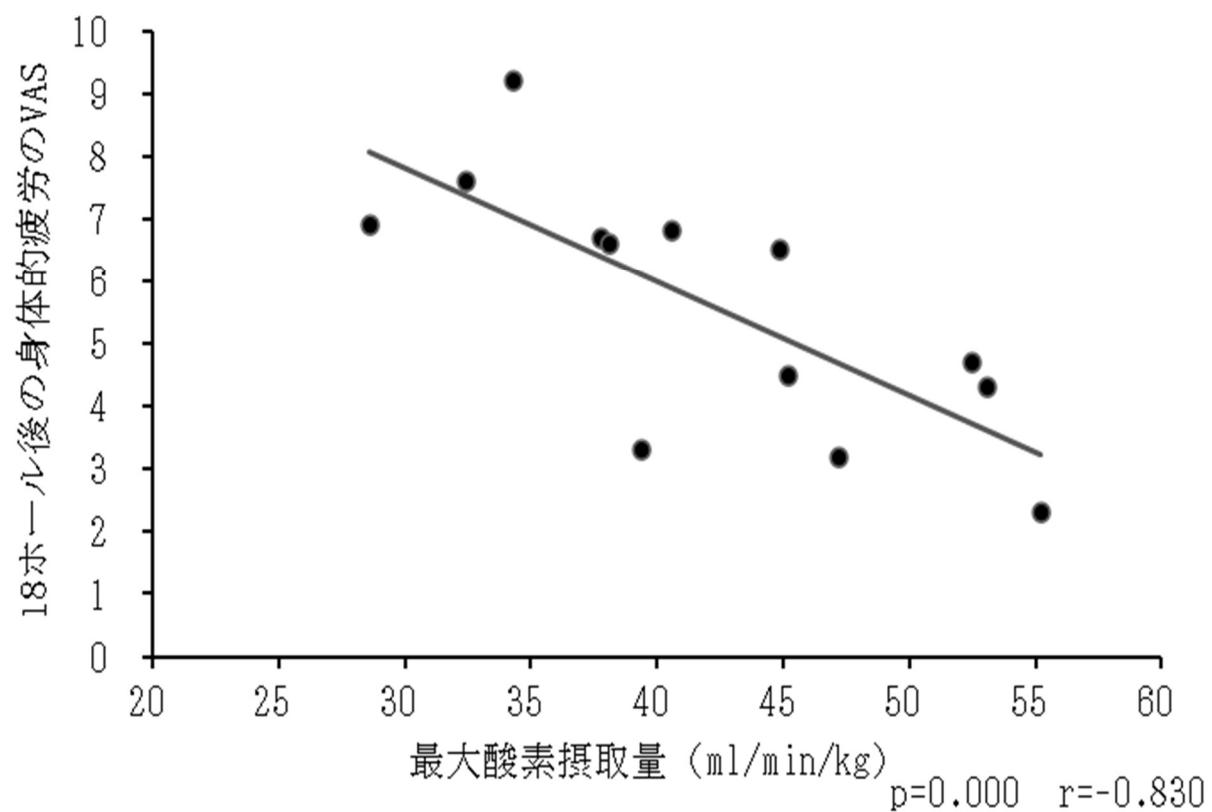


図5 最大酸素摂取量と18ホール後の身体的疲労との関係

VASの値について「0:全くない～10 最大」、有意差： $p=0.000$ 、相関係数： $r=-0.830$ 、有意水準は5%未満 ( $p < 0.05$ )、相関水準は1%未満 ( $r < 0.01$ )

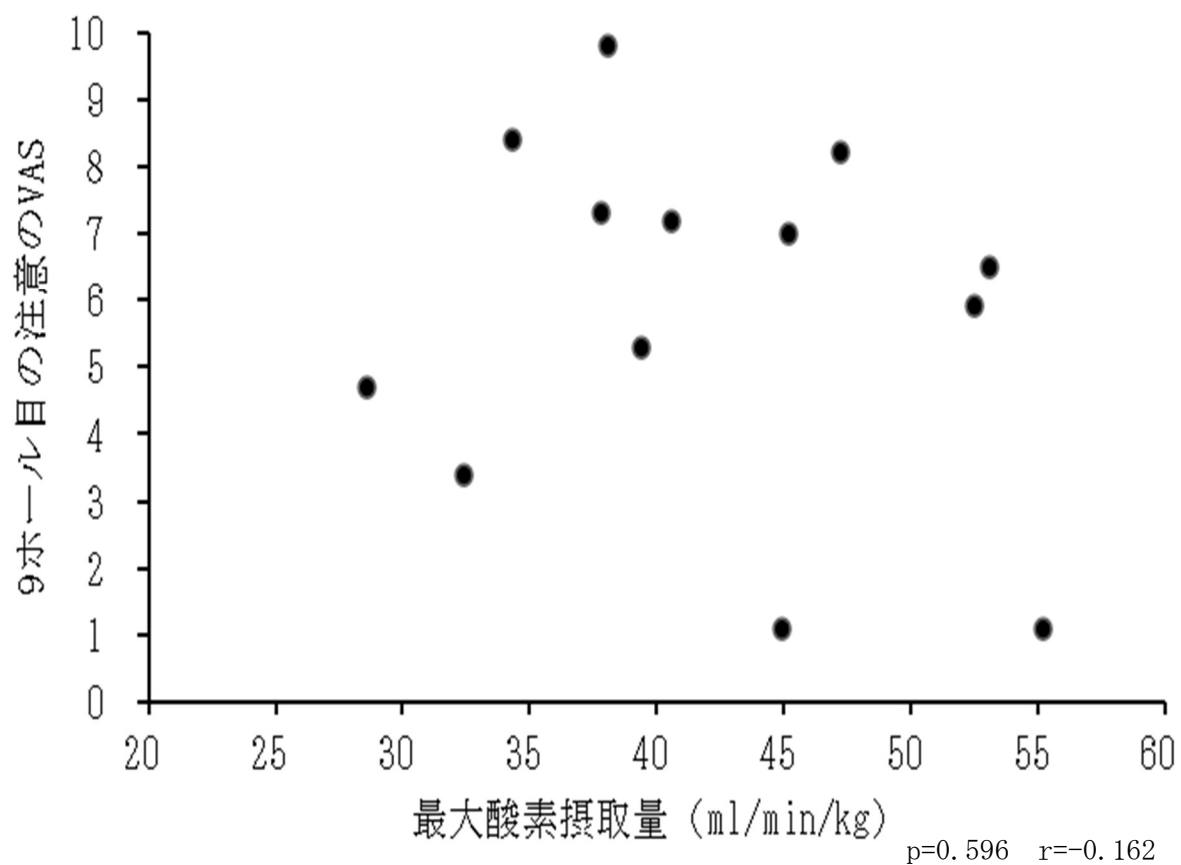
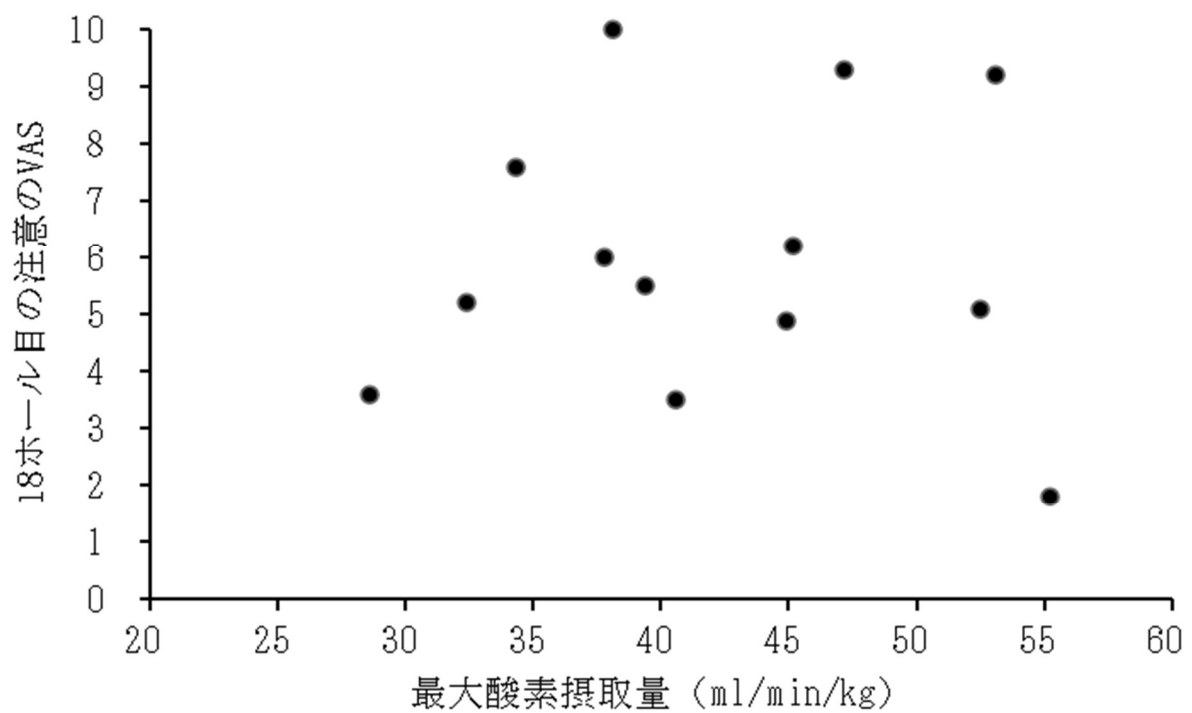


図6 最大酸素摂取量と9ホール目の注意力との関係

VASの値について「0:全く注意を払えていない～10:完全に注意を払えている」、有意  $p=0.596$ 、相関係数： $r=-0.162$ 、有意水準は5%未満 ( $p < 0.05$ )



$p=0.915$   $r=-0.330$

図7 最大酸素摂取量と18ホール目の注意力との関係

VASの値について「0:全く注意を払えていない～10:完全に注意を払えている」、有意 $p=0.915$ 、相関係数： $r=-0.330$ 、有意水準は5%未満 ( $p < 0.05$ )

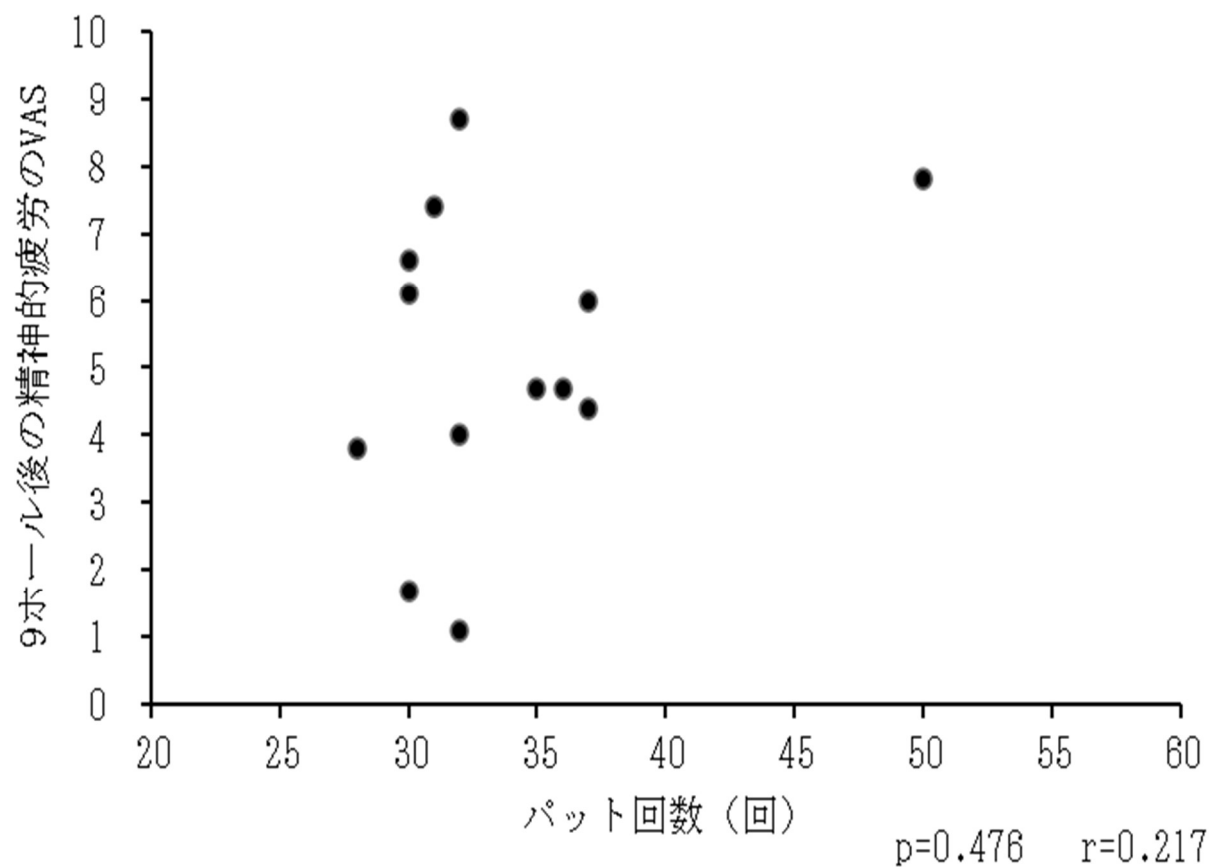


図8 9ホール後の精神的疲労とパット回数との関係

VASの値について「0:全くない～10 最大」、有意差： $p=0.476$ 、相関係数： $r=-0.217$ 、有意水準は5%未満 ( $p < 0.05$ )

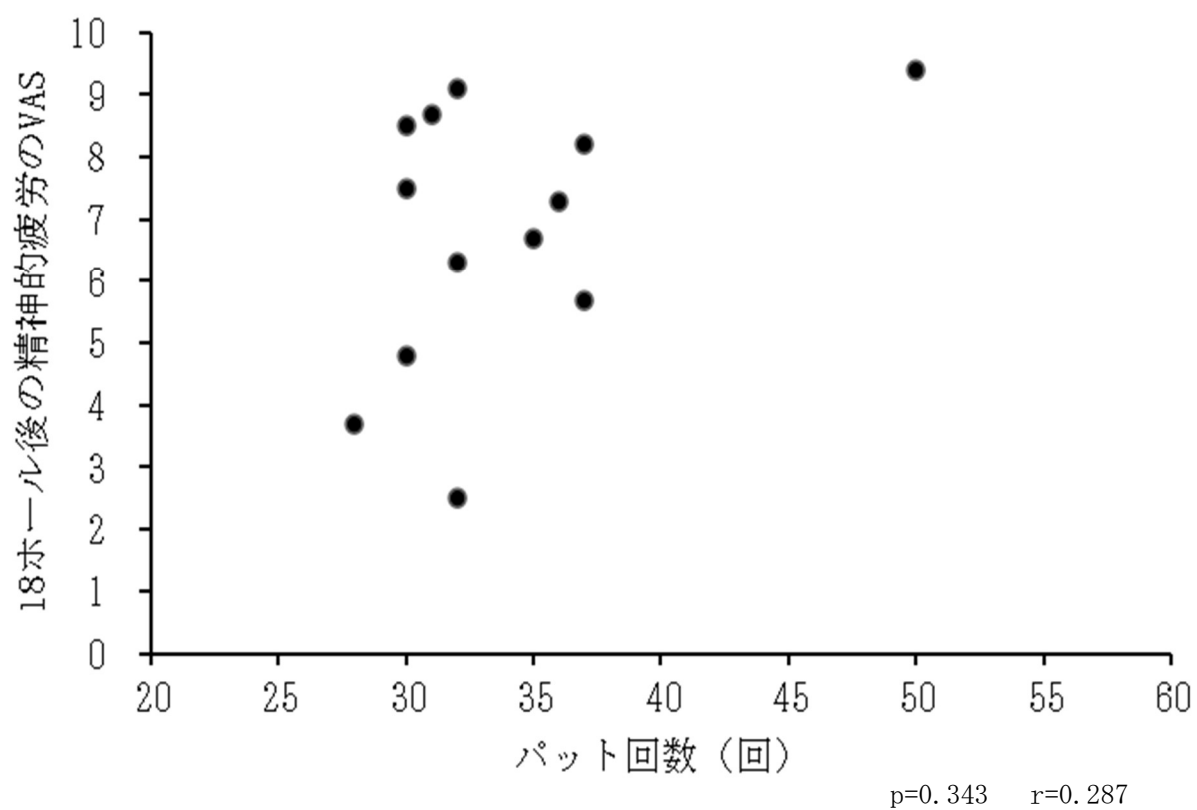


図9 18ホール後の精神的疲労とパット回数との関係

VASの値について「0:全くない～10 最大」、有意差： $p=0.343$ 、相関係数： $r=0.287$ 、有意水準は5%未満 ( $p < 0.05$ )

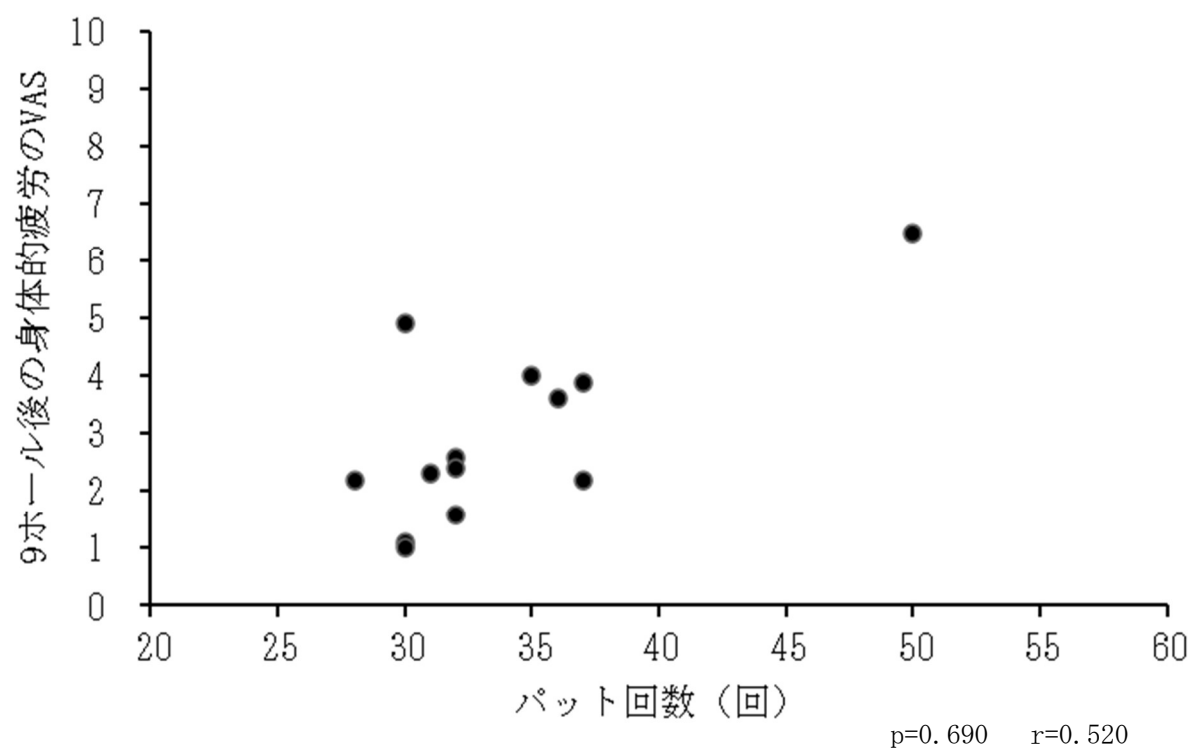


図 10 9 ホール後の身体的疲労とパット回数との関係

VAS の値について「0:全くない～10 最大」、有意差： $p=0.690$ 、相関係数： $r=0.520$ 、有意水準は 5%未満 ( $p < 0.05$ )



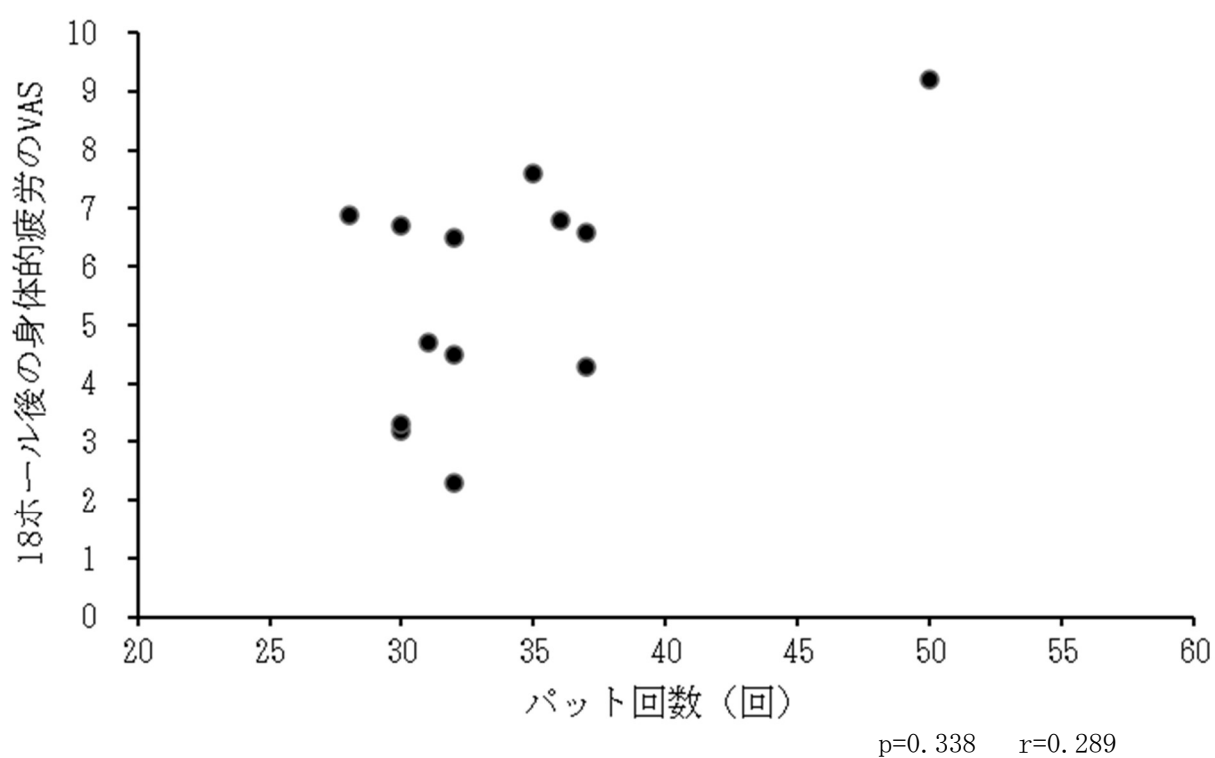


図 11 18 ホール後の身体的疲労とパット回数との関係

VAS の値について「0:全くない～10 最大」、有意差： $p=0.338$ 、相関係数： $r=0.289$ 、有意水準は 5%未満 ( $p < 0.05$ )

## 考察

本研究では、大学生ゴルファーを対象に、最大酸素摂取量が試合中の主観的疲労感、注意力の持続、およびパッティングの正確性に及ぼす影響を検討した。

### その結果

- 1) 最大酸素摂取量が高い競技者ほど、試合後半における主観的な身体的疲労感が有意に低いこと
- 2) 最大酸素摂取量の高低は、注意力の持続感には有意な影響を及ぼさないこと
- 3) 精神的疲労感の強さと年間平均パット数（正確性）との間には有意な相関関係は見られなかったことが明らかになった。これらの結果は、一部の仮説を支持したが、そうでない結果も見られた。

### 1) 体力レベルと身体的な疲労感の関係について

本研究では、最大酸素摂取量が高い人ほど、18 ホール後における身体的疲労の VAS 値が有意に低い値を示した。

最大酸素摂取量は  $42.25 \pm 7.97$ 、身体的疲労の VAS 値は 9 ホール後で  $2.95 \pm 1.52$ 、18 ホール後で  $5.58 \pm 1.94$  の範囲であった。最大酸素摂取量の数字に関して、これは非アスリートと比較すると高い水準であるが、アスリートと比較するとわずかに低い値である (Srivastava et al. 2024)。身体的疲労の VAS 値の数字に関して、ラグビーの 30 回タックルを終えた後の身体的疲労の VAS 値は、 $6.19 \pm 2.46$  であった。ゴルフに関しては 9 ホール後で  $2.95 \pm 1.52$ 、18 ホール後で  $5.58 \pm 1.94$  というばらつきであった (Kikuchi et al. 2025)。高い有酸素能力を有する競技者は、ラウンド中の移動やスイングといった身体活動を、自身の最大能力に対して相対的に低い強度で処理できるため、余力を残したままプレイできたと解釈でき

る。

この結果 9 ホール後の身体的疲労に関しては仮説が支持されなかったが、18 ホール後に関しては支持された。

Travlos.K.A and Marisi.Q.D(1996)は体力レベルが高い者は低い者と比較して、同じ相対運動強度であつても主観的運動強度（RPE）を低く評価したと報告している。また、Ueda.T et al(2006)は運動強度について RPE と VAS の関連性を検証した研究では、一定の運動強度においては両指標間に関連がみられる一方で、低い運動強度では両者の関連が明確ではなく一致しなかったことが報告されている。さらに、Kasper.M.A et al(2023) はゴルフプレイ時の運動強度について計測している。ゴルフバッグを担いでラウンドした条件もあり、本研究に参加した学生と同条件である。Kasper.M.A et al(2023)の自覚的運動強度（BC 条件）の指標と本研究で測定した 9 ホール後、18 ホール後の VAS 値を対応させそれぞれグラフを作成した（図 12）（図 13）（図 14）。これらを比較すると 9 ホール後の身体的疲労あまりは起こっていないことが言えるため、有意差がみられなかった可能性が高いと考えられる。

このことから、18 ホール後の身体的疲労に関しては最大酸素摂取量が高い人ほど身体的疲労は少ないということが明らかになった。

## 2)体力レベルとプレイにおける注意力の関係について

本研究では、最大酸素摂取量と主観的な注意力の持続との間に有意な相関は認められなかった。

最大酸素摂取量は  $42.25 \pm 7.97$ 、プレイに対する注意力の VAS 値は 9 ホール目で  $5.84 \pm 2.57$ 、18 ホール目で  $5.99 \pm 2.36$  の範囲であった。1)と同様に最大酸素摂取量の数字に関して、これは非アスリートと比較すると高い水準であるが、アスリートと比較するとわずかに低い値である。最大酸素摂取量の高低

は主観的な注意力の高さや維持には直結しなかった。

この結果、最大酸素摂取量が高い人ほどプレイに対する注意力が続くという仮説は 9 ホール、18 ホールともに支持されなかった。

Ciria.F.L et al (2017) は、有酸素能力と持続的な注意力は正の相関関係があると報告しているが、本研究の結果はこれらと一致しなかった。

その要因としてゴルフ競技特有の断続的な認知負荷が挙げられる。ショットを打つ、次のホールまでの移動を繰り返す競技であるため、持続的な注意力を計る課題とは性質が異なった可能性が示唆された。

このことから最大酸素摂取量が高い人ほど注意力が高いということは明らかにならなかった。

### 3) 精神的疲労と正確性に関する関係について

本研究では、精神的疲労感と年間平均パット数の間に有意な相関は見られなかった。また、身体的疲労に関しても検討してみたが身体的疲労に関しても有意な相関は見られなかった。

精神的疲労の VAS 値の数字に関して、ラグビーの 30 回タックルを終えた後の精神的疲労の VAS 値は、 $3.93 \pm 3.28$  であった。ゴルフに関しては 9 ホール後で  $5.15 \pm 2.16$ 、18 ホール後で  $6.8 \pm 2.05$  というばらつきであった。これらを比較すると、ゴルフは精神的疲労がおこりやすいスポーツといえる。他のスポーツに比べて精神的疲労がおこりやすいスポーツということが分かる。精神的疲労が強いスポーツであったが、正確性には直結しなかった。

この結果、精神的疲労が高い人ほど試合後の精神的疲労が大きい人ほど正確性が下がるという仮説は 9 ホール、18 ホールともに支持されなかった。

Meymandi.P.N et al (2023) は精神的疲労と投擲の正確さについて、精神的疲労条件における参加者

のスコアは非疲労条件と比較して 8.43%低下したと報告されているが、本研究の結果はこれらと一致しなかった。

要因として、対象者の技術習熟度および経験年数の個人差にあると考えられる。

Meymandi.P.N et al（2023）の対象者は全員未経験であったため、本研究の調査とは技術の習得度に差があったことが挙げられる。そのため、一定の経験を持つゴルファーは、精神的疲労下にあっても技術や経験によってパフォーマンスを維持することができた可能性が示唆された。

このことから、試合後の精神的疲労が高い人ほど正確性が下がるということは明らかにならなかった。

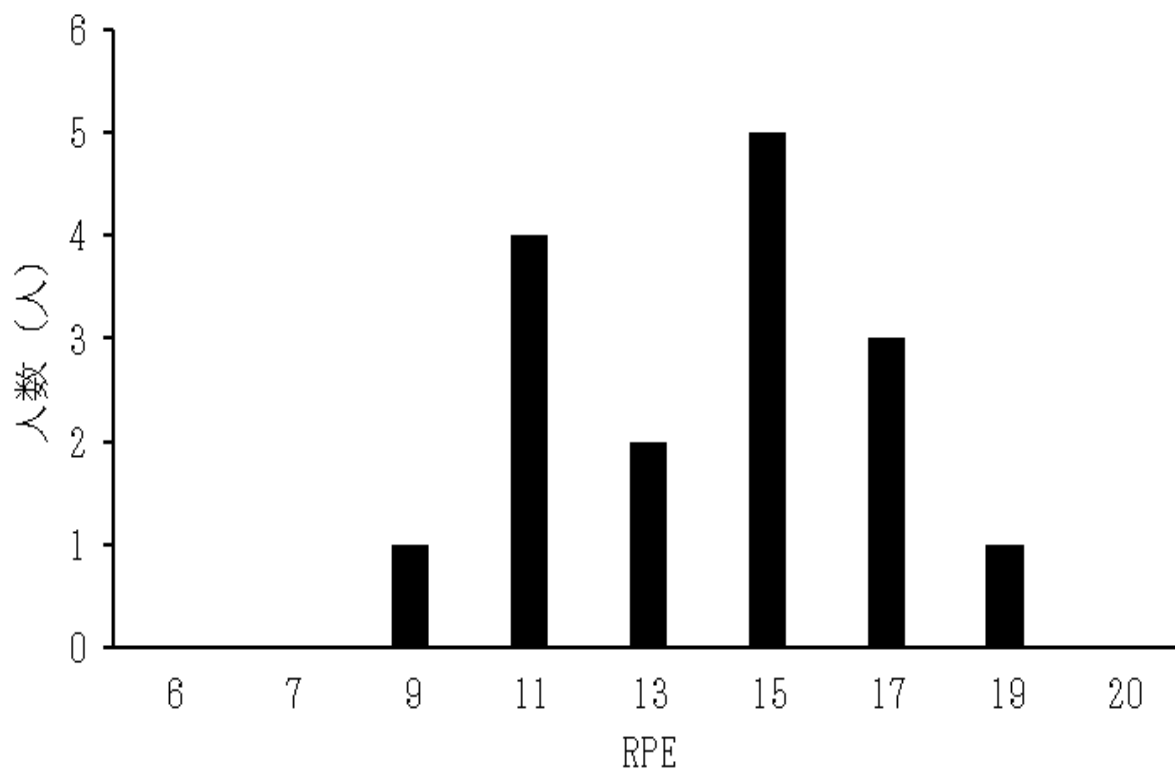


図 12 自覚的運動強度 (RPE) ごとの人数の分布

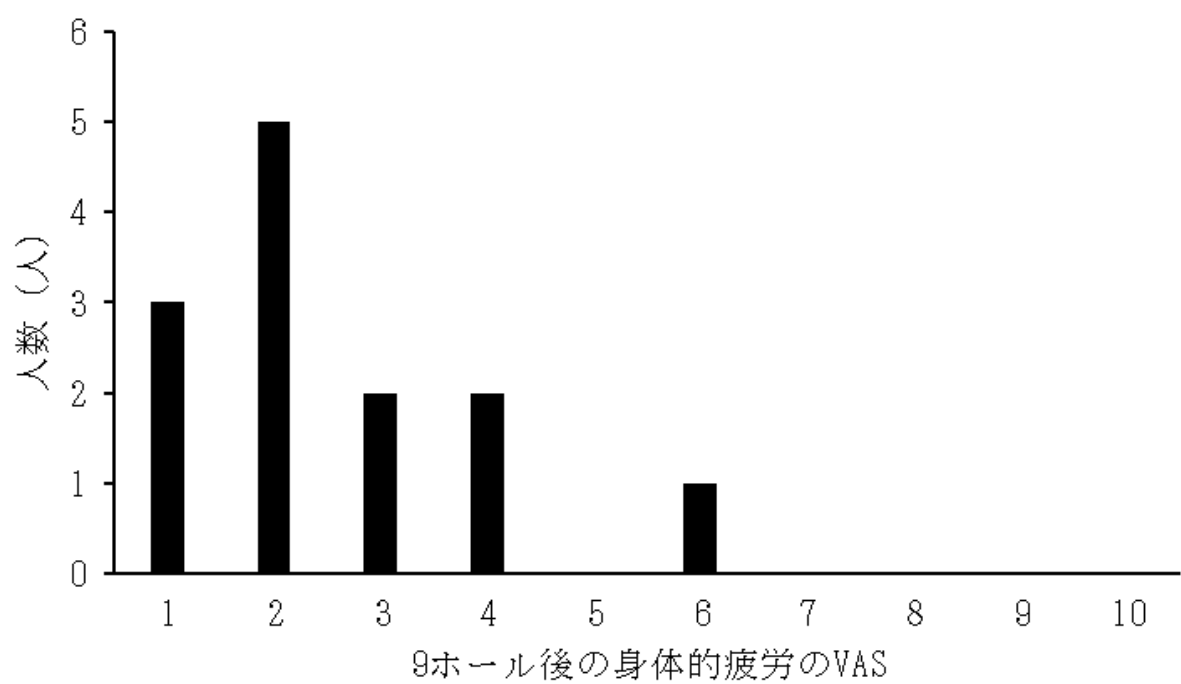


図 13 9 ホール後の身体的疲労における VAS 値ごとの人数の分布  
VAS の値について「0:全くない～10 最大」

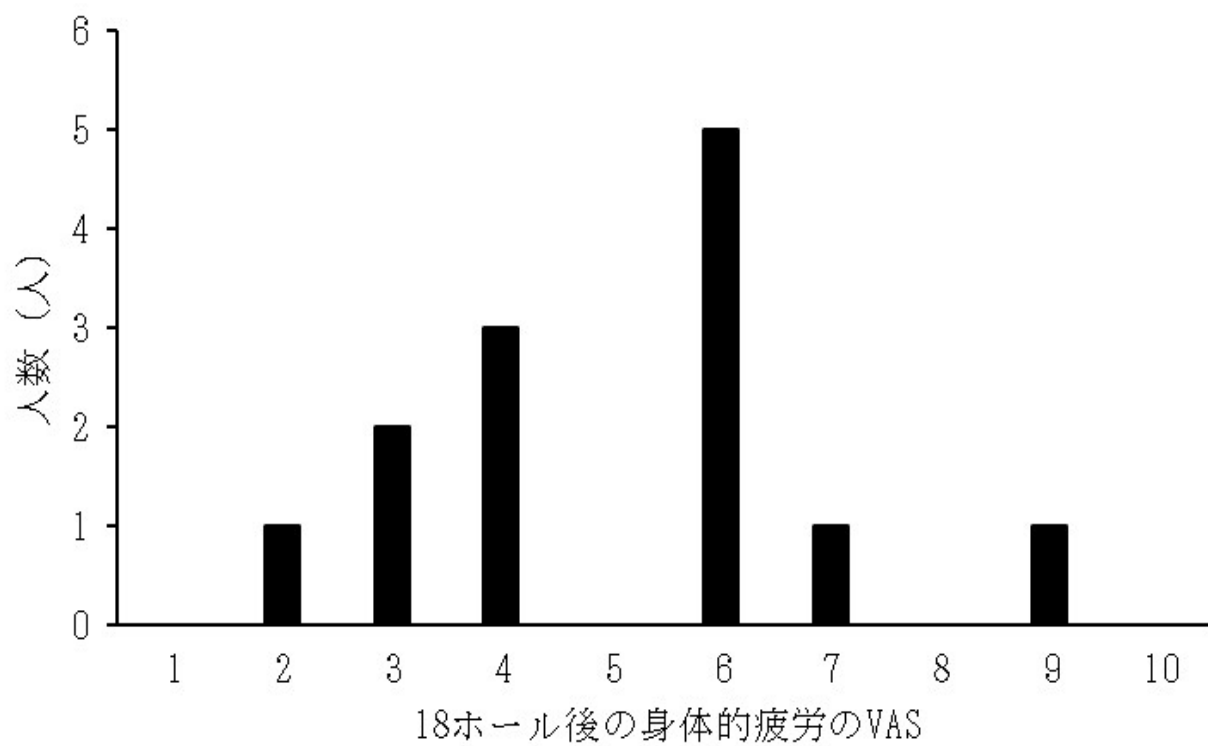


図 14 18 ホール後の身体的疲労における VAS 値ごとの人数の分布  
VAS の値について「0:全くない～10 最大」



## 目的に対する回答および社会への還元性

本研究では、大学生ゴルファーを対象に、最大酸素摂取量が試合中の主観的疲労感、注意力の持続、およびパッティングの正確性に及ぼす影響を検討することを目的に実施された。考察から、ゴルフにおける最大酸素摂取量の高さは、パッティングの正確性や主観的な集中力を直接的に向上させるものではないが、最大酸素摂取量の高さが身体的疲労を軽減することは明らかになった。ゴルフは体力よりも技術面を重視する傾向がある。しかし、本研究により、最大酸素摂取量を高めることでプレイに対する注意力が向上する、パットが上手くなるというわけではないが、最大酸素摂取量を高めることで18ホールを楽に回り切る身体が作られるという事実を示している。指導現場でもパフォーマンス向上のみを目的とするのではなく、連戦や長時間の試合に耐えうる疲労しにくい身体づくりというコンディショニングの観点から指導現場でも有酸素トレーニングを取り入れられる可能性が考えられる。

本研究の限界にはいくつかの限界がある。1つ目は調査対象者が限定的であり他の年代、競技歴までの因果関係の特定には至っていない点が挙げられる。2つ目は、疲労や注意力の評価を試合後の回想に基づく主観的評価（VAS）のみで行ったため、実際の認知機能の変化を客観的に捉えきれていない可能性がある。3つ目は、対象者の経験年数や技術レベルに大きなばらつきがあったため、疲労以外の要因（技術差）が結果に影響した可能性がある。今後の課題として、実際のラウンド中の心拍変動や反応時間などをリアルタイムで測定し、技術レベルを統制した上で、より客観的な疲労指標とパフォーマンスの関係を縦断的に検証することが求められる。

## 結論

本研究では、大学生ゴルファーにおける最大酸素摂取量が試合中の疲労感およびパッティング性能に

及ぼす影響を検討した。その結果、最大酸素摂取量の高さは、試合中の身体的な疲労感を有意に軽減させることが明らかとなった。一方で、精神的な疲労感、注意力の持続と最大酸素摂取量は有意な影響を及ぼさなかった。また、精神的疲労とパッティングの正確性に関しても有意な影響を及ぼさなかった。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、渡邊航平先生には指導教員として適切なお指導をいただきました。深く感謝申し上げます。また、測定、アンケートにご協力いただいたゴルフ部の皆様にも御礼申し上げます。

## 参考文献

Ciria, F. L, Perakakis, P, Luque-Casado, A, Morato, C, Sanabria, D The relationship between sustained attention and aerobic fitness in a group of young adults. PeerJ, 5, p. e3831, 2017

Farray, R. M, Cochran, J. A, Crews, J. D, Hurdzan, J. M, Price, J. R, Snow, T. J and Thomas, R. P Golf science research at the beginning of twenty-first century. Journal of Sports Science, 21(9), 753-765, 2003

Galanis, E, Nurkse, L, Kooijman, J, Papagiannis, E, Karathanasi, A, Comoutos, N, Theodorakis, Y and Hatzigeorgiadis, A Effect of a strategic Self-Talk Intervention on Attention Functions and Performance in a Golf Task under Conditions of Ego Depletion. Sustainability, 14(12), 7046, 2022

Hayes, R. P, Paridon, V. K, French, N. D, Thomas, K and Gordon, A. D Development of a simulated round of golf. International Journal of Sports Physiology and Performance, 4(4), 506-516, 2009

Kasper, M. A, Donnelly, O. A, Langan-Evans, C, Jones, A, Lindsay, A, Murray, A and

Close.L.G Assessment of activity energy expenditure during competitive golf: The effects of bag carrying, electric or manual trolleys. European Journal of Sport Science、22(3)、330-337、2023

Kikuchi.Y、Akasaka.K、sawada.Y、okubo.Y、Hattori.H、Hamada.Y and Hall.T Dissociation Between Subjective Fatigue and Objective Performance During Repeated Tackling in Amateur Rugby Players. Translational Sports Medicine、2025(1)、p.5566824、2025

Meymandi.P.N、Sanjari.A.M and Farsi.A The Effect of Mental and Muscular Fatigue on the Accuracy and Kinematics of Dart Throwing. Percept Motor Skills、130(2)、808-825、2023

Srivastava.S、Tamrakar.S、Nallathambi.N、Vrindavanam.A.S、Prasad.R、Kothari.R Assessment of Maximal Oxygen Uptake (V02 Max) in Athletes and Nonathletes Assessed in Sports Physiology Laboratory. Cureus、16(5)、p.e61124、2024

Travlos.K.A and Marisi.Q.D、Perceptual and motor skills、82(2)、419-424、1996

Ueda.T、Nabetani.T and Teramoto.K Differential Perceived Exertion Measured Using a New Visual Analogue Scale during Pedaling and Running. Journal of Physiological Anthropology、25(2)、171-177、2006

R&A Over 100 million golfers in R&A markets as global participation continues to grow  
(<https://www.randa.org/en/articles/over-100-million-golfers-in-randa-markets-as-global-participation-continues-to-grow>)

スポーツ庁 2025 令和 6 年度 「スポーツの実施状況等に関する世論調査」

[https://www.mext.go.jp/sports/b\\_menu/toukei/chousa04/sports/1415963\\_00013.htm](https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/sports/1415963_00013.htm) (令和 8 年 1 月 23

日時点)

高齢者における筋力トレーニングの実施状況と  
過去の身体活動量の関係について

J322145

村井佑崇

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：日本では高齢化が進んでおり、要介護者は年々増加している。2023 年に厚生労働省が健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023 高齢者版の基準に筋力トレーニングを週 2～3 日行うことを追加したが、現状、高齢者の多くは筋力トレーニングを行うことができていない。本研究の目的は、過去の身体活動量によって強度の高い運動を継続して行うことができるか、過去の身体活動量は強い身体活動への抵抗感、中等度の身体活動への抵抗感と関係があるのかを検討することとした。

方法：保見いきいきアカデミー、八事いきいきアカデミーに参加する高齢者を対象にアンケート調査を実施した。身体活動量を問う質問は IPAQ short 版 (Japan Physical Activity Research Platform) を用いて作成し、高齢者の過去の 1 週間あたり身体活動量、現在の 1 週間あたりの身体活動量を調べた。強度の高い運動を継続して行うことができるか、また、強い強度の身体活動への抵抗感、中等度の身体活動への抵抗感を問う質問は VAS スケールを用いて調査を行った。高齢期における身体活動量への抵抗感を低下させることができるかを検討した。

結果：13 歳から 15 歳、20 歳から 39 歳のときの身体活動量と高齢期に強度の高い運動を継続することができるかには、有意な相関関係が見られた ( $p < 0.05$ )。その他の期間の身体活動量と高齢期に強度の高い運動を継続率には、有意な関係がなかった ( $p > 0.05$ )。過去の身体活動量と、高齢期における強い身体活動への抵抗感と中程度の身体活動への抵抗感には、有意な関係がなかった ( $p > 0.05$ )。

結論：過去に身体活動量を豊富に積んでおくことは、高齢期に強度の高い運動を継続することにつながる可能性が示された。

## 背景

現在、日本では高齢化が進んでおり、65 歳以上人口（2025 年 9 月 15 日推計）は、3619 万人、総人口に占める割合は 29.4%となり、過去最高となった（総務省統計局 2025）。2040 年には、65 歳以上の人口が全人口の約 35%となると推計されている（総務省統計局 2025）。要介護者も年々増加しており、2040 年には、要介護（要支援）認定者数は、843 万人に上ると推計されている（厚生労働省 2024）。これは、高齢社会が進んでいる日本において、とても重要な問題である。このような現状がある中で、2023 年には健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023（高齢者版）の基準に筋力トレーニングを週 2～3 日行うことが追加された（厚生労働省 2023）。また、筋力トレーニングは、高齢者がより長く健康で自立した生活を送ることを支援する可能性があり、高い筋力は全死因死亡リスクおよびがん死亡リスクの低減と強く関連していると報告されている（Tiril Tøien et al 2025）。筋力トレーニングを行う際は、高強度での実施が有効とされており、American College of Sports Medicine（2009）によると、1RM の 60～80% に相当する負荷を用いた筋力トレーニングを高齢者においても推奨すると報告している。現状として、高齢者のみを対象にした調査で、週 2 回以上の筋力トレーニングを、機具を用いて行っている割合は 9.2%、自重を利用して行っている割合は 26.2%であり（Kazahiro Harada et al 2015）、高齢者は筋力トレーニングを敬遠している傾向にあると考えられる。その要因としては、健康状態不良、痛み、疲労感、意志力の欠如といった個人的要因、家族や仕事の責任といった社会的要因、運動施設の不足や地理的な孤立といった環境的要因が挙げられる（Elissa Burton et al 2017）。しかし、Stephen D. Anton et al.（2005）によると、過去に豊富な身体活動をしてきた人は、高強度の運動を好む傾向にある。その理由は、成功したという経験が、挑戦的だが達成可能な特定の目標を立てるのに役立つため（Roy F Oman and Abby C

King 1998)、経験した達成感が、単なる行動の手がかりになるだけでなく、個人的効力感そのものを変容させたため (Albert Bandura 1977) といった心理的な要因が大きいと考えられる。

本研究の目的は、過去に豊富な身体活動量を経験しておくことで、高齢期に、強度の高い身体活動を継続的に行うことができるかを明らかにすることとした。そこで、本研究では、仮説 1) 過去の身体活動量が豊富な人の方が、高齢期に強度の高い運動を継続することができる、仮説 2) 過去の身体活動量が豊富な人の方が、高齢期の身体活動量への抵抗感を低下させることができるという 2 つの仮説を立てた。

## 方法

### 調査対象

保見いきいきアカデミー、八事いきいきアカデミーに参加した高齢者のうち、アンケートに不備等がなく、全てのデータを算出できる 35 名 ( $73.4 \pm 5.7$  歳 [62~84 歳]) が本研究の調査対象となった。

### 実験デザイン

本研究は紙面を用いたアンケート調査によって実施された (図 1~図 6)。保見いきいきアカデミーに参加する高齢者は、2025 年 10 月 3 日に保見交流館で行われた保見いきいきアカデミーにて実施した。

八事いきいきアカデミーに参加する高齢者は、2025 年 10 月 11 日に中京大学八事キャンパスで行われた八事いきいきアカデミーにて実施した。質問内容は、氏名、生年月日、過去・現在の身体活動量を問う質問が 38 問、身体活動への抵抗感を問う質問が 2 問、身体活動の継続に関する質問で構成した。

身体活動量を問う質問は IPAQ short 版 (Japan Physical Activity Research Platform) を用いて作成した。具体的には、①6 歳~12 歳のとき、②13 歳~15 歳のとき、③16 歳~19 歳のとき、④20 歳~39



氏名：\_\_\_\_\_ 生年月日 西暦：\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日

#### 卒業論文アンケート

以下の質問は、みなさまが日常生活の中でどのように身体活動を行っているか（どのように体を動かしているか）、

過去にどのように身体活動を行ってきたか（どのように体を動かしてきたか）を調べるものです。

対象期間のとある1週間を考えた場合、あなたが1日にどのくらいの時間、体を動かしているのか（体を動かしていたのか）をお尋ねしていきます。

身体活動（体を動かすこと）とは、仕事での活動、通勤・通学や買い物などいろいろな場所への移動、家事や庭仕事、余暇時間の運動やレジャーなどのすべての身体的な活動を含んでいることに留意して下さい。

対象期間について

- ① 6歳から12歳（主に小学生にあたる）
- ② 13歳から15歳（主に中学生にあたる）
- ③ 16歳から19歳（主に高校生にあたる）
- ④ 20歳から39歳
- ⑤ 40歳から59歳
- ⑥ 60歳から現在に至るまで

図1 アンケート (1/6)

回答にあたっては以下の点にご注意ください。

◆強い身体活動とは、身体的にきつと感じるような、かなり呼吸が乱れるような活動を意味します。

◆中等度の身体活動とは、身体的にやや負荷がかかり、少し息がはずむような活動を意味します。

※以下の質問では、1回につき少なくとも10分間以上続けて行った身体活動についてのみ考えて、お答え下さい

※可能な限り、思い出して記入してください。

<p>質問 1a その1週間では、強い身体活動（重い荷物の運搬、自転車 で坂道を上ること、ジョギング、テニスのシングルスなど） を行った日は何日ありましたか？</p> <p>※当時について全く思い出せない場合はXをつけてください。</p> <p>【例】 週 5 日 週 X 日（思い出せない場合）</p>	<p>①6～12歳のとき 週 _____ 日 （0～7）</p> <p>②13～15歳のとき 週 _____ 日</p> <p>③16～19歳のとき 週 _____ 日</p> <p>④20～39歳のとき 週 _____ 日</p> <p>⑤40～59歳のとき 週 _____ 日</p> <p>⑥60～現在のとき 週 _____ 日</p>
<p>質問 1b 強い身体活動を行った日は、平均で、1日合計してどのく らいの時間そのような活動を行いましたか？</p> <p>※質問 1a において週 0日だった場合、思い出せなかった場合は、 空欄で構いません。</p> <p>【例】 1日あたり 2 時間 30 分</p>	<p>①6～12歳のとき 1日あたり _____ 時間 _____ 分</p> <p>②13～15歳のとき 1日あたり _____ 時間 _____ 分</p> <p>③16～19歳のとき 1日あたり _____ 時間 _____ 分</p> <p>④20～39歳のとき 1日あたり _____ 時間 _____ 分</p> <p>⑤40～59歳のとき 1日あたり _____ 時間 _____ 分</p> <p>⑥60～現在のとき 1日あたり _____ 時間 _____ 分</p>

図2 アンケート（2/6）

<p>質問 2a その 1 週間では、<b>中等度</b>の身体活動（軽い荷物の運搬、子供との鬼ごっこ、ゆっくり泳ぐこと、テニスのダブルス、カートを使わないゴルフなど）を行った日は何日ありましたか？<b>歩行やウォーキングは含めない</b>でお答え下さい。</p> <p>※当時について全く思い出せない場合は<b>X</b>をつけてください。</p>	<table> <tr><td>①6～12 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>②13～15 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>③16～19 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>④20～39 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>⑤40～59 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>⑥60～現在のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> </table>	①6～12 歳のとき	週 _____ 日	②13～15 歳のとき	週 _____ 日	③16～19 歳のとき	週 _____ 日	④20～39 歳のとき	週 _____ 日	⑤40～59 歳のとき	週 _____ 日	⑥60～現在のとき	週 _____ 日
①6～12 歳のとき	週 _____ 日												
②13～15 歳のとき	週 _____ 日												
③16～19 歳のとき	週 _____ 日												
④20～39 歳のとき	週 _____ 日												
⑤40～59 歳のとき	週 _____ 日												
⑥60～現在のとき	週 _____ 日												
<p>質問 2b <b>中等度</b>の身体活動を行った日には、平均で、1 日合計してどのくらいの時間そのような活動を行いましたか？</p> <p>※質問 2a において週 <u>0</u> 日だった場合、思い出せなかった場合は、空欄で構いません。</p>	<table> <tr><td>①6～12 歳のとき</td><td>1 日あたり _____ 時間 _____ 分</td></tr> <tr><td>②13～15 歳のとき</td><td>1 日あたり _____ 時間 _____ 分</td></tr> <tr><td>③16～19 歳のとき</td><td>1 日あたり _____ 時間 _____ 分</td></tr> <tr><td>④20～39 歳のとき</td><td>1 日あたり _____ 時間 _____ 分</td></tr> <tr><td>⑤40～59 歳のとき</td><td>1 日あたり _____ 時間 _____ 分</td></tr> <tr><td>⑥60～現在のとき</td><td>1 日あたり _____ 時間 _____ 分</td></tr> </table>	①6～12 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分	②13～15 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分	③16～19 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分	④20～39 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分	⑤40～59 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分	⑥60～現在のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分
①6～12 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分												
②13～15 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分												
③16～19 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分												
④20～39 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分												
⑤40～59 歳のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分												
⑥60～現在のとき	1 日あたり _____ 時間 _____ 分												
<p>質問 3a その 1 週間では、10 分間以上続けて<b>歩く</b>ことは何日ありましたか？ここで、<b>歩く</b>とは仕事や日常生活で歩くこと、ある場所からある場所へ移動すること、あるいは趣味や運動としてのウォーキング、散歩など、全てを含みます。</p> <p>※当時について全く思い出せない場合は<b>X</b>をつけてください。</p>	<table> <tr><td>①6～12 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>②13～15 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>③16～19 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>④20～39 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>⑤40～59 歳のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> <tr><td>⑥60～現在のとき</td><td>週 _____ 日</td></tr> </table>	①6～12 歳のとき	週 _____ 日	②13～15 歳のとき	週 _____ 日	③16～19 歳のとき	週 _____ 日	④20～39 歳のとき	週 _____ 日	⑤40～59 歳のとき	週 _____ 日	⑥60～現在のとき	週 _____ 日
①6～12 歳のとき	週 _____ 日												
②13～15 歳のとき	週 _____ 日												
③16～19 歳のとき	週 _____ 日												
④20～39 歳のとき	週 _____ 日												
⑤40～59 歳のとき	週 _____ 日												
⑥60～現在のとき	週 _____ 日												

図 3 アンケート (3/6)

質問 3b そのような日には、平均で、1 日合計してどのくらいの時間歩きましたか？ ※質問 3a において週 0 日だった場合、思い出せなかった場合は、空欄で構いません。	①6～12 歳のとき	1 日あたり	_____	時間	_____	分
	②13～15 歳のとき	1 日あたり	_____	時間	_____	分
	③16～19 歳のとき	1 日あたり	_____	時間	_____	分
	④20～39 歳のとき	1 日あたり	_____	時間	_____	分
	⑤40～59 歳のとき	1 日あたり	_____	時間	_____	分
	⑥60～現在のとき	1 日あたり	_____	時間	_____	分

※次の質問 4 から質問 7 までの回答は、該当する箇所に縦線で印をつけてください。※質問 13 については記述式です。  
 その際、縦線は横線と交わるようにご記入ください。

【良い例】

全く体育の授業によるものではない

全ての身体活動が  
体育の授業によるものである

【良い例】左端に×マークをつけた場合

全く体育の授業によるものではない

全ての身体活動が  
体育の授業によるものである

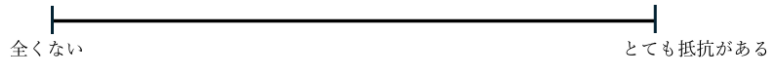
【悪い例】○で印をつけている。

全く体育の授業によるものではない

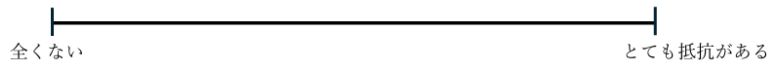
全ての身体活動が  
体育の授業によるものである

図 4 アンケート (4/6)

質問4 現在、強い身体活動（重い荷物の運搬、自転車で坂道を上ること、ジョギング、テニスのシングルスなど）への抵抗感はどのくらいありますか？



質問5 現在、中等度の身体活動（軽い荷物の運搬、子供との鬼ごっこ、ゆっくり泳ぐこと、テニスのダブルス、カートを使わないゴルフなど）への抵抗感はどのくらいありますか？



質問6 現在の生活を考えて、「10回をやっで行える強度のスクワット3セットを週2〜3回、40分以上の歩行またはそれと同等の身体活動を週7日」というような身体活動、をあなたはどのくらいの期間継続することができますか？

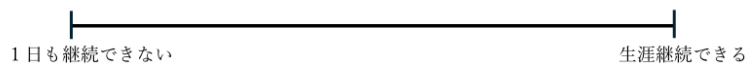


図5 アンケート (5/6)

質問7 最後の質問は、毎日座ったり寝転んだりして過ごしていた時間（工作中、自宅で、勉強中、余暇時間など）についてです。すなわち、机に向かったり、友人とおしゃべりをしたり、読書をしたり、座ったり、寝転んでテレビを見たり、といった全ての時間を含みます。なお、睡眠時間は含めないで下さい。

現在、平日には、平均で、1日合計してどのくらいの時間座ったり寝転んだりして過ごしていますか？

1日 \_\_\_\_\_ 時間 \_\_\_\_\_ 分

現在、休日には、平均で、1日合計してどのくらいの時間座ったり寝転んだりして過ごしていますか？

1日 \_\_\_\_\_ 時間 \_\_\_\_\_ 分

質問は以上です。  
ご協力ありがとうございました。  
渡邊航平研究室 村井佑崇

図6 アンケート (6/6)

歳のとき、⑤40 歳～59 歳のとき、⑥60 歳～現在の 1 週間の身体活動量を、回答してもらった。また、現在の強い身体活動・中等度の身体活動への抵抗感を問う質問は、それぞれ 10 段階の VAS スケール（0 全くない、10 とても抵抗がある）で当てはまる所に×を付けて回答する方式とした。身体活動の継続に関する質問では、厚生労働省の示す「健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023」の推奨事項の概要・高齢者版}を参考に、強度の高い運動を継続できるかを 10 段階の VAS スケール（0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる）で当てはまる所に×を付けて回答する方式とした。具体的には、10 回をやっと行える強度の筋力トレーニングを週 2～3 日と 1 日 40 分の歩行またはそれと同等の身体活動を週 7 日継続できるかを、VAS スケール（0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる）で回答してもらった。

身体活動量を問う質問において、過去について覚えていないことを示す「×」の回答があった回答、年齢、生年月日を回答しておらず、年齢が不明な回答に関しては、当時の身体活動量の算出が不可能である為、統計からは除外することとした。

#### 身体活動量の評価

質問 1 a、質問 1 b で得られた回答を用いて、 $\{8.0 \text{ (METs)} \times 1 \text{ 日あたりの強い身体活動量の時間 (分)} \times 1 \text{ 週間あたりの強い身体活動を行った日数 (日)}\}$  で 1 週間あたりの強い身体活動量 (METs・分/週) を①～⑥の年代ごとに、それぞれ計算した（国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005）。質問 2 a、質問 2 b で得られた回答を用いて、 $\{4.0 \text{ (METs)} \times 1 \text{ 日あたりの中程度の身体活動量の時間 (分)} \times 1 \text{ 週間あたりの中程度の身体活動を行った日数 (日)}\}$  で 1 週間

あたりの中程度の身体活動量 (METs・分/週) を①～⑥の年代ごとに、それぞれ計算した (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。質問 3 a、質問 3 b で得られた回答を用いて、 $\{3.3 \text{ (METs)} \times 1 \text{ 日あたりの歩行に関する身体活動の時間 (分)} \times 1 \text{ 週間あたりの歩行に関する身体活動を行った日数 (日)}\}$  で 1 週間あたりの歩行に関する身体活動量 (METs・分/週) を①～⑥の年代ごとに、それぞれ計算した (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

これらの質問 1 a～3 b で得られた回答を用いて、 $\{1 \text{ 週間あたりの強い身体活動量 (METs・分/週)} + 1 \text{ 週間あたりの中程度の身体活動量 (METs・分/週)} + 1 \text{ 週間あたりの歩行に関する身体活動量 (METs・分/週)}\}$  で①～⑥の年代ごとの 1 週間あたりの総身体活動量 (METs・分/週) を計算した (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

身体活動量のカテゴリカルデータでの評価

集団を分類するために身体活動レベル別に「1:低身体活動」、「2:中身体活動」、「3:高身体活動」の 3 つのカテゴリを定める。(国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

カテゴリ 1:低身体活動

最も身体活動レベルが低いカテゴリである。カテゴリ 2 または 3 の基準を満たさないことは「低身体活動」とされる (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

カテゴリ 2:中身体活動



「中身体活動」として分類される身体活動パターンは、以下の基準のいずれかである（国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005）。

- A) 1 日 20 分以上の強い身体活動を週 3 日以上
- B) 1 日 30 分以上の中等度の身体活動または歩行を週 5 日以上
- C) 歩行、中等度の身体活動、強い身体活動のいずれかを週 5 日以上実施し、総身体活動が 600 (METs・分/週) 以上

その際、以下の基準を満たす者は「週 5 日以上」という新たなカテゴリーに分類し、この基準を判定に使用すべきである（国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005）。

- a) 歩行および中等度の身体活動を少なくとも 1 日あたり 30 分以上実施し、週 5 日以上
- b) 歩行、中等度の身体活動、強い身体活動のいずれかで 600 (METs・分/週) 以上

A) ～C) の少なくとも 1 つを満たす者は最低レベルの身体活動を行っている者として、中身体活動に分類される（国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005）。

### カテゴリー3:高身体活動

以下のいずれかを満たす場合、「高身体活動」と分類される（国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005）。

- A) 強い身体活動を 1 週間あたり 3 日以上行い、その総身体活動量の合計が 1500 (METs・分/週) 以上
- B) 歩行、中等度の身体活動、強い身体活動の 1 週間あたりの合計日数が 7 日間以上で、なおかつ総身体活動量が合計 3000 (METs・分/週) 以上

## 座位時間の評価

質問 6 で得られた回答を用いて、 $[\{ \text{平日の座位時間 (分)} \times 5 \text{ 日} + \text{休日の座位時間 (分)} \times 2 \} / 7]$

で 1 日あたりの平均座位時間 (分/日) を計算した (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

## データ処理のルール

1, 各質問で回答された時間に関しては、「時間」から「分」単位に統一する (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

2, 「わからない」や「回答拒否」などの理由で時間または日数に関するデータが欠損している場合、その回答は分析から除外する (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

3, 歩行、中等度の身体活動、強い身体活動の合計時間が 960 分 (16 時間) を超える者は分析から除外する必要がある。これは、1 日の平均睡眠時間が 8 時間であることから推定している (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

4, 10 分以上継続する活動時間のみ、スコアの算出に用いる。健康利益を得るためには、10 分以上継続する活動を行うことが示唆されている。10 分未満の回答 (とその日数) は 0 と置き換える (国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン 2005)。

5, 「3 時間」または「180 分」を超える歩行時間、中等度の身体活動時間、強い身体活動時間はデータを切り捨て「180 分」とする。このルールは、それぞれの活動が最大週 21 時間 (3 時間×7 日) であ

ることを許容する（国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン

2005）。

6，生年月日を回答しておらず、年齢が不明な回答に関しては、当時の身体活動量の算出が不可能である為、統計からは除外することとした。

## 調査内容

過去・現在の身体活動量を明らかにするため、質問 1 a、1 b を設けた。ここでの「強い身体活動」とは、IPAQ short 版（Japan Physical Activity Research Platform）に則り、身体的にきついと感じるような、かなり呼吸が乱れるような活動（重い荷物の運搬、自転車で坂道を上ること、ジョギング、テニスのシングルスなど）を意味することとした。

過去・現在の身体活動量を明らかにするため、質問 2 a、2 b を設けた。ここでの「中等度の身体活動」とは、IPAQ short 版（Japan Physical Activity Research Platform）に則り、身体的にやや負荷がかかり、少し息がはずむような活動（軽い荷物の運搬、子供との鬼ごっこ、ゆっくり泳ぐこと、テニスのダブルス、カートを使わないゴルフなど）を意味することとした。

過去・現在の身体活動量を明らかにするために、3 a、3 b を設けた。ここでの「歩く」とは、IPAQ short 版（Japan Physical Activity Research Platform）に則り、仕事や日常生活で歩くこと、ある場所からある場所へ移動すること、あるいは趣味や運動としてのウォーキング、散歩など全てを含むこととした。

現在の強い身体活動への抵抗感を明らかにするため、質問 4 を設けた。強い身体活動への抵抗感を VAS スケール（0 全くない、10 とても抵抗がある）を用いて尋ねた。

現在の中程度の身体活動への抵抗感を明らかにするために、質問 5 を設けた。中程度の身体活動への抵抗感を VAS スケール（0 全くない、10 とても抵抗がある）を用いて尋ねた。

現在、厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率を明らかにするために、質問 6 を設けた。ここでの「厚生労働省に推奨されている身体活動」とは、{「健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023」の推奨事項の概要・高齢者版} を参考に、10 回をやっと行える強度のスクワット 3 セットを週 2 ～ 3 回、40 分以上の歩行またはそれと同等の身体活動を週 7 日とした。この身体活動を継続できるかを 10 段階の VAS スケール（0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる）を用いて尋ねた。

現在の平均座位時間を明らかにするために、質問 7 を設けた。

#### 統計解析

質問 1a から質問 3b で得られたデータは平均と標準偏差として表した。質問 4 から質問 6 で得られたデータは平均、標準偏差、最小値と最大値として表した。質問 1a から質問 3b で得られたデータを用いて算出した身体活動量は、質問 7 は中央値と四分位範囲として表した。有意水準は 0.05 未満とした。

過去の身体活動量と強度の高い運動の継続率、過去の身体活動量と身体活動への抵抗感の相関を調べるために、Spearman の順位相関係数を使用し、分析した。すべての統計解析は、SPSS ソフトウェア

（version25:SPSS, 東京, 日本）を利用した。

## 結果

質問 1a は、強い身体活動を過去に 1 週間あたり何日行っていたか、現在は何日行っているかに関する質問であり、① $2.2 \pm 2.2$  日、② $3.3 \pm 2.6$  日、③ $5.7 \pm 2.1$  日、④ $3.1 \pm 2.5$  日、⑤ $3.1 \pm 2.4$  日、⑥ $5.8 \pm 1.8$  日という回答であった（表 1）。

質問 1b は、1 日に強い身体活動を行う時間に関する質問であり、① $53.0 \pm 54.5$  分、② $71.0 \pm 59.6$  分、③ $73.1 \pm 54.8$  分、④ $68.3 \pm 61.5$  分、⑤ $69.7 \pm 61.4$  分、⑥ $77.4 \pm 49.4$  分という回答であった（表 2）。

質問 2a は、中等度の身体活動を過去に 1 週間あたり何日行っていたか、現在は何日行っているかに関する質問であり、① $3.2 \pm 2.4$  日、② $2.6 \pm 2.3$  日、③ $5.7 \pm 1.8$  日、④ $2.0 \pm 1.9$  日、⑤ $2.3 \pm 2.0$  日、⑥ $5.2 \pm 2.1$  日という回答であった（表 3）。

質問 2b は、1 日に中等度の身体活動を行う時間に関する質問であり、① $75.4 \pm 64.6$  分、② $73.6 \pm 64.0$  分、③ $78.6 \pm 53.8$  分、④ $59.1 \pm 59.8$  分、⑤ $65.4 \pm 58.3$  分、⑥ $73.4 \pm 52.1$  分という回答であった（表 4）。

質問 3a は、歩行に関する身体活動を過去に 1 週間あたり何日行っていたか、現在は何日行っているかに関する質問であり、① $2.0 \pm 1.9$  日、② $1.9 \pm 1.7$  日、③ $5.1 \pm 2.1$  日、④ $1.6 \pm 1.9$  日、⑤ $2.0 \pm 1.7$  日、⑥ $4.3 \pm 2.1$  日という回答であった（表 5）。

質問 3b は、1 日に歩行に関する身体活動を行う時間に関する質問であり、① $64.6 \pm 61.2$  分、② $57.4 \pm 54.8$  分、③ $79.4 \pm 53.2$  分、④ $52.4 \pm 50.5$  分、⑤ $73.4 \pm 61.5$  分、⑥ $69.3 \pm 45.8$  分という回答であった（表 6）。

表 1 質問 1a の回答

① 6 歳から 12 歳のとき	2.2±2.2 (日)
② 13 歳から 15 歳のとき	3.3±2.6 (日)
③ 16 歳から 19 歳のとき	5.7±2.1 (日)
④ 20 歳から 39 歳のとき	3.1±2.5 (日)
⑤ 40 歳から 59 歳のとき	3.1±2.4 (日)
⑥ 60 歳から現在のとき	5.8±1.8 (日)

表 2 質問 1b の回答

① 6 歳から 12 歳のとき	53.0±54.5 (分)
② 13 歳から 15 歳のとき	71.0±59.6 (分)
③ 16 歳から 19 歳のとき	73.1±54.8 (分)
④ 20 歳から 39 歳のとき	68.3±61.5 (分)
⑤ 40 歳から 59 歳のとき	69.7±61.4 (分)
⑥ 60 歳から現在のとき	77.4±49.4 (分)

表 3 質問 2a の回答

① 6 歳から 12 歳のとき	$3.2 \pm 2.4$ (日)
② 13 歳から 15 歳のとき	$2.6 \pm 2.3$ (日)
③ 16 歳から 19 歳のとき	$5.7 \pm 1.8$ (日)
④ 20 歳から 39 歳のとき	$2.0 \pm 1.9$ (日)
⑤ 40 歳から 59 歳のとき	$2.3 \pm 2.0$ (日)
⑥ 60 歳から現在のとき	$5.2 \pm 2.1$ (日)



表 4 質問 2b の回答

① 6 歳から 12 歳のとき	75.4±64.6 (分)
② 13 歳から 15 歳のとき	73.6±64.0 (分)
③ 16 歳から 19 歳のとき	78.6±53.8 (分)
④ 20 歳から 39 歳のとき	59.1±59.8 (分)
⑤ 40 歳から 59 歳のとき	65.4±58.3 (分)
⑥ 60 歳から現在のとき	73.4±52.1 (分)

表 5 質問 3a の回答

① 6 歳から 12 歳のとき	2.0±1.9 (日)
② 13 歳から 15 歳のとき	1.9±1.7 (日)
③ 16 歳から 19 歳のとき	5.1±2.1 (日)
④ 20 歳から 39 歳のとき	1.6±1.9 (日)
⑤ 40 歳から 59 歳のとき	2.0±1.7 (日)
⑥ 60 歳から現在のとき	4.3±2.1 (日)

表 6 質問 3b の回答

① 6 歳から 12 歳のとき	64.6±61.2 (分)
② 13 歳から 15 歳のとき	57.4±54.8 (分)
③ 16 歳から 19 歳のとき	79.4±53.2 (分)
④ 20 歳から 39 歳のとき	52.4±50.5 (分)
⑤ 40 歳から 59 歳のとき	73.4±61.5 (分)
⑥ 60 歳から現在のとき	69.3±45.8 (分)

質問 4 は、現在の強い身体活動への抵抗感を明らかにする質問であり、 $4.7 \pm 3.3$  (0 全くない、10 とても抵抗がある) という回答であった (表 7)。

質問 5 は、現在の中等度の身体活動への抵抗感を明らかにする質問であり、 $3.6 \pm 3.1$  (0 全くない、10 とても抵抗がある) という回答であった (表 7)。

質問 6 は、現在、厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率を明らかにする質問であり、 $4.4 \pm 2.6$  (0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる) という回答であった (表 7)。

質問 7 は、現在の 1 日あたりの平均座位時間を明らかにするための質問であり、 $334 \pm 201.9$  分という結果であった (図 7)。

質問 1a と 1b のデータから、強い身体活動の身体活動量を算出した結果、強い身体活動の身体活動量は、①480 (0-2400) METs・分/週、②2400 (0-4320) METs・分/週、③1440 (200-4800) METs・分/週、④480 (0-1680) METs・分/週、⑤480 (0-2160) METs・分/週、⑥480 (0-1440) METs・分/週となった (図 8)。

質問 2a と 2b のデータから、中等度の身体活動の身体活動量を計算した結果、中等度の身体活動の身体活動量は、①960 (140-1860) METs・分/週、②720 (0-1920) METs・分/週、③480 (0-1680) METs・分/週、④480 (0-1200) METs・分/週、⑤480 (0-840) METs・分/週、⑥480 (160-960) METs・分/週となった (図 9)。

質問 3a と 3b のデータから、歩行に関する身体活動の身体活動量を計算した結果、歩行に関する身体活動量は、①1188 (594-2178) METs・分/週、②1386 (627-2574) METs・分/週、③1188 (643.5-2574)

表 7 質問 4、5、6 の回答

質問 4 強い身体活動への 抵抗感	質問 5 中等度の身体活動への 抵抗感	質問 6 推奨されている 身体活動の継続率
4.7±3.3 (0-10)	3.6±3.1 (0-10)	4.4±2.6 (0-9.4)
平均±標準偏差 (最小値-最大値) で表した		

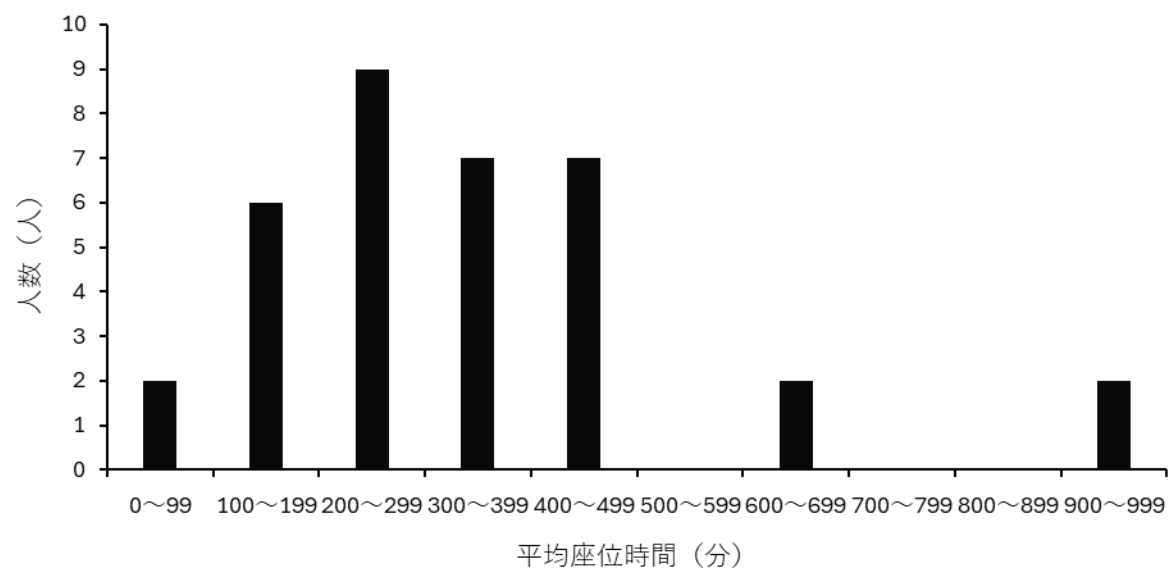


図 7 質問 7 をもとにした結果

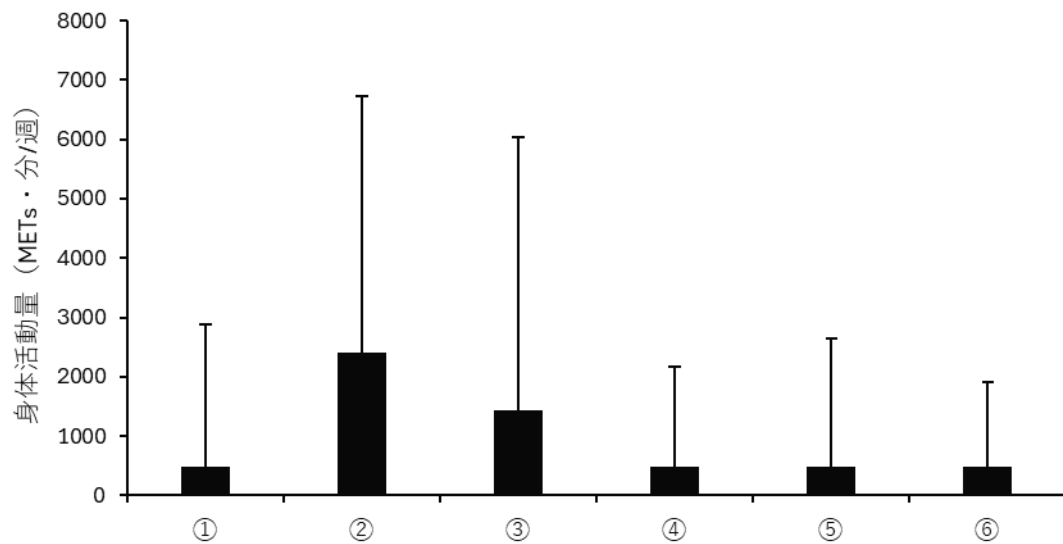


図8 ①6歳から12歳のとき、②13歳から15歳のとき、③16歳から19歳のとき、④20歳から39歳のとき、⑤40歳から59歳のとき、⑥60歳から現在の強い身体活動の身体活動量

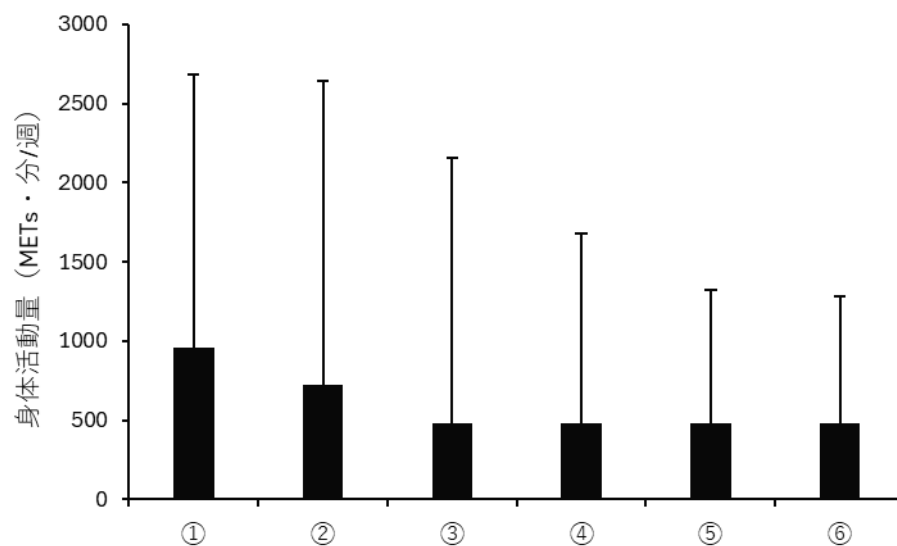


図9 ①6歳から12歳のとき、②13歳から15歳のとき、③16歳から19歳のとき、④20歳から39歳のとき、⑤40歳から59歳のとき、⑥60歳から現在の中程度の身体活動の身体活動量



METs・分/週、④1188 (429-2029.5) METs・分/週、⑤1188 (544.5-1980) METs・分/週、⑥1089 (396-1485) METs・分/週となった (図 10)。

質問 1 a～3 b のデータから、総身体活動量を計算した結果、総身体活動量は、①3765 (1413-6919.5) METs・分/週、②4830 (3180-7839) METs・分/週、③4212 (2181-8692.5) METs・分/週、④2772 (1641.5-4959) METs・分/週、⑤2700 (1479-5108) METs・分/週、⑥2034 (1279.5-4359) METs・分/週となった (図 11)。

⑥60 歳から現在の総身体活動量のデータをもとに、IPAQ short 版によるカテゴリカルデータでの評価により、集団を「低身体活動」「中身体活動」「高身体活動」に分類したところ、「低身体活動群 14.3%」「中身体活動群 48.6%」「高身体活動群 37.1%」であった (表 8)。

①から⑤のときの過去の身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率の間に相関関係が見られるか Spearman の順位相関係数を行ったところ、①6 歳から 12 歳のときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続できるかに相関関係はみられなかった ( $r=0.277$ ,  $p=0.107>0.05$ ) (図 12)。②13 歳から 15 歳のときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続できるかに相関関係がみられた ( $r=0.387$ ,  $p=0.021<0.05$ ) (図 13)。③16 歳から 19 歳のときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続できるかに相関関係はみられなかった ( $r=0.117$ ,  $p=0.502>0.05$ ) (図 14)。④20 歳から 39 歳のときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続できるかに相関関係がみられた ( $r=0.455$ ,  $p=0.006<0.05$ ) (図 15)。⑤40 歳から 59 歳のときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続できるかに相関関係はみられなかった ( $r=0.242$ ,  $p=0.161>0.05$ ) (図 16)。

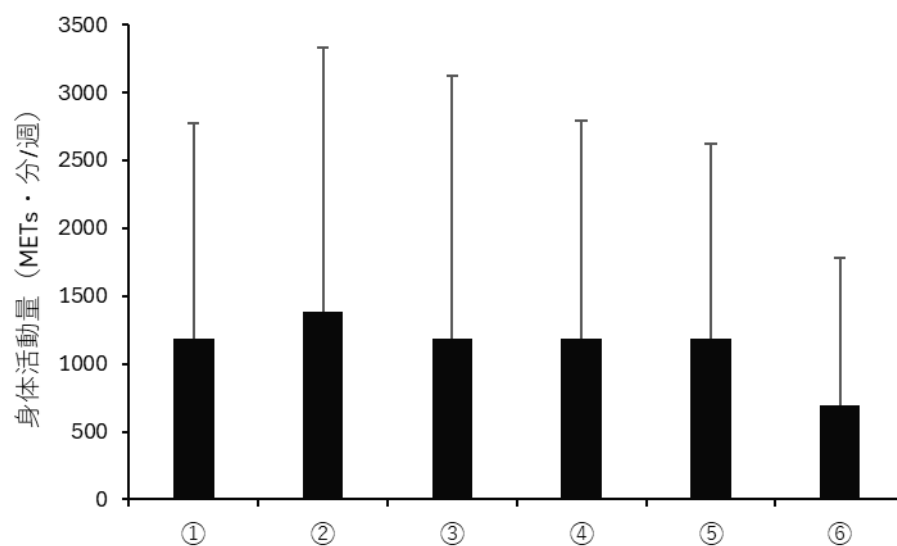


図 10 ①6 歳から 12 歳のとき、②13 歳から 15 歳のとき、③16 歳から 19 歳のとき、④20 歳から 39 歳のとき、⑤40 歳から 59 歳のとき、⑥60 歳から現在の歩行に関する身体活動の身体活動量

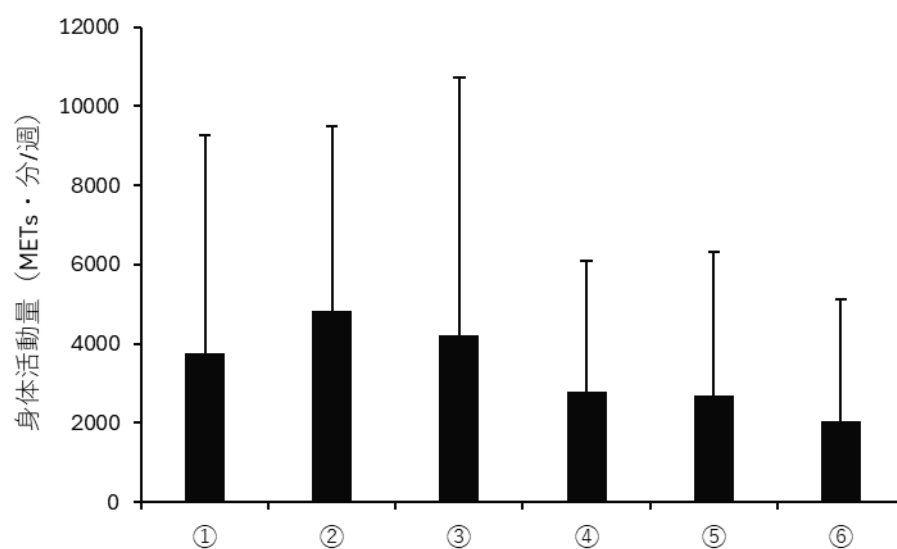


図 11 ①6 歳から 12 歳のとき、②13 歳から 15 歳のとき、③16 歳から 19 歳のとき、④20 歳から 39 歳のとき、⑤40 歳から 59 歳のとき、⑥60 歳から現在のときの総身体活動量

表 8 身体活動量のカテゴリカルデータでの評価

カテゴリー1:低身体活動	カテゴリー2:中身体活動	カテゴリー3:高身体活動
5 人	17 人	13 人
14.3%	48.6%	37.1%

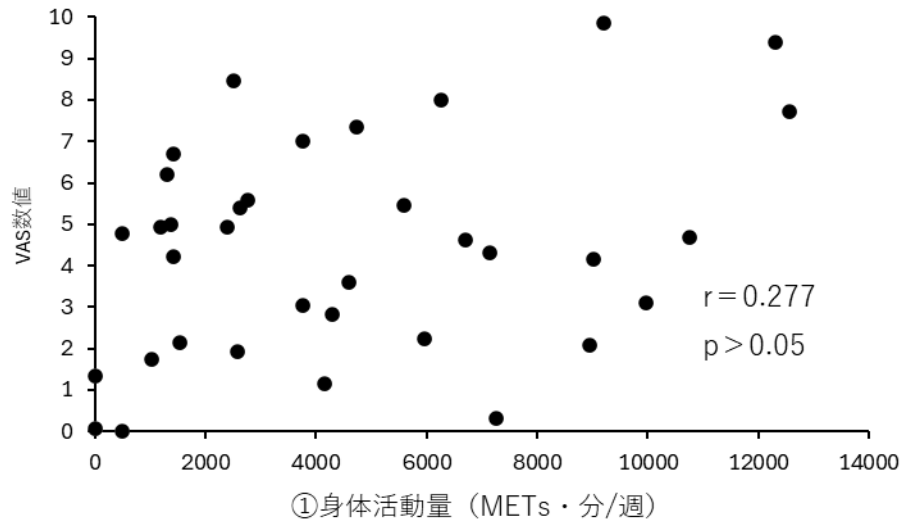


図 12 ①6 歳から 12 歳の時ときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率（0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる）の関係

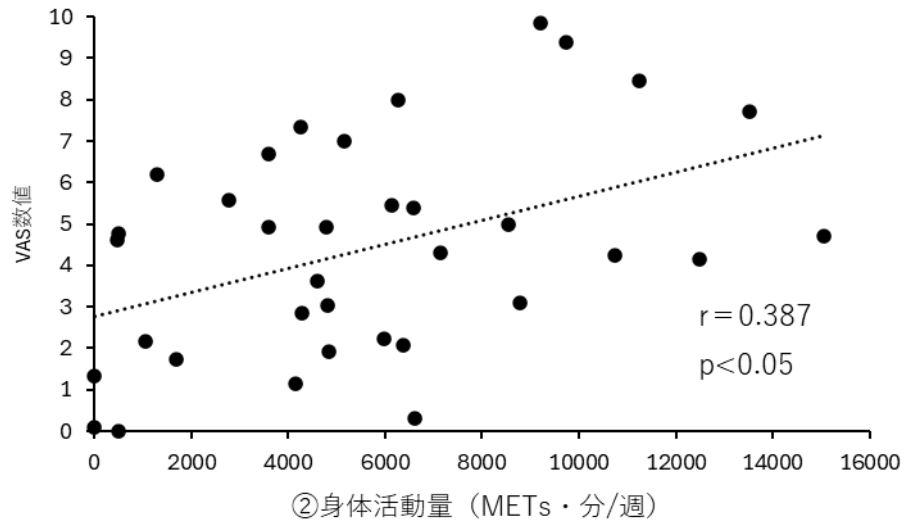


図 13 ②13 歳から 15 歳の時ときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率 (0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる) の関係

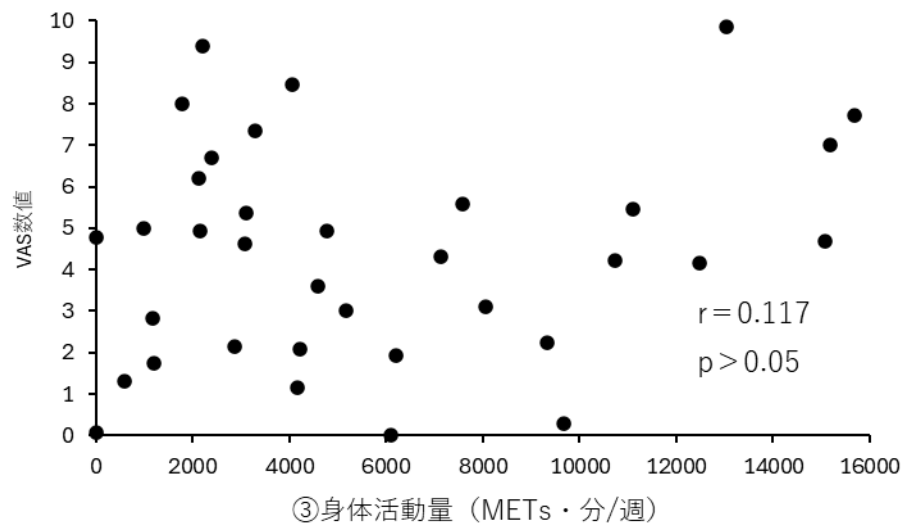


図 14 ③16 歳から 19 歳の時ときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率（0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる）の関係

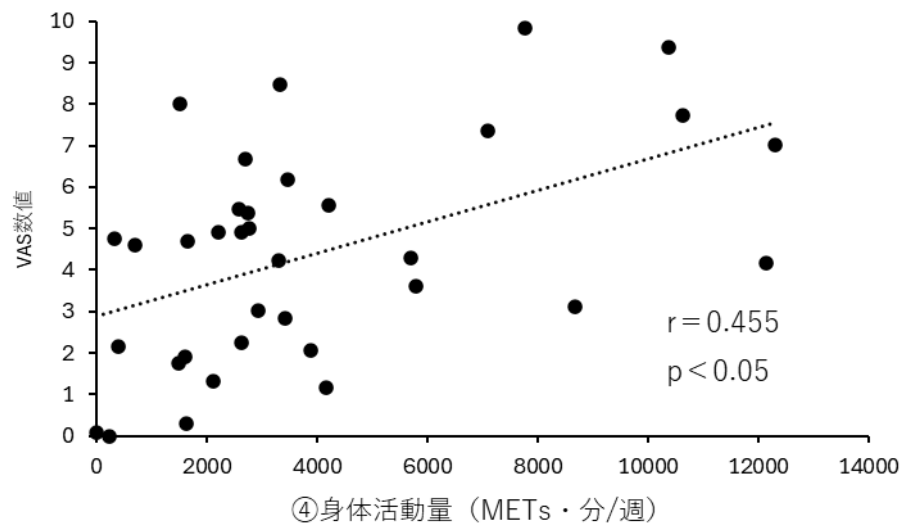


図 15 ④20 歳から 39 歳の時ときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率 (0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる) の関係



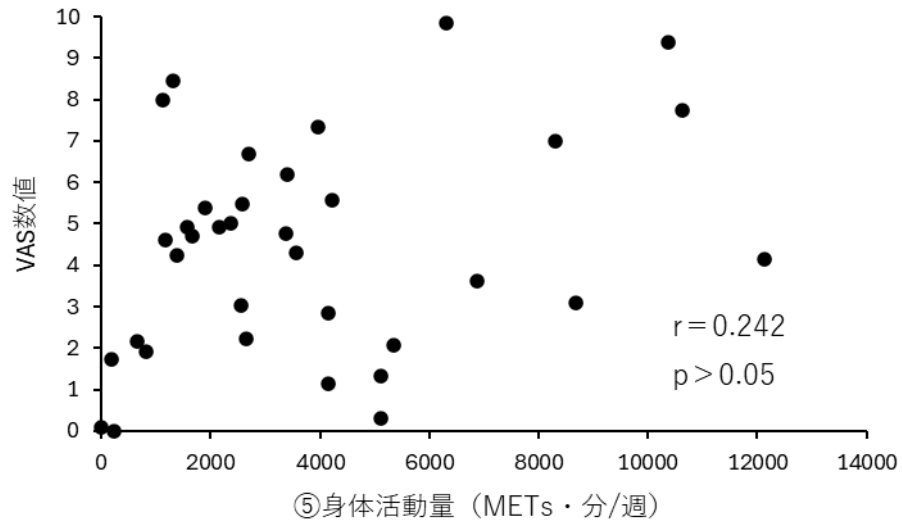


図 16 ⑤40 歳から 59 歳の時ときの身体活動量と厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続率 (0 1 日も継続できない、10 生涯継続できる) の関係

①から⑤のときの過去の身体活動量と強い身体活動への抵抗感の間に相関関係が見られるか Spearman の順位相関係数を行ったところ、①6 歳から 12 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.240$ 、 $p=0.166>0.05$ ) (図 17)。②13 歳から 15 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.184$ 、 $p=0.289>0.05$ ) (図 18)。③16 歳から 19 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.284$ 、 $p=0.098>0.05$ ) (図 19)。④20 歳から 39 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.056$ 、 $p=0.750>0.05$ ) (図 20)。⑤40 歳から 59 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.129$ 、 $p=0.461>0.05$ ) (図 21)。①から⑤のときの過去の身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感の間に相関関係が見られるか Spearman の順位相関係数を行ったところ、①6 歳から 12 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.135$ 、 $p=0.440>0.05$ ) (図 22)。②13 歳から 15 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.070$ 、 $p=0.688>0.05$ ) (図 23)。③16 歳から 19 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=-0.239$ 、 $p=0.167>0.05$ ) (図 24)。④20 歳から 39 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=0.041$ 、 $p=0.814>0.05$ ) (図 25)。⑤40 歳から 59 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感に相関関係はみられなかった ( $r=0.049$ 、 $p=0.782>0.05$ ) (図 26)。

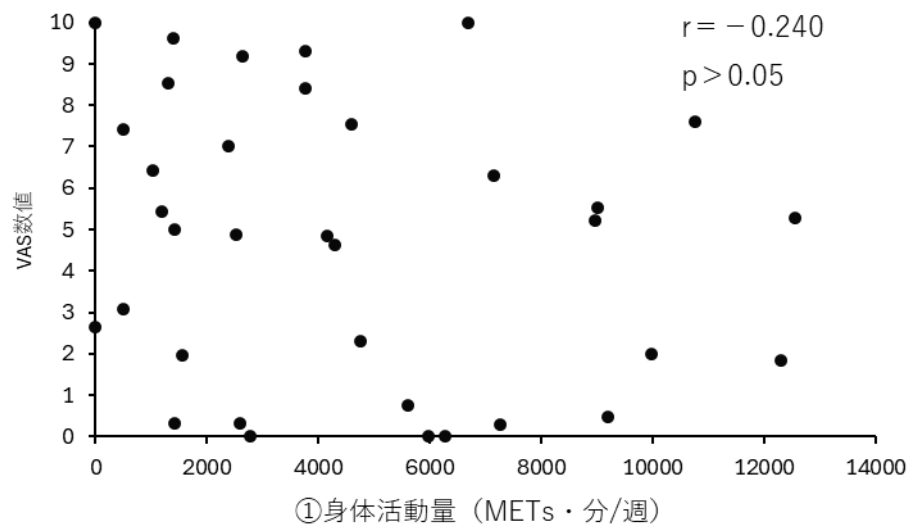


図 17 ①6 歳から 12 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感（0 全くない、10 とても抵抗がある）の関係

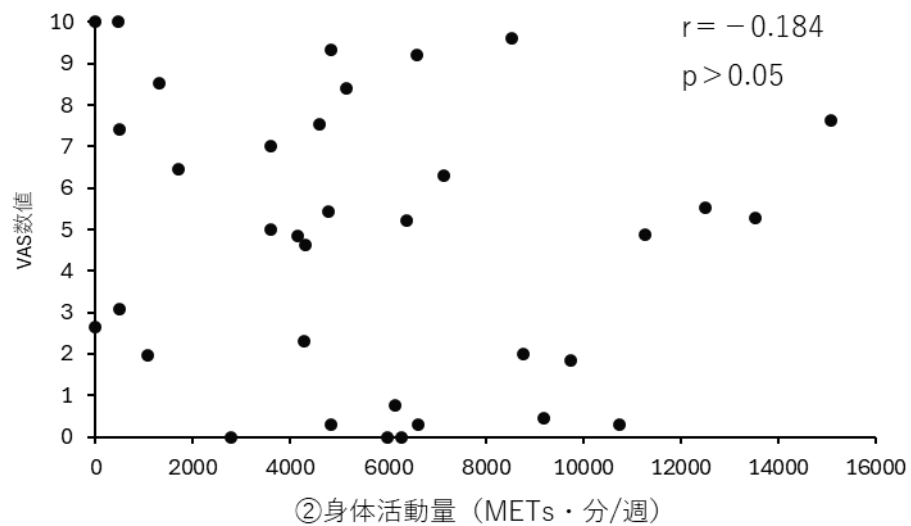


図 18 ②13 歳から 15 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感 (0 全くない、10 とても抵抗がある) の関係

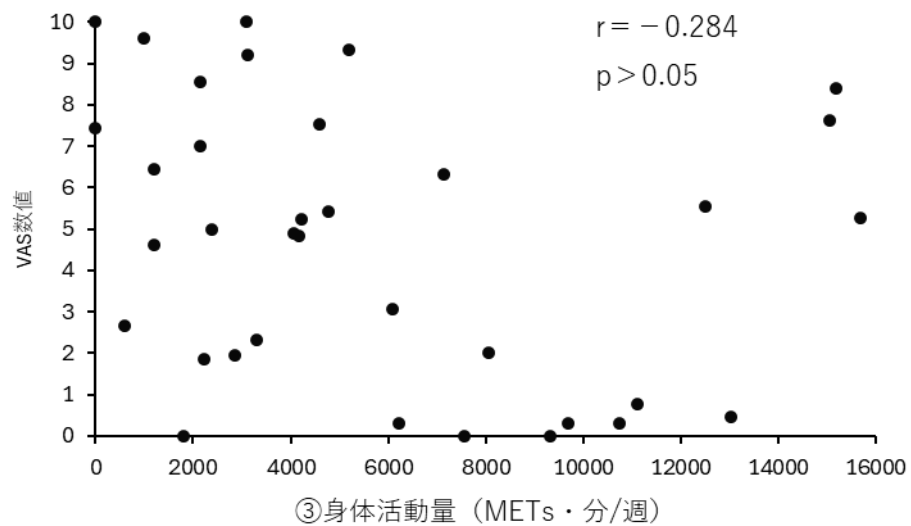


図 19 ③16 歳から 19 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感 (0 全くない、10 とても抵抗がある) の関係

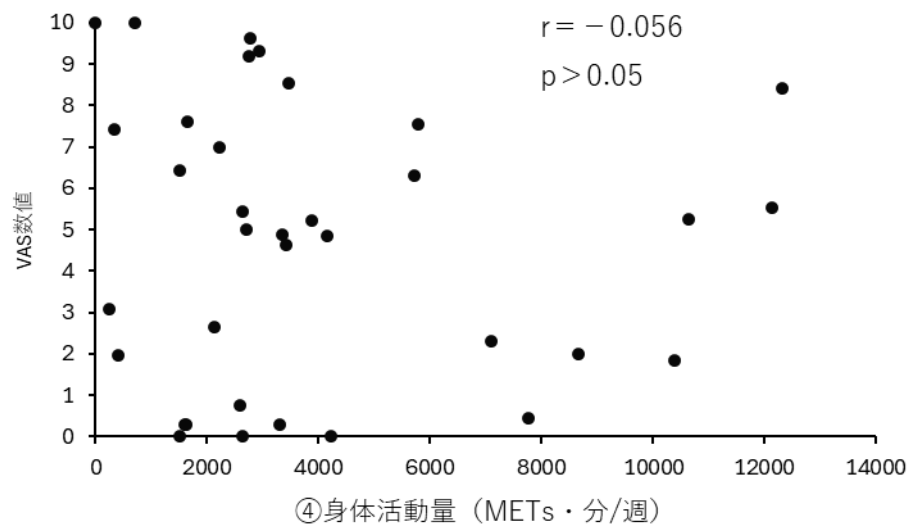


図 20 ④20 歳から 39 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感 (0 全くない、10 とても抵抗がある) の関係

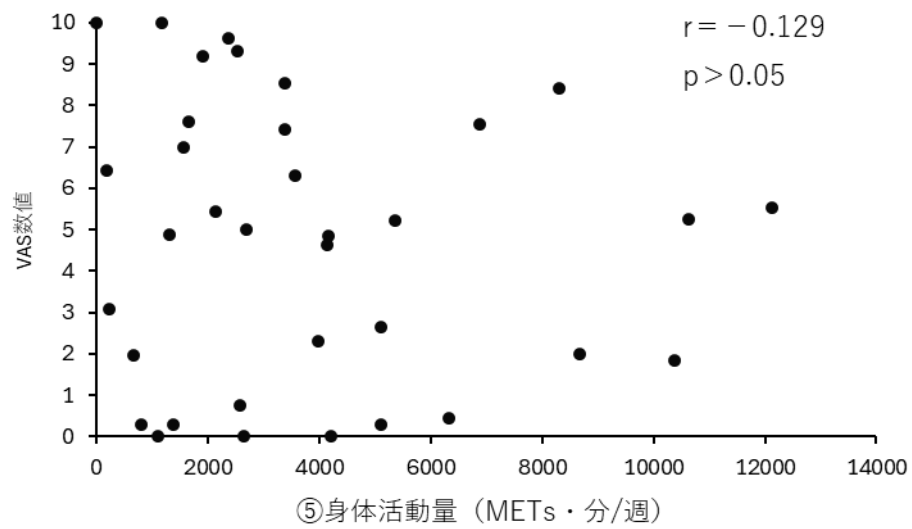


図 21 ⑤40 歳から 59 歳のときの身体活動量と強い身体活動への抵抗感（0 全くない、10 とても抵抗がある）の関係

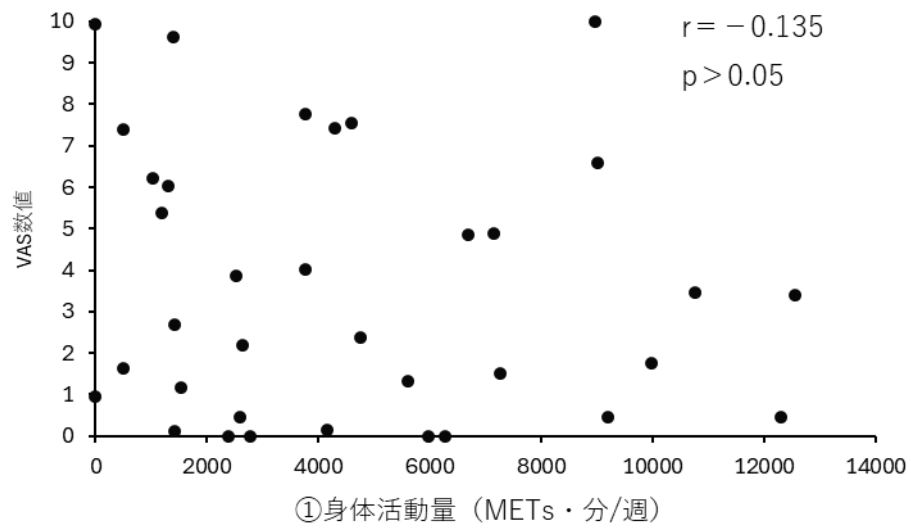


図 22 ①6 歳から 12 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感 (0 全くない、10 とても抵抗がある) の関係



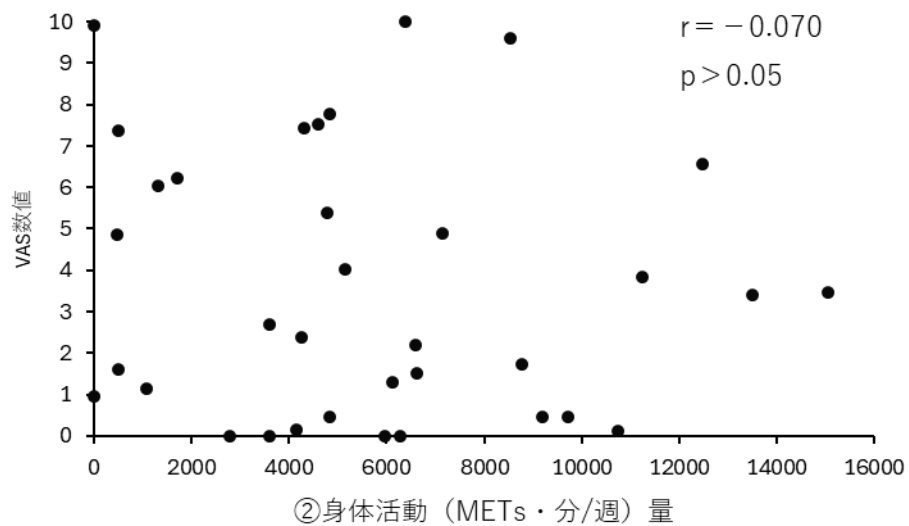


図 23 ②13 歳から 15 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感 (0 全くない、10 とても抵抗がある) の関係

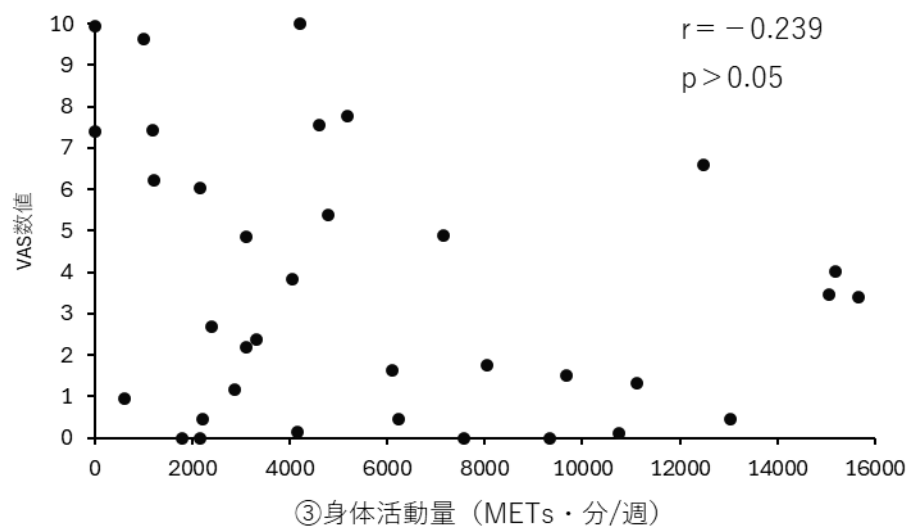


図 24 ③16 歳から 19 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感 (0 全くない、10 とても抵抗がある) の関係

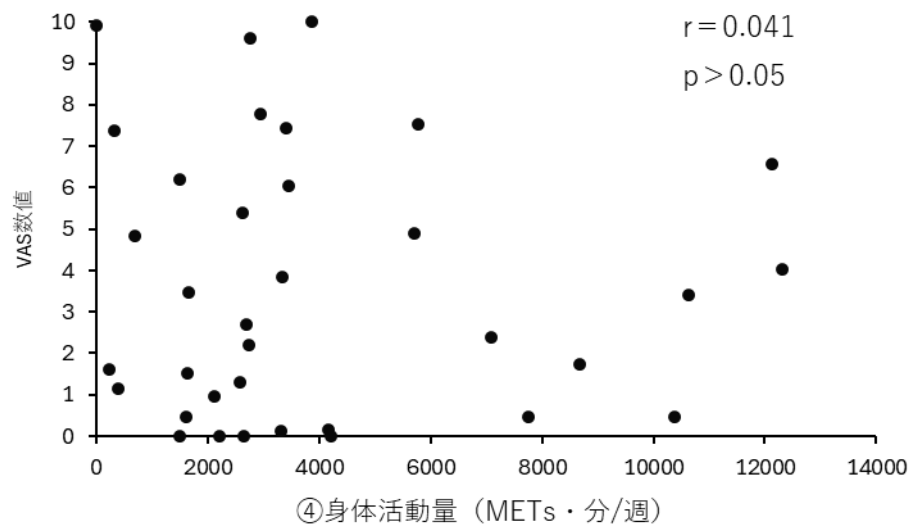


図 25 ④20 歳から 39 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感（0 全くない、10 とても抵抗がある）の関係

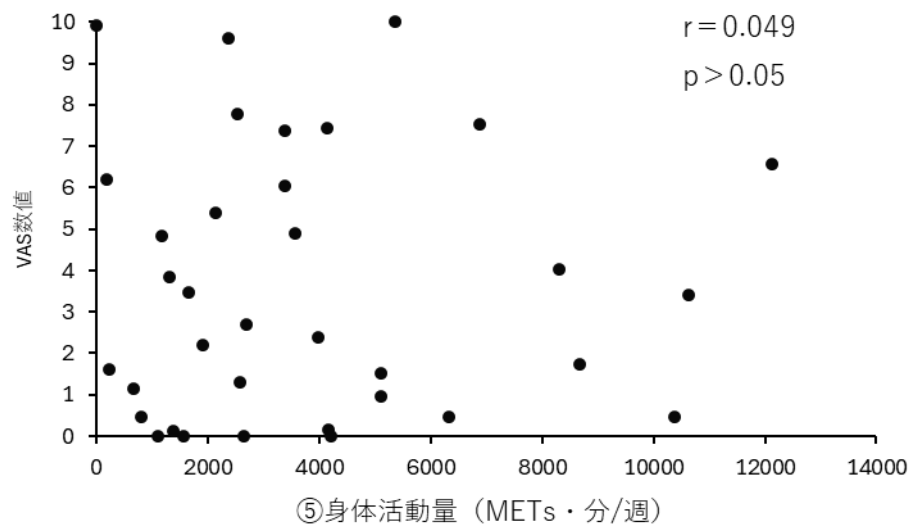


図 26 ⑤40 歳から 59 歳のときの身体活動量と中等度の身体活動への抵抗感（0 全くない、10 とても抵抗がある）の関係

## 考察

本研究は、過去に豊富な身体活動量を経験しておくことで、高齢期に、強度の高い身体活動を継続的に行うことができるかを明らかにすることを目的として、過去の身体活動量が豊富な人の方が、高齢期に強度の高い運動を継続することができる、過去の身体活動量が豊富な人の方が、高齢期の身体活動量への抵抗感を低下させることができるという2つの仮説についてアンケート調査を行った。⑥にあたる60歳から現在の身体活動のアンケート調査の結果を先行研究と比較し、本研究の調査対象がどのような集団であるかを確認した。

2013年名古屋市緑区の在宅高齢者75.8±4.2歳対象に行った先行研究(Satoshi Kurita et al 2021)と、IPAQのデータを「高強度の身体活動」「中等度の身体活動」の1週間あたりの身体活動時間が150分以上か否かを算出したデータと比較すると、「高強度の身体活動」と「中等度の身体活動」の1週間あたりの身体活動時間が150分以上だった割合が先行研究は、36%に対して、本研究は、63%であったため、この先行研究の対象者と本調査の対象を比較すると、本研究の調査対象は非常に活動的な集団であったと考えられる。また、奈良市で行われた先行研究(Kimiko Tomioka et al 2011)と比較して、先行研究の「座位時間」は65歳から74歳の高齢者において、3.0(2.0-5.0)時間であり、本研究では5.0(3.7-7.0)時間であった。そのため、本研究の調査対象は先行研究と比較して座位時間が長い集団である。さらに、先行研究の65歳から74歳の高齢者の男性集団と「強い身体活動時間」、「中等度の身体活動時間」、「歩行時間」において中央値(四分位範囲)を比較した際、先行研究は「強い身体活動時間」が0(0.0-156.2)、「中等度の身体活動時間」が65.0(0.0-250.0)であったのに対し、本研究は「強い身体活動時間」が60(0-180)、「中等度の身体活動時間」120(40-240)であり、「歩行時間」

は先行研究が 360 (150.0-630.0) であったのに対し、本研究は 210 (120-450) であった。これらの比較から、本研究の調査対象は、藤原京調査と比較して、「強い身体活動時間」「中等度の身体活動時間」が長く、「歩行時間」が短いため、総身体活動において、歩行に依存していない集団であると考えられる。

次に、過去の①～⑤の期間それぞれの身体活動量について他の先行研究と比較した。本研究①の身体活動量を年齢 10 歳～12 歳の小学生を対象とした日本の先行研究（大島秀武ら 2017）と、強い身体活動と中等度の身体活動の実施時間（分/週）の平均±標準偏差で比較したところ、先行研究が  $785 \pm 538$  であったのに対し、本研究では  $553 \pm 520$  であり、本研究の調査対象は先行研究と比較して、①6 歳から 12 歳にあたる当時の身体活動量は、豊富ではない集団であった可能性がある。この先行研究では、対象年齢を考慮し、IPAQ-JEA を使用しているが、強い身体活動と中等度の身体活動の例としている身体活動に違いはあるものの、強い身体活動と中等度の身体活動の説明に大きな違いはない。

本研究②の身体活動量を年齢  $14 \pm 0.7$  歳の男子を対象としたエストニアの先行研究(triin Rääsk et al 2017)と「強い身体活動と中等度の身体活動の実施時間（分/日）」の中央値（四分位範囲）で比較したところ、先行研究が 38.6 (9.3-81.4) だったのに対し、本研究では、85.7 (25.7-141.4) であり、本研究の対象者は先行研究と比較して、②13 歳から 15 歳にあたる期間の身体活動は、豊富な集団であったと考えられる。先行研究のデータは、1 日あたりの「強い身体活動と中等度の身体活動の 1 日あたりの実施時間」が 1 時間以上の対象者については、平均 31.5 (分/日) 低い過小評価を行っていたことが明らかになっているが、それを鑑みても、本研究の調査対象の②13 歳から 15 歳にあたる当時の身体活動の実施時間は先行研究と比べ、豊富であったと考えられる。

本研究の③の身体活動量と理学療法・リハビリテーション学科の大学生 18 歳から 20 歳を対象としたトルコの先行研究 (Öztürk Ö et el 2023) の男性集団を総身体活動量 (METs・分/週) の中央値 (四分位範囲) で比較したところ、先行研究が 3192 (1398-5346) であり、本研究では、4212 (2181-8692.5) であり、本研究の調査対象は先行研究の男性集団と比較して、③16 歳から 19 歳にあたる当時の身体活動量は、豊富であったと考えられる。

Frank J H Lu. et el. (2014) によると、年齢  $15.3 \pm 0.6$  歳を対象にした研究で、IPAQ による身体活動量と自己効力感には有意な相関があることが明らかになっている。そのため、②、③の期間において身体活動量が豊富であったということは、本研究の調査対象は②13 歳から 15 歳、④16 歳から 19 歳にあたる当時、自己効力感の高い集団であったと考えられる。

本研究の④の身体活動量とギリシャの平均年齢  $23 \pm 2.3$  歳の健康科学系の学生を対象とした先行研究 (George Papathanasiou et el 2010) を比較したところ、先行研究では、IPAQ-Gr を用い、3 つのカテゴリーに分類した結果、「高身体活動群」13.8%、「中身体活動群」49.1%、「低身体活動群」37.2%であったのに対し、本研究のデータも先行研究と同様に、George Papathanasiou et el. (2009) による IPAQ-Gr の基準を用いて分類分けを行ったところ、「高身体活動群」48.6%、「中身体活動群」40%、「低身体活動群」11.4%であり、本研究の調査対象は先行研究と比較して、④20 歳から 39 歳にあたる当時の身体活動量は、豊富であったと考えられる。

本研究の⑤の身体活動量と上海で働く成人を対象とした上海の先行研究 (Yi Xiao et el 2019) の平均年齢  $53.31 \pm 4.027$  歳の成人集団の総身体活動量を平均  $\pm$  標準偏差で比較したところ、先行研究が  $2856 \pm 0.847$  であったのに対し、本研究では  $3792 \pm 3092$  であり、先行研究の平均年齢  $53.31 \pm 4.027$  歳

の成人集団と比較すると、本研究の調査対象の⑤40 歳から 59 歳にあたる当時の身体活動量は、豊富であったと考えられる。

渡辺和広と大塚泰正（2014）によると、年齢  $42.7 \pm 11.4$  歳の IPAQ による身体活動量と自己効力感には有意な相関があることが明らかになっているため、本研究の調査対象は、先行研究との比較から、②13 歳から～⑥現在に至るまで、豊富な身体活動量を積んできた集団であり、自己効力感が高い集団であると考えられる。

次に、現在の強い身体活動への抵抗感、中等度の身体活動への抵抗感を他の先行研究と比較した。

アメリカの先行研究（Mariana Wingood et al 2022）年齢  $70.0 \pm 8.5$  歳と比較すると、この先行研究の IPAB（The Inventory of Physical Activity Barriers）では、(a)環境要因、(b)身体的健康、(c)身体活動関連の動機付け、(d)情緒的健康、(e)時間、(f)技能、(g)社会的要因、(h)エネルギー（独立項目）計 40 項目を質問し、IPAB の心理測定評価で、参加者の IPAB スコアを算出していた。参加者の IPAB スコア（平均が 5 に近づくほど障壁がある）の平均値は  $1.8 \pm 0.5/4.0$  点（45%）であった。また、この先行研究は、PAVS（Incorporate the Physical Activity Vital Sign）を用いて、高強度から中等度の身体活動を 150 分以上実施している割合は 59.3%であり、先行研究では 2 つの数値において有意な関係が示されている。本研究では IPAQ を用い、高強度から中等度の身体活動を 150 分以上実施している割合は 62.9%、高強度への抵抗感（10 ととても抵抗がある）の平均は  $4.7 \pm 3.3/10$ （47%）、中等度への抵抗感（10 ととても抵抗がある）の平均は  $3.7 \pm 3.1/10$ （37%）である。これらの結果から、アメリカの先行研究と比較して、本研究の調査対象は、身体活動量、身体活動への抵抗感の両面において、アメリカの先行研究と同じような集団であったと考えられる。



本研究では、過去の身体活動量が豊富な人の方が、高齢期に強度の高い運動を継続することができるか、高齢期の身体活動量への抵抗感を低下させることができるかを検討した。その結果、1) ②13 歳から 15 歳、④20 歳から 39 歳のときの身体活動量が豊富な人の方が、高齢期に強度の高い運動を継続することができること、2) 過去の身体活動量と、高齢期の強い身体活動への抵抗感と中等度の身体活動への抵抗感には、有意な関係がないこと、が明らかになった。これらの結果は、仮説 1 を一部支持したが、仮説 2 は支持されない結果となった。

1) ②13 歳から 15 歳の期間の身体活動量が、高齢期に強度の高い運動を継続することと有意な関係があること ( $r=0.387$ ,  $p=0.021<0.05$ )、④20 歳から 39 歳の期間の身体活動量が、高齢期に強度の高い運動を継続することと有意な関係があることが分かった ( $r=0.455$ ,  $p=0.006<0.05$ )。これは、仮説 1 を一部支持する内容であり、過去の身体活動が豊富な人の方が、高強度の運動に対して能動的に参加できる (Stephen D. Anton et al 2005) という研究結果を一部支持する結果となった。この結果からは、思春期の時期の定期的な身体活動が、心の健康を保ち、自分は何かを成し遂げられるという自己効力感が上昇した (Bo Peng et al 2025) と考えられる。本研究の調査対象は、先行研究との比較から、②13 歳から～⑥現在に至るまで、豊富な身体活動量を積んできた集団であり、自己効力感が高い状態で生活を営んできたため、厚生労働省に推奨されている身体活動を高強度で継続できるのだと考えられる。

2) 高齢期の強い身体活動への抵抗感と、中程度の身体活動への抵抗感は、過去の身体活動量によって左右されるわけではないことが分かった。この結果は、仮説 2 を支持しなかった。アメリカの先行研究 (Mariana Wingood et al 2022) との比較で、本研究の調査対象は、身体活動量、身体活動への抵抗

感の両面において、アメリカの先行研究と同じような集団であったと考えられている。この先行研究では、IPAB (The Inventory of Physical Activity Barriers) の心理測定評価で、参加者の IPAB スコアの平均スコア（平均が 5 に近づくほど障壁がある）と中等度から高強度の身体活動を 150 分以上行った者と、行っていないもので有意な関係があることが分かっている (Mariana Wingood et al 2022)。しかし、本研究では過去の身体活動量と身体活動への抵抗感に有意な関係は見られなかった。その要因として、「抵抗感」という曖昧な表現方法が不適切であった可能性と、高齢期の身体活動への障壁は、過去の身体活動量よりも、高齢期現在の運動時の体の痛みなどの健康状態、転倒への恐怖心、疲労などによって左右されていると考えられる (Alix H.M. Kilgour 2024) ため、現在は身体活動を行うことで体の痛みなどの健康状態不良、転倒への恐怖心を抱いている可能性が考えられる。

Tiril Tøien et al (2025) によると、高齢者（60 歳以上）の増加は社会的・経済的課題として重大であるため、医療システムへの負担を軽減する対策が急務である。筋力トレーニングは、高齢者がより長く健康で自立した状態を維持するのを支援し得るため、そのための戦略の 1 つとして大きな可能性を秘めている。つまり、若齢期に豊富な身体活動量を経験することで、高齢期に筋力トレーニングを継続的に行えるということは、医療システムへの負担を軽減することに繋がる可能性がある。

## 結論

本研究では、過去の身体活動量豊富な人の方が、高齢期に強度の高い運動を継続することができるか、高齢期の身体活動量への抵抗感を低下させることができるかを検討した。その結果、13 歳から 15 歳、20 歳から 39 歳のときの身体活動量が豊富な人の方が、高齢期に強度の高い運動を継続することが

できること、過去の身体活動量と、高齢期の強い身体活動への抵抗感と中程度の身体活動への抵抗感には、有意な関係がないこと、が明らかになった。高齢期前に身体活動量を豊富に積んでおくことで、強度の高い運動を継続することにつながり、健康寿命を伸ばすことにつながる可能性があることが分かった。

## 謝辞

本研究は中京大学渡邊航平ゼミの協力を受けて行われた。日々の丁寧で愛のあるご指導、実験機器、SPSS ソフトウェアを提供し、本研究の支援をして頂いた中京大学の渡邊航平教授に心より感謝いたします。また、調査にご協力いただいた保見いきいきアカデミー、八事いきいきアカデミーに参加された高齢者の皆様、調査当日、本研究を手伝い、最後まで相談相手となってくれたゼミ生、大学院生にこの場をお借りして感謝申し上げます。

## 参考文献

- American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc 41(3):687-708, 2009
- Bandura A. Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. Psychol Rev 84(2):191-215, 1977
- Burton E, Farrier K, Lewin G, Pettigrew S, Hill AM, Airey P, Bainbridge L, Hill KD. Motivators

and Barriers for Older People Participating in Resistance Training: A Systematic Review. *J Aging Phys Act* 25(2):311-324, 2017

Harada K, Shibata A, Oka K, Nakamura Y. Association of muscle-strengthening activity with knee and low back pain, falls, and health-related quality of life among Japanese older adults: a cross-sectional survey. *J Aging Phys Act* 23(1):1-8, 2015

Kilgour AHM, Rutherford M, Higson J, Meredith SJ, McNiff J, Mitchell S, Wijayendran A, Lim SER, Shenkin SD. Barriers and motivators to undertaking physical activity in adults over 70—a systematic review of the quantitative literature. *Age Ageing* 53(4):afae080, 2024

Kurita S, Doi T, Tsutsumimoto K, Nakakubo S, Ishii H, Kiuchi Y, Shimada H. Predictivity of International Physical Activity Questionnaire Short Form for 5-Year Incident Disability Among Japanese Older Adults. *J Phys Act Health* 18(10): 1231-1235, 2021

Lu FJ, Lin JH, Hsu YW, Chou CC, Wang ET, Yeh LC. Adolescents' physical activities and peer norms: the mediating role of self-efficacy. *Percept Mot Skills* 118(2): 362-74, 2014

Oman RF, King AC. Predicting the adoption and maintenance of exercise participation using self-efficacy and previous exercise participation rates. *Am J Health Promot* 12(3):154-61, 1998

Öztürk Ö, Aydoğdu O, Kutlutürk Yıkılmaz S, Feyzioğlu Ö, Pişirici P. Physical literacy as a determinant of physical activity level among late adolescents. *PLoS One* 18(4): e0285032, 2023

Papathanasiou G, Georgoudis G, Papandreou M, Spyropoulos P, Georgakopoulos D, Kalfakakou V, Evangelou A. Reliability measures of the short International Physical Activity Questionnaire

- (IPAQ) in Greek young adults. *Hellenic J Cardiol* 50(4):283–94, 2009
- Papathanasiou G, Georgoudis G, Georgakopoulos D, Katsouras C, Kalfakakou V, Evangelou A. Criterion-related validity of the short International Physical Activity Questionnaire against exercise capacity in young adults. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 17(4): 380–6, 2010
- Peng B, Chen W, Wang H, Yu T. How does physical exercise influence self-efficacy in adolescents? A study based on the mediating role of psychological resilience. *BMC Psychol* 13(1):285, 2025
- Rääsk T, Mäestu J, Lätt E, Jürimäe J, Jürimäe T, Vainik U, Konstabel K. Comparison of IPAQ-SF and Two Other Physical Activity Questionnaires with Accelerometer in Adolescent Boys. *PLoS One* 12(1): e0169527, 2017
- SD Anton, MG Perri, J Riley, WF Kanasky, JR Rodrigue, SF Sears, AD Martin. Differential Predictors of Adherence in Exercise Programs With Moderate Versus Higher Levels of Intensity and Frequency. *Sport Exerc. Psychol* 27(2):171–187, 2005
- Tøien T, Berg OK, Modena R, Brobakken MF, Wang E. Heavy Strength Training in Older Adults: Implications for Health, Disease and Physical Performance. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 16(2):e13804, 2025
- Tomioka K, Iwamoto J, Saeki K, Okamoto N. Reliability and validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in elderly adults: the Fujiwara-kyo Study. *J Epidemiol* 21(6): 459–65, 2011
- Wingood M, Jones SMW, Gell NM, Brach JS, Peters DM. The Inventory of Physical Activity Barriers

for Adults 50 Years and Older: Refinement and Validation. Gerontologist 62(10):e555-e563, 2022

Xiao Y, Wang H, Zhang T, Ren X. Psychosocial predictors of physical activity and health-related quality of life among Shanghai working adults. Health Qual Life Outcomes 17(1):72, 2019

大島秀武, 引原有輝, 笠次良爾, 村瀬訓. 思春期前期向けに改変した日本語版 IPAQ による中高強度身体活動量評価の妥当性. 体育科学 第 66 巻 第 6 号: 427-436, 2017

渡辺和広, 大塚 泰正. 自己効力感、ソーシャルサポート、環境的要因、および職場の要因を用いた労働者の余暇時の身体活動モデルの構築. 行動医学研究 第 20 巻 第 1 号: 17-23, 2014

総務省統計局 統計からみた我が国の高齢者 - 「敬老の日」にちなんで -  
<https://www.stat.go.jp/data/topics/pdf/topics146.pdf> 2025

厚生労働省 <https://www.mhlw.go.jp/content/001195868.pdf> 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023 (高齢者版) 2023

厚生労働省 介護保険制度をめぐると況について  
<https://www.mhlw.go.jp/content/12300000/001364995.pdf> 2024

東京医科大学公衆衛生学分野 国際標準化身体活動質問票のデータ処理および解析に関するガイドライン [Microsoft Word - IPAQ\\_final\\_nov05.doc](#) 2005

ゴルフバッグの“担ぎ”による歩行時の上り下りが  
生体に及ぼす影響

J322149

守山 颯

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室



## 抄録

背景：ゴルフ競技は長時間に及び歩行とスイング動作を繰り返す競技であり、特に学生ゴルフではプレーヤー自身でゴルフバッグを担ぎラウンドすることが義務付けられている。ゴルフ場では、平地歩行に加えて上り坂歩行や下り坂歩行が含まれ、これらの歩行条件がエネルギー消費量や身体活動量、生体に大きな影響を及ぼすと考えられる。これまでに荷重歩行や坂道歩行に関する研究は多く報告されているが、ゴルフバッグの担ぎという競技特有の条件で坂道歩行時の身体負荷について検討した研究は少ない。そこで、本研究ではゴルフバッグの担ぎが平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行時のエネルギー消費量、身体活動量、生体に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。方法：健康な男子大学生 15 名を対象とし、トレッドミル上で 5 km/h の歩行を実施した。運動課題は平地歩行、上り坂歩行(+5%)、下り坂歩行(-5%)の 3 条件のそれぞれにおいてゴルフバッグ担ぎなし及び 12.5kg のゴルフバッグの担ぎありを組み合わせた計 6 条件とした。各条件で呼気ガス分析を行い、酸素摂取量、ガス交換率、身体活動強度、消費カロリーを測定した。結果：ゴルフバッグの担ぎは、平地、上り坂、下り坂のすべての歩行条件において、酸素摂取量、身体活動強度、消費カロリーを有意に増加させ ( $p < 0.05$ )、酸素摂取量ではゴルフバッグなしにおける 118~125%、身体活動強度では 118~126%、消費カロリーでは 117~125%程度であった。上り坂歩行では、バッグの有無に関わらず平地歩行と比較してエネルギー消費量が有意に増加 ( $p < 0.05$ ) し、ゴルフバッグなしでは平地歩行の約 148%、ゴルフバッグありでは約 135%であった。また、下り坂歩行では平地歩行と比較してゴルフバッグなしでは平地歩行の約 75%、ゴルフバッグありでは約 77%でありエネルギー消費量は低下したが ( $p < 0.05$ )、ゴルフバッグを担ぐことで身体活動強度はゴルフバッグなしの約 126%、主観的運動強度は約 301%と有意に増加した ( $p < 0.05$ )。結論：ゴルフバッグの担ぎは歩行条件に関わらず身体的な負荷を増加させ、特に上り坂歩行に関しては顕著に変化をもたらした。下り坂歩行ではエネルギー消費量は低下するものの、担ぎによって身体的な負荷は軽減されないことが明らかになった。これらの結果は、学生ゴルフにおける身体的負荷の特性を理解し、適切なトレーニングの計画を立案するうえで有用な知見となると考えられる。





## 背景

スポーツ競技において、競技特性を理解しそれぞれにあった身体的負荷及び運動の様式で競技力向上、適切なトレーニング計画を立てることはとても重要である。競技ごとに求められる身体能力やエネルギーの供給方法は異なり、それぞれについて運動方法やその運動強度も多様である。例えば、バスケットボールは、ボールを持つプレーヤーに対する時間制限や動ける歩数制限のもとスピーディーに攻防を行うスポーツであり、巧緻性を向上させる技術トレーニング、筋持久力を向上させる持久力トレーニング、敏捷性を向上させる敏捷性トレーニング、スピードを向上させるスプリントトレーニングを行う。また、柔道では相手と直接組み合い、相手の動きに応じて投げたり抑え込んだりしながら「一本」を目指して勝敗を競うという競技特性のもと、瞬発力を向上させる瞬発力トレーニングを行い、ダンスでは「踊りたい」、「表現したい」という気持ちをもとに、身体全体の動きで表現をするものであり、自分の心の内にある踊る心を掘り起こし「踊る－創る－見る」楽しさを味わうという競技特性のもと、柔軟性を向上させる柔軟運動、平衡性を向上させるバランストレーニングなどを行う(アクティブ中学校体育実技 愛知県版 大日本図書)。このように、競技特性を踏まえ身体的負荷について把握することは競技者のパフォーマンス向上に大きく影響を及ぼす。ゴルフ競技は長時間にわたって歩行とスイング動作を繰り返す競技であり、持久的要素と技術的要素を必要とする特性を持つ。また、ゴルフ場では平地歩行だけでなく上り坂歩行や下り坂歩行が頻繁に含まれ、競技中のエネルギー消費量に歩行が大きく影響すると考えられる。ゴルフ競技において、プロゴルフでは一般的にプレーヤーがゴルフバッグを担ぐことはなく、代わりにキャディーがゴルフバッグを担ぎ 18 ホールを回る。しかしながら、中部学生ゴルフ連盟(2025)によると、プレーヤーのラウンド中の移動方法について、「ラウンド中、プレーヤーやキャディーは動力付きの移動

機器に乗車してはならない」また、「プレーヤーのキャディーの使用を禁止する」とされている(図 1)。

すなわち、プレーヤーはゴルフバッグを自身で担ぎ、18 ホールをすべて自身で歩かなければならない。

Huang and Kuo(2014)は、人は荷物を持って歩行すると 1kg 当たり 7.6w 代謝エネルギーは増加し、消費エネルギー量は増えると報告している。坂道歩行について、上り坂歩行においては重力に抗う仕事が必要になるため酸素摂取量、エネルギー消費量は増加する。下り坂歩行では重力により運動の補助が入るため平地歩行と比較して代謝エネルギー消費量は低下するが、身体を制動する負の機械的な仕事が増加することが明らかになっている(Minetti et al.1994、Franz et al.2012)。また、上り坂歩行では体重の増加に伴い体重を支えるための代謝パワーが増加するために、エネルギー消費量が増加すると述べられている(Claire Z Zai et al.2020)。さらに装備を身に付けた兵士とそうでない兵士を対象とした実験ではエネルギー消費量の差は明確であり、重装備の兵士の方がエネルギー消費量が多かったと報告している(Subhojit Chatterjee et al.2018)。しかしながら、これらの先行研究の多くは荷重条件や坂道歩行について検討したものであり、ゴルフバッグの担ぎという競技特有な条件のもと坂道歩行時のエネルギー消費量について検討した研究は少ない。本研究の目的は、ゴルフバッグを担いだ状態での坂道歩行に着目し、担ぎの有無がエネルギー消費量に及ぼす影響を明らかにすることである。Ⅰ：平地歩行においてはゴルフバッグを担いだ時と担がなかった時で身体活動量に差が生まれ、増加する。Ⅱ：上り坂歩行に関しては、ゴルフバッグを担ぐときとゴルフバッグを担がないとき、ともに平地歩行と比較してエネルギー消費量は増加する。Ⅲ：下り坂歩行に関しては勾配の角度によって消費するエネルギー量に差が生まれ、緩やかな傾斜角度については変化が少ないため、平地歩行と比較してエネルギー消費量は低下するものの差は少ない。Ⅳ：ゴルフバッグを担いだ時の上り坂歩行、下り坂歩行は、ゴルフバッグを担

#### 9. 移動

ラウンド中、プレーヤーやキャディーは動力付きの移動機器に乗車して移動してはならない（ただし、委員会が承認する場合や、事後承認した場合を除く）。ストロークと距離の罰に基づいてプレーする（あるいはプレーした）プレーヤーは常に動力付きの移動機器に乗車して移動することが承認される。プレーヤーは違反があった各ホールに対して一般の罰を受ける。2つのホールの間の違反は次のホールに適用される。

#### 10. キャディー

プレーヤーのキャディーの使用を禁止する。

図1 中部学生ゴルフ連盟「ローカルルール」より

がなかった時の上り坂歩行、下り坂歩行と比較し、身体活動量は増加し身体にかかる負荷はより大きくなる。V：上り坂歩行について、体重の重い人(荷物を持つ人)の方がエネルギー消費量が多い。VI：下り坂歩行について、同じ傾斜角でも体重の重い人の方(荷物を持った人)が軽い人(荷物を持たない人)に比べてエネルギー消費量は増加する。という仮説を立てた。

## 方法

### 研究対象者

健康な男子大学生 15 名（体重  $65.55 \pm 13.75\text{kg}$ ）とし、実験を実施した。

### 実験概要

実験内容説明、体重測定を実施した。被験者に呼気ガス分析装置(AE-310S, ミナト医科学株式会社, 大阪, 日本)を装着し、BIOMILL 上で 30 秒の安静後、5 km/h で 3 分 30 秒の歩行を平地歩行＋ゴルフバッグなし、平地歩行＋ゴルフバッグ有、上り坂歩行(+5%)＋ゴルフバッグなし、上り坂歩行(+5%)＋ゴルフバッグ有、下り坂歩行(-5%)＋ゴルフバッグなし、下り坂歩行(-5%)＋ゴルフバッグ有の 6 条件でそれぞれ実施した。歩行中は歩容を統一させるため、実験開始前に上り坂歩行、下り坂歩行を行い、メトロノームを用いて 110～120bpm でテンポを確定した。また、各条件間の影響を最小限に抑えるため、最低 2 分以上の休憩時間を設け、身体活動強度が 3Mets まで低下していることを確認したのち次の計測を行った。坂道歩行に関しては傾斜有での歩行に慣れてもらうため、実験開始前に上り坂歩行、下り坂歩行においてそれぞれ 1 分程度ずつ練習歩行を実施した。また、歩行中は転倒事故防止のため、ハーネスを着用（図 2）し、転倒事故防止に努めた。ゴルフバッグありで使用したゴルフバッグの重量につい

て、事前に中京大学ゴルフ競技部の方々の大会時のゴルフバッグの重量について調査をさせていただき、得られた結果より平均を算出して 12.5kg とした。またゴルフバッグは図 3 を使用し、図 4 のような形で担いだ。

## 測定項目

### 酸素摂取量

それぞれの運動課題について、エネルギー消費量の算出を行うため、マスクを装着（図 5）し呼気ガス分析装置(AE-310S, ミナト医科学株式会社, 大阪, 日本)を使用して BIOMILL (BM-1200, エスアンドエムイー, 東京, 日本) 上で 30 秒の安静後、5 km/h で 3 分 30 秒の歩行を実施して酸素摂取量の測定を行い、身体活動強度、消費カロリーを算出した。分析区間は歩行時間 3 分 30 秒のうち後半 2 分間（図 6）であり、分析区分の中の数値を平均することで算出した。

### ガス交換率

エネルギー供給様式の判別のためガス交換率を測定した。呼気ガス分析装置によって測定した VC02 を V02 で割ることにより数値をだし、酸素摂取量同様 3 分 30 秒の歩行データのうち後半 2 分間を分析区間として平均し算出した。

### 主観的運動強度

運動課題実施前後に主観的運動強度の調査（図 7）をした。図 7 に示されている表の 6 から 20 の数字のうちで最も小さい 6 を非常に楽に感じる、最も大きい 20 を非常にきつとし、被験者に運動課題の実施前後で指差しをしてもらうことで被験者の運動による疲労がどの程度であったかを測定した。



図2 転倒防止用ハーネス着用図



図3 ゴルフバッグ図





図4 ゴルフバッグの担ぎ図

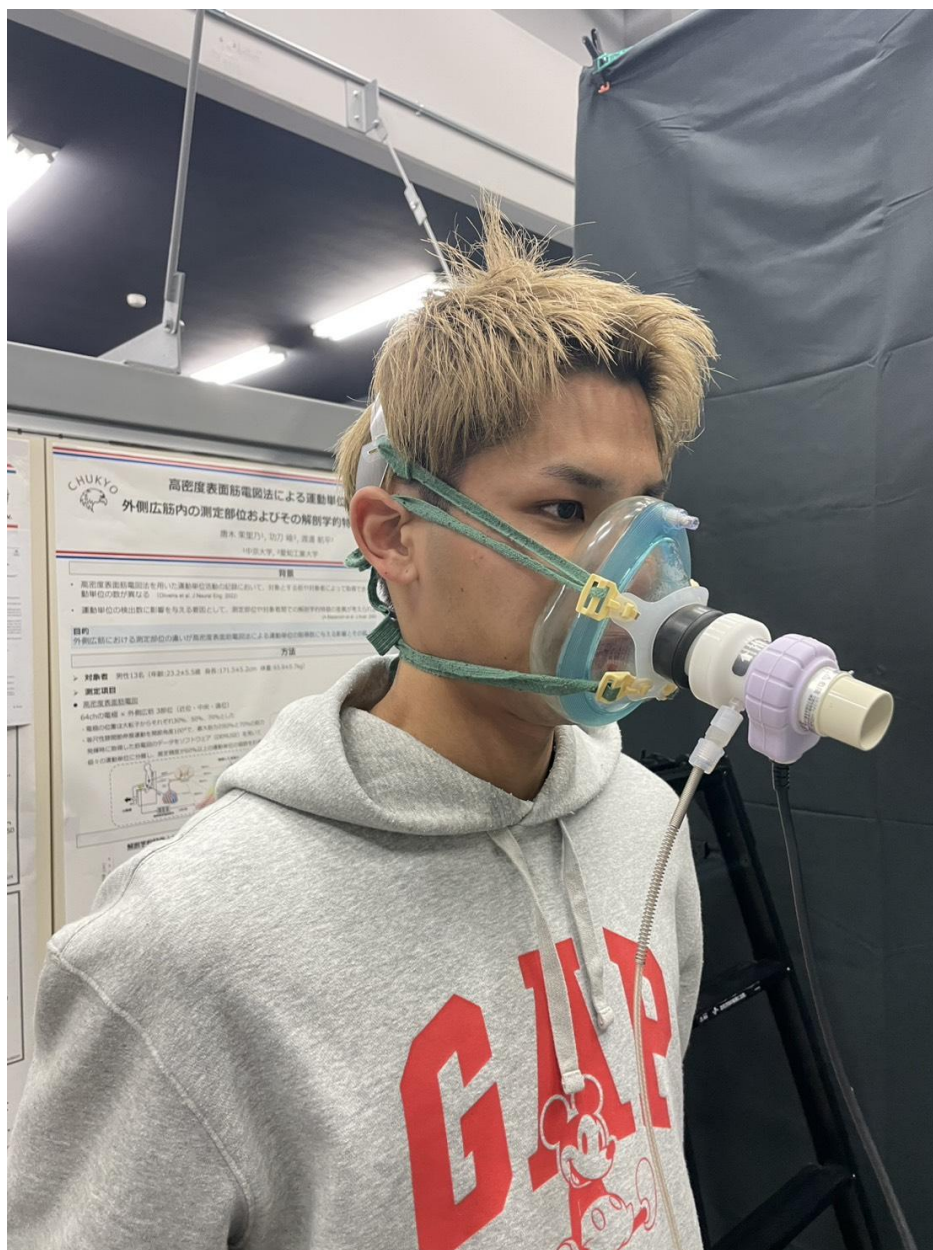


図 5 呼気分析装置マスク着用図

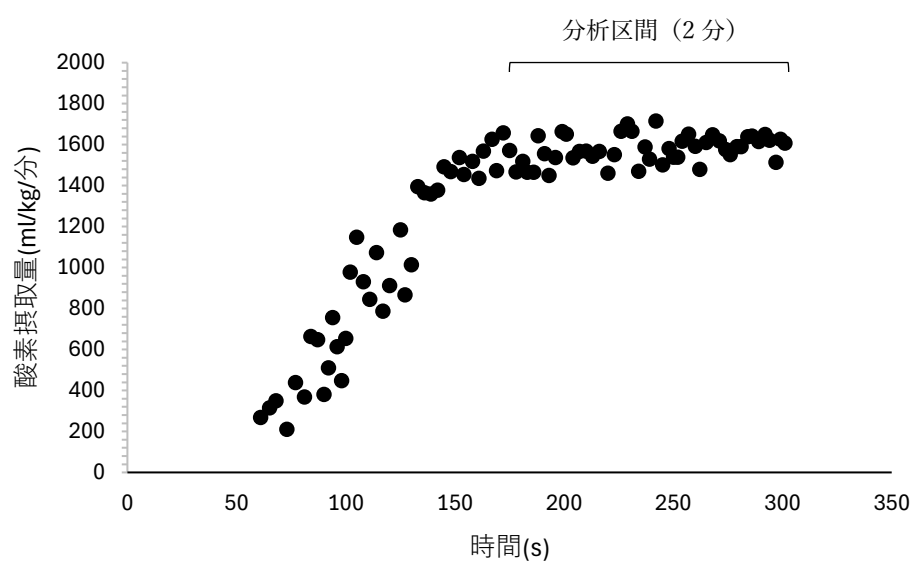


図 6 酸素摂取量分析区間

主観的運動強度	
20	
19	非常にきつい
18	
17	かなりきつい
16	
15	きつい
14	
13	ややきつい
12	
11	楽に感じる
10	
9	かなり楽に感じる
8	
7	非常に楽に感じる
6	

図 7 主観的運動強度 (RPE) 表

## 統計解析

結果は平均値±標準偏差で示す。本研究の結果にはノンパラメトリック検定を用いた。2つの条件間(ゴルフバッグなし、ゴルフバッグ有)の差をMann-Whitney 検定を用いて解析した。また、3つの条件間(平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行)の差をFriedman 検定を用いて解析した。すべての統計解析はSPSS ソフトウェアを利用した。有意水準は0.05 未満とした。

## 結果

平地歩行+ゴルフバッグなしと平地歩行+ゴルフバッグ有間での比較について、「酸素摂取量平均」( $p<0.05$ ) (図 8)、「身体活動強度平均」( $p<0.05$ ) (図 9)、「消費カロリー平均」( $p<0.05$ ) (図 10) で有意な差があった。「ガス交換率平均」( $p>0.05$ ) (図 11)、「主観的運動強度変化量」( $p>0.05$ ) (図 12) では有意な差はなかった。上り坂歩行+ゴルフバッグなしと上り坂歩行+ゴルフバッグ有間での比較について、「酸素摂取量平均」( $p<0.05$ ) (図 13)、「ガス交換率平均」( $p<0.05$ ) (図 14)、「身体活動強度平均」( $p<0.05$ ) (図 15)、「消費カロリー平均」( $p<0.05$ ) (図 16)、「主観的運動強度変化量」( $p<0.05$ ) (図 17) で有意な差があった。下り坂歩行+ゴルフバッグなしと下り坂歩行+ゴルフバッグ有間での比較について、「酸素摂取量平均」( $p<0.05$ ) (図 18)、「身体活動強度平均」( $p<0.05$ ) (図 19)、「消費カロリー平均」( $p<0.05$ ) (図 20)、「主観的運動強度変化量」( $p<0.05$ ) (図 21) で有意な差があった。「ガス交換率平均」( $p>0.05$ ) (図 22) では有意な差はなかった。ゴルフバッグなし 3 条件(平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行)について、「酸素摂取量平均」(図 23)では平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「ガス交換率平均」(図 24)では平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「身体活動強度平均」(図 25)では

平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「消費カロリー平均」(図 26)では平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「主観的運動強度変化量」(図 27)では上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )で有意な差があり、「ガス交換率平均」の平地歩行&上り坂歩行( $p>0.05$ )、「主観的運動強度変化量」の平地歩行&上り坂歩行( $p>0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p>0.05$ )では有意な差はなかった。ゴルフバッグ有 3 条件(平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行)について、「酸素摂取量平均」(図 28)では平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「身体活動強度平均」(図 29)では、平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「消費カロリー平均」(図 30)では、平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、平地歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )、「主観的運動強度変化量」(図 31)では、平地歩行&上り坂歩行( $p<0.05$ )、上り坂歩行&下り坂歩行( $p<0.05$ )で有意な差があり、「ガス交換率平均」( $p>0.05$ ) (図 32)、「主観的運動強度変化量」の平地歩行&下り坂歩行( $p>0.05$ )では有意な差はなかった。

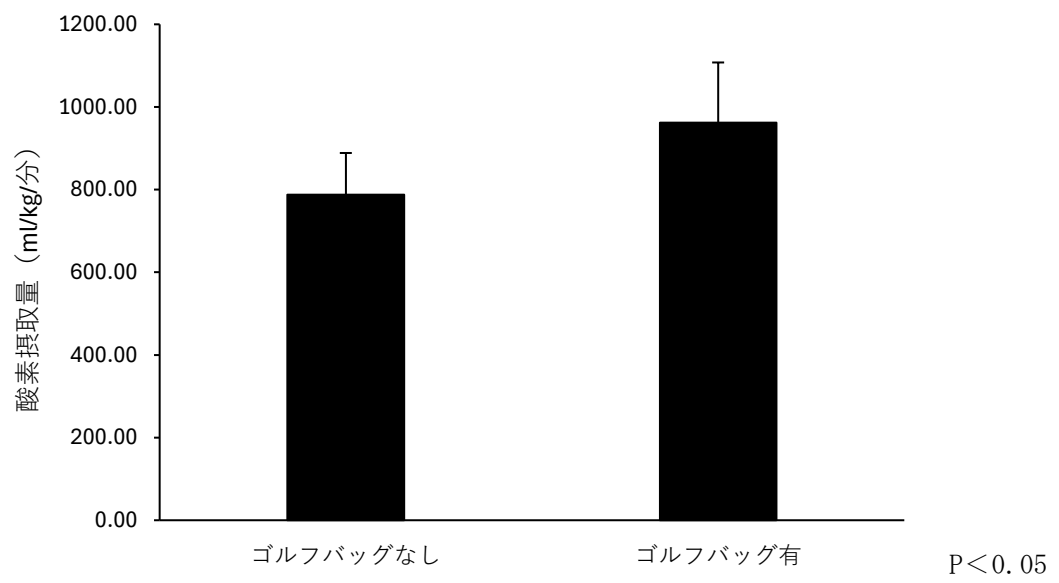


図 8 平地歩行ゴルフバッグなしと平地歩行ゴルフバッグありにおける酸素摂取量

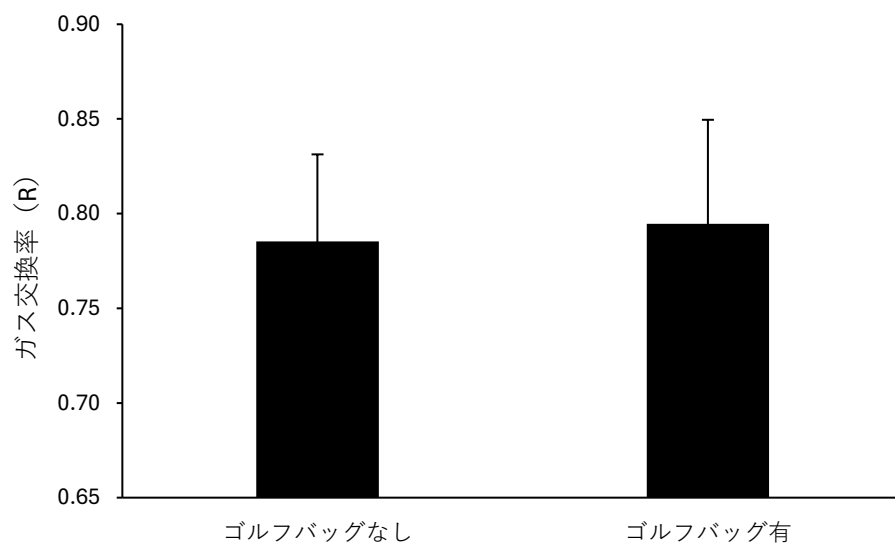


図 9 平地歩行ゴルフバッグなしと平地歩行ゴルフバッグありにおけるガス交換率



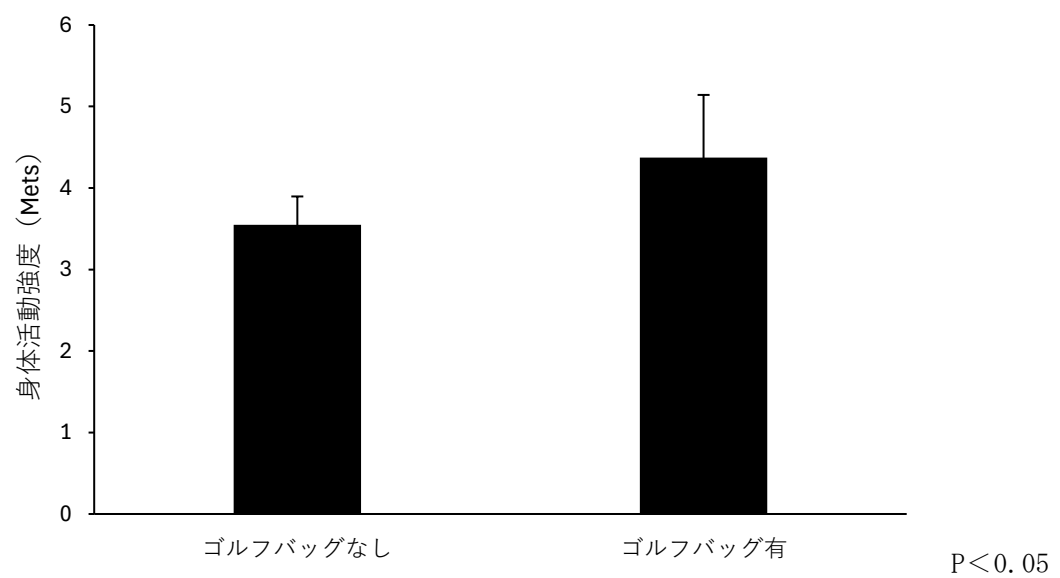


図 10 平地歩行ゴルフバッグなしと平地歩行ゴルフバッグありにおける身体活動強度

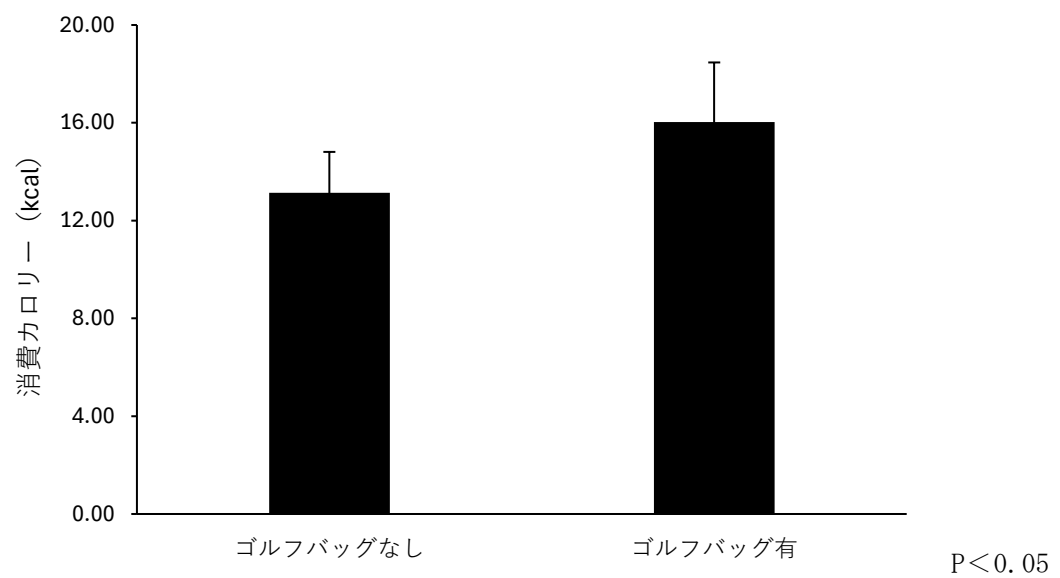


図 11 平地歩行ゴルフバッグなしと平地歩行ゴルフバッグありにおける消費カロリー

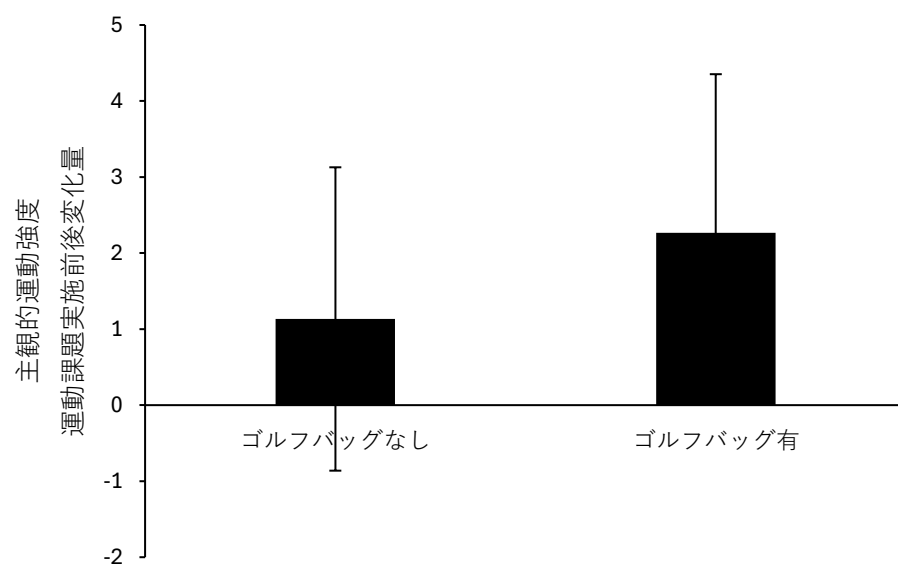


図 12 平地歩行ゴルフバッグなしと平地歩行ゴルフバッグありにおける主観的運動強度運動課題実施前後の変化量

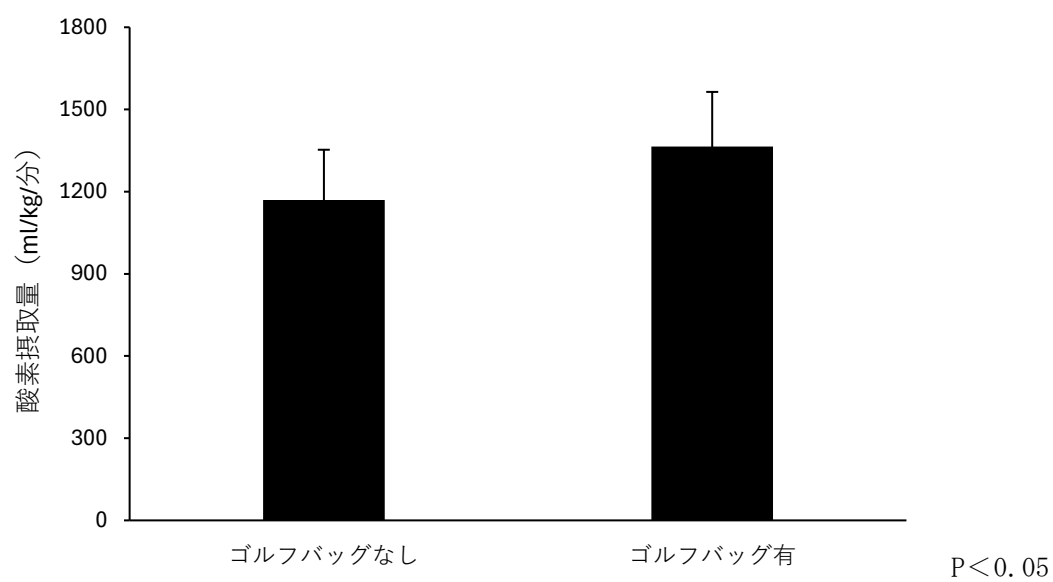


図 13 上り坂歩行ゴルフバッグなしと上り坂歩行ゴルフバッグありにおける酸素摂取量

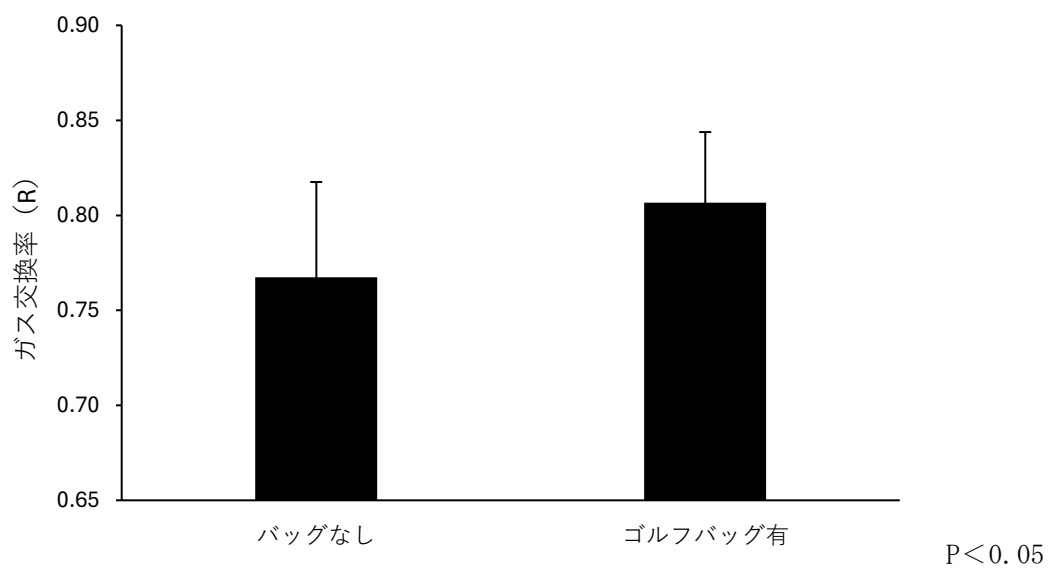


図 14 上り坂歩行ゴルフバッグなしと上り坂歩行ゴルフバッグありにおけるガス交換率

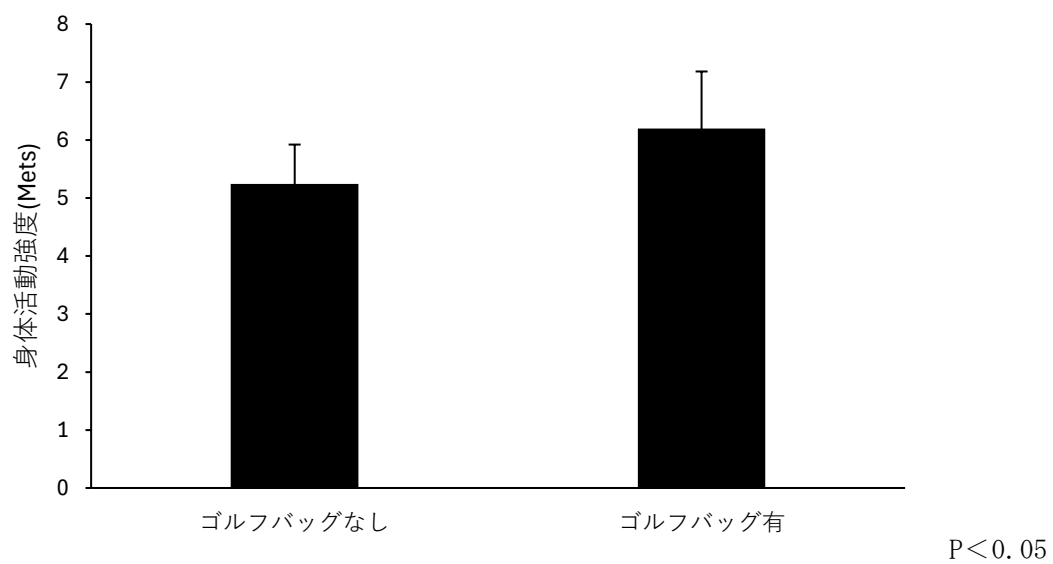


図 15 上り坂歩行ゴルフバッグなしと上り坂歩行ゴルフバッグありにおける身体活動強度

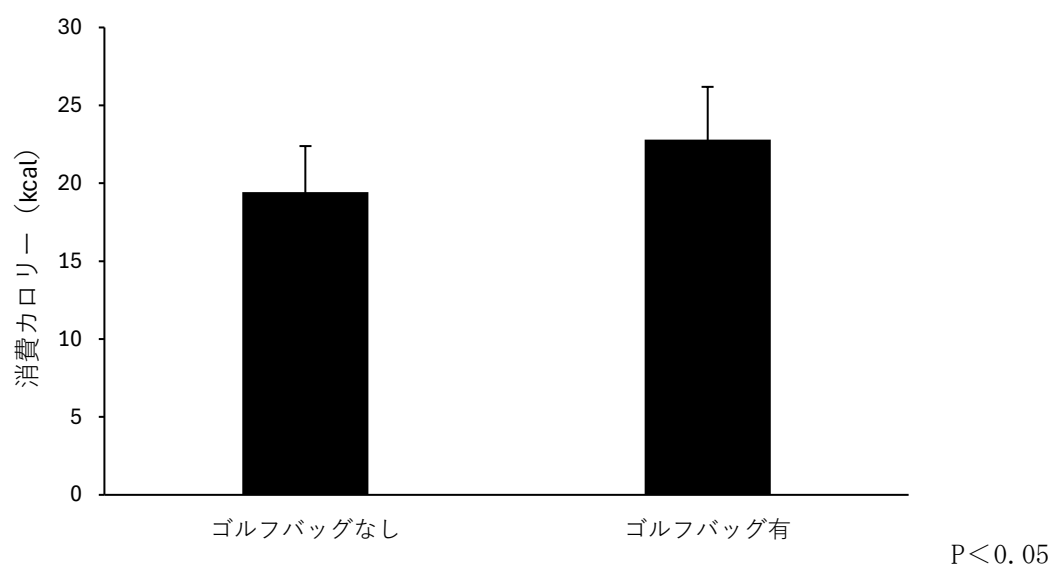


図 16 上り坂歩行ゴルフバッグなしと上り坂歩行ゴルフバッグありにおける消費カロリー

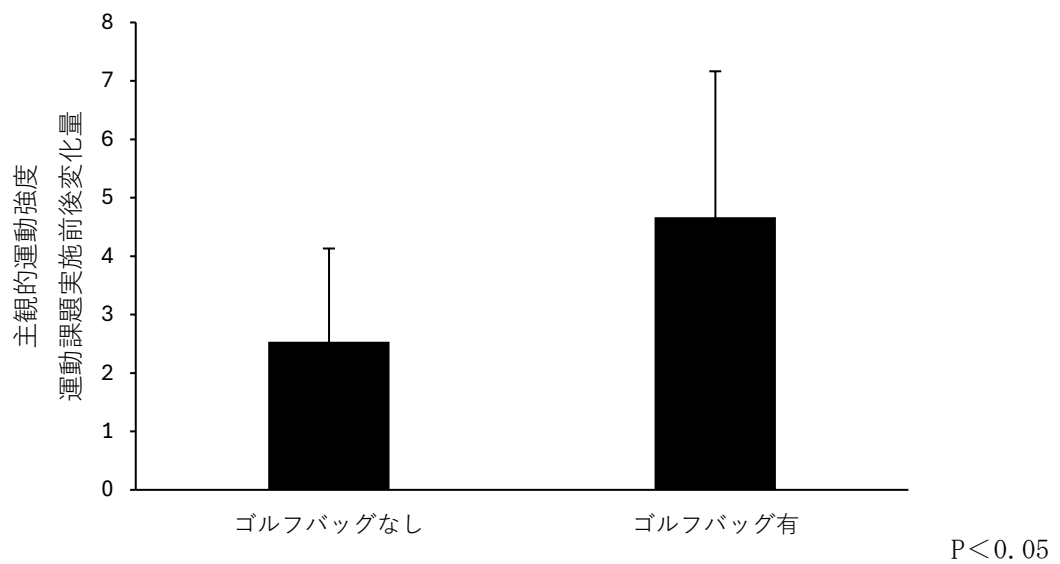


図 17 上り坂歩行ゴルフバッグなしと上り坂歩行ゴルフバッグありにおける主観的運動強度運動課題実施前後の変化量



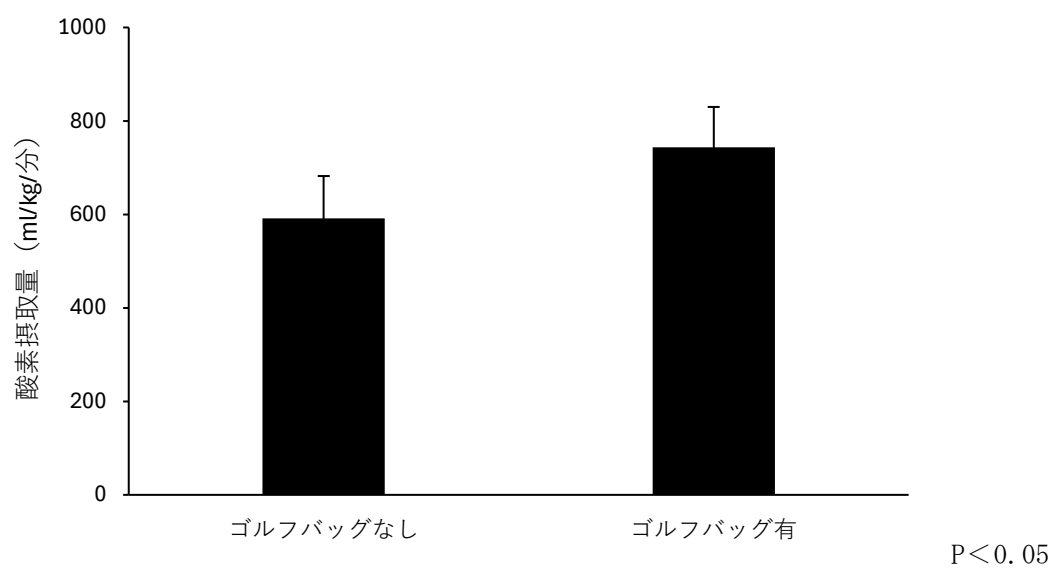


図 18 下り坂歩行ゴルフバッグなしと下り坂歩行ゴルフバッグありにおける酸素摂取量

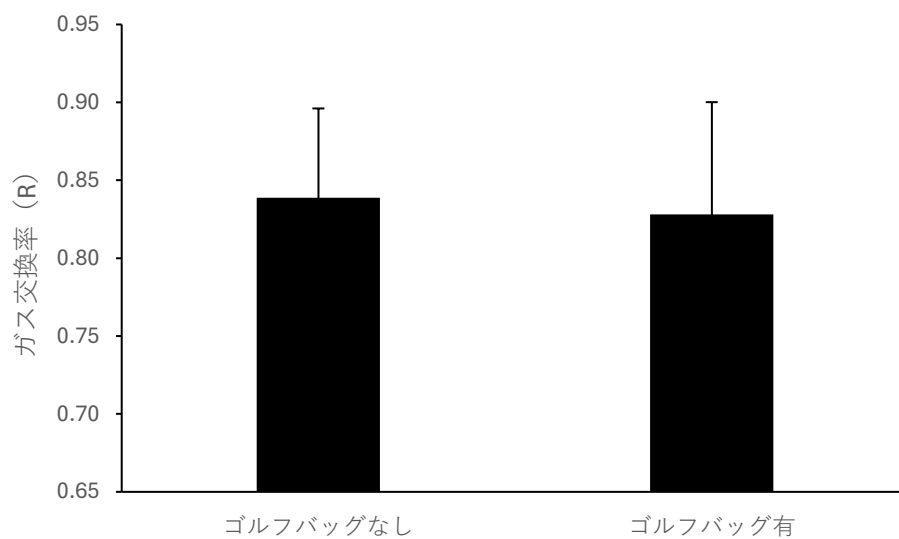


図 19 下り坂歩行ゴルフバッグなしと下り坂歩行ゴルフバッグありにおけるガス交換率

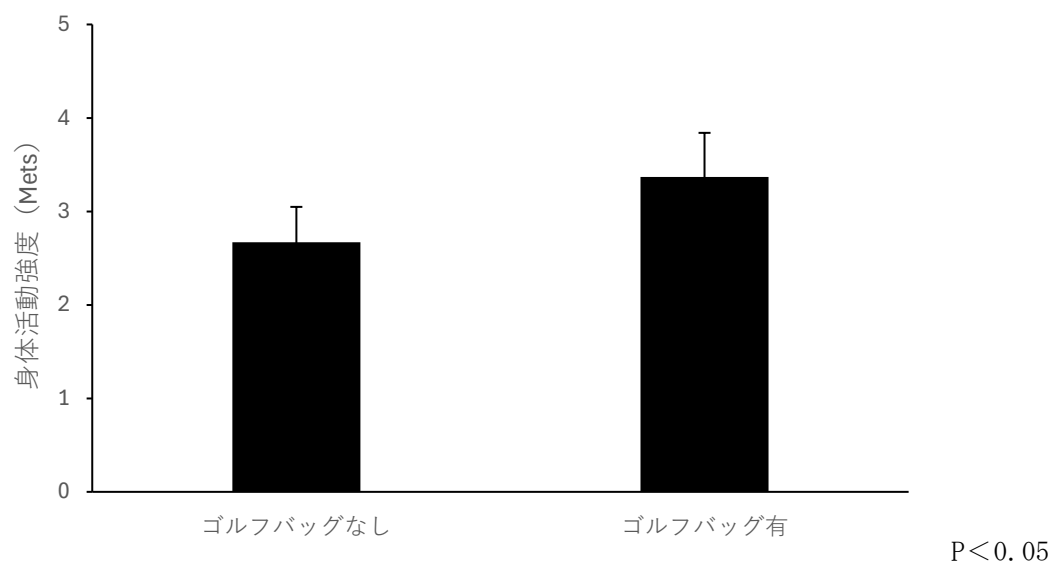


図 20 下り坂歩行ゴルフバッグなしと下り坂歩行ゴルフバッグありにおける身体活動強度

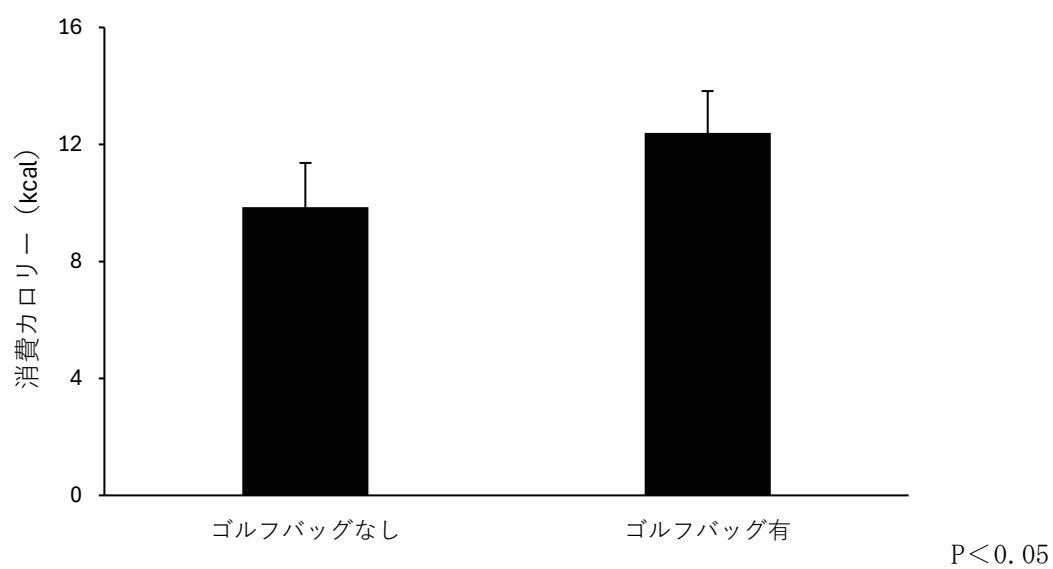


図 21 下り坂歩行ゴルフバッグなしと下り坂歩行ゴルフバッグありにおける消費カロリー

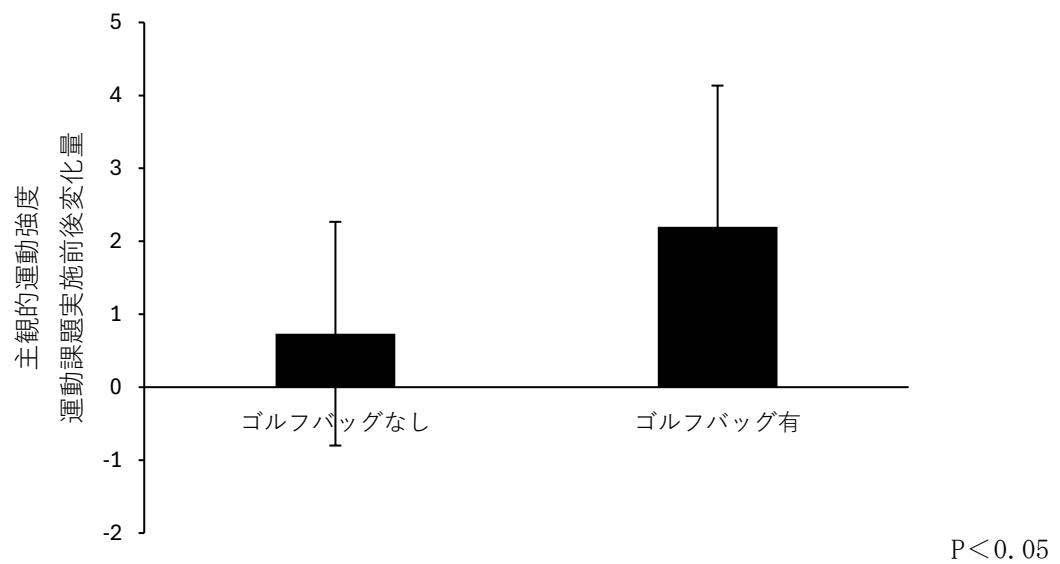
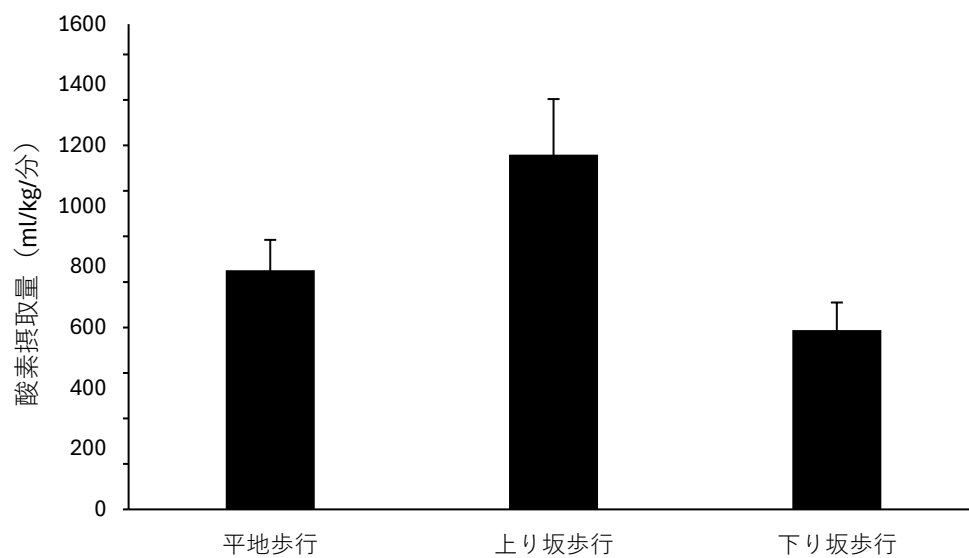


図 22 下り坂歩行ゴルフバッグなしと下り坂歩行ゴルフバッグありにおける主観的運動強度運動課題実施前後の変化量

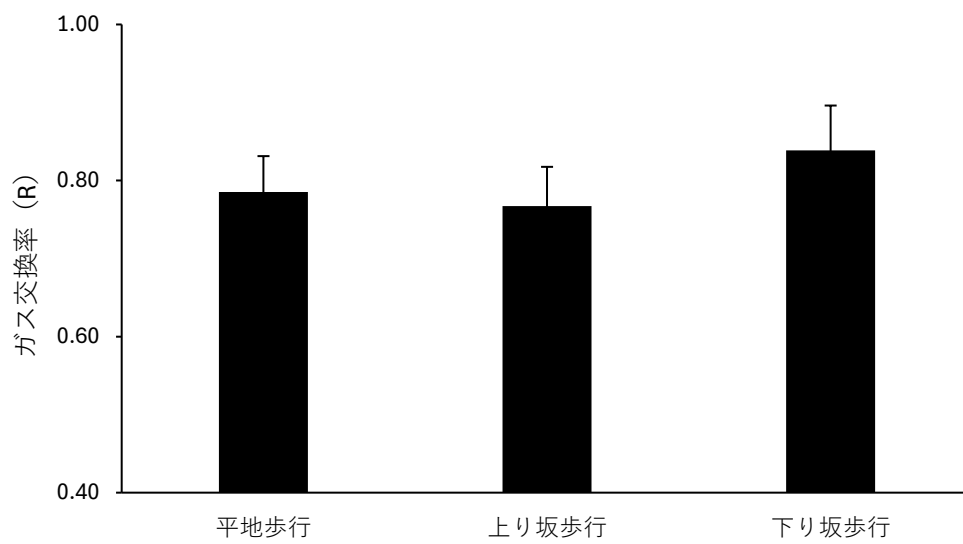


平地歩行と上り坂歩行  $p < 0.05$

平地歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

上り坂歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

図 23 ゴルフバッグなしの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における酸素摂取量



平地歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

上り坂歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

図 24 ゴルフバッグなしの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行におけるガス交換率

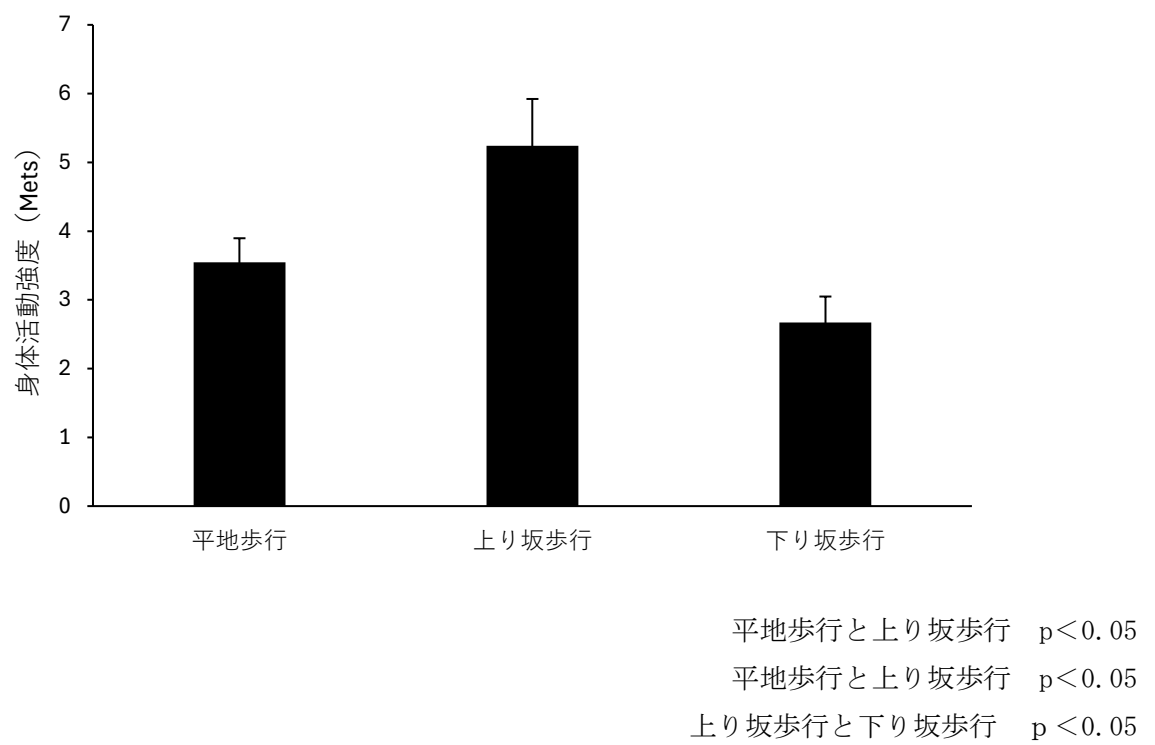


図 25 ゴルフバッグなしの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における身体活動強度



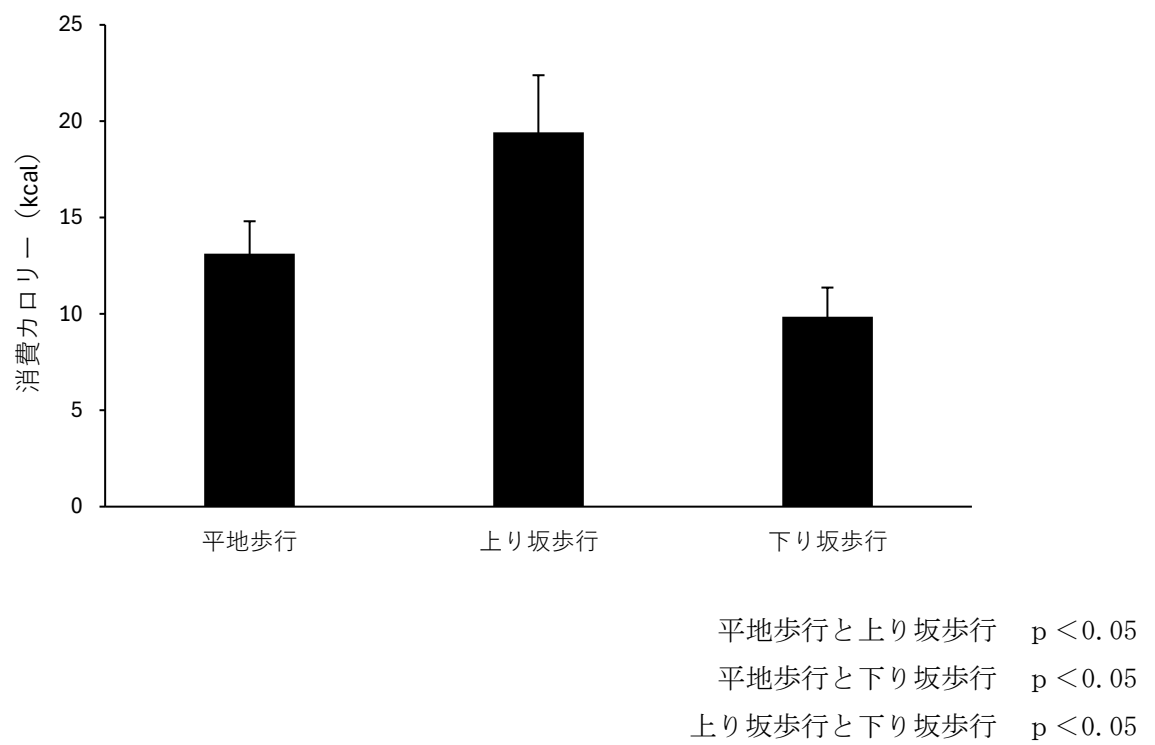
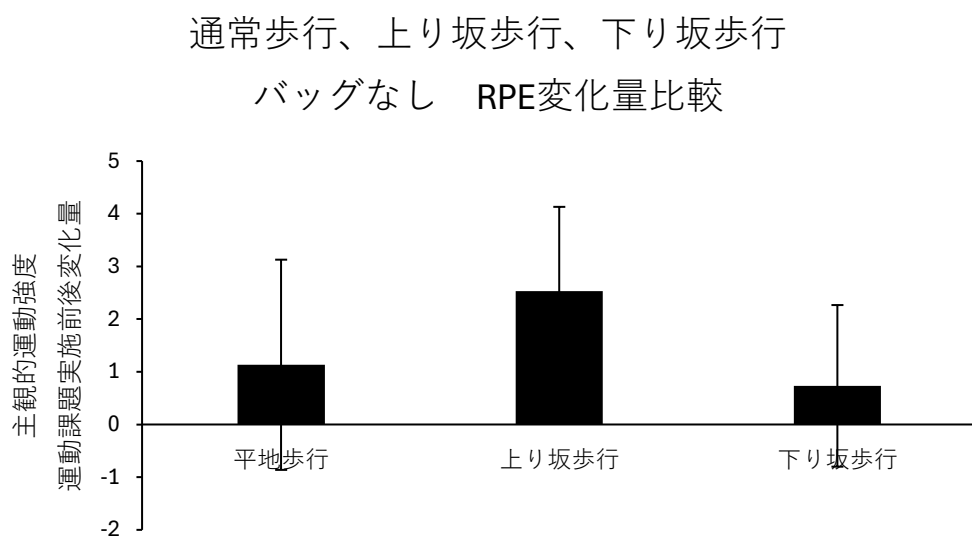
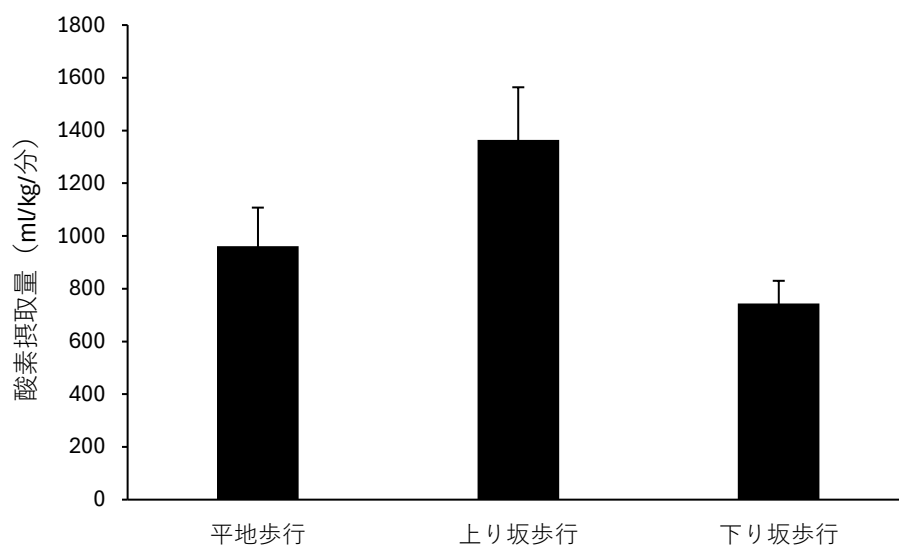


図 26 ゴルフバッグなしの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における消費カロリー



上り坂歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

図 27 ゴルフバッグなしの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における主観的運動強度運動課題実施前後の変化量



平地歩行と上り坂歩行  $p < 0.05$   
平地歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$   
上り坂歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

図 28 ゴルフバッグありの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における酸素摂取量

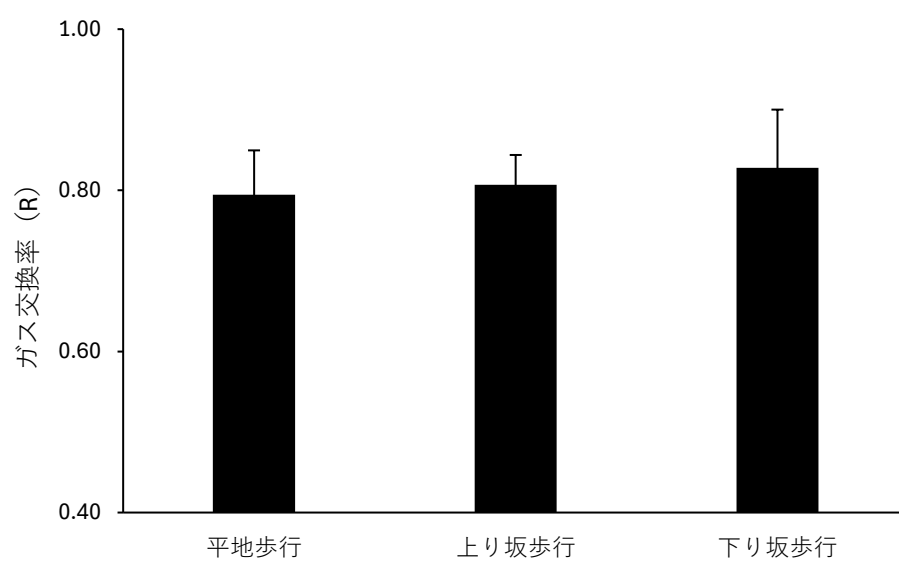


図 29 ゴルフバッグありの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行におけるガス交換率

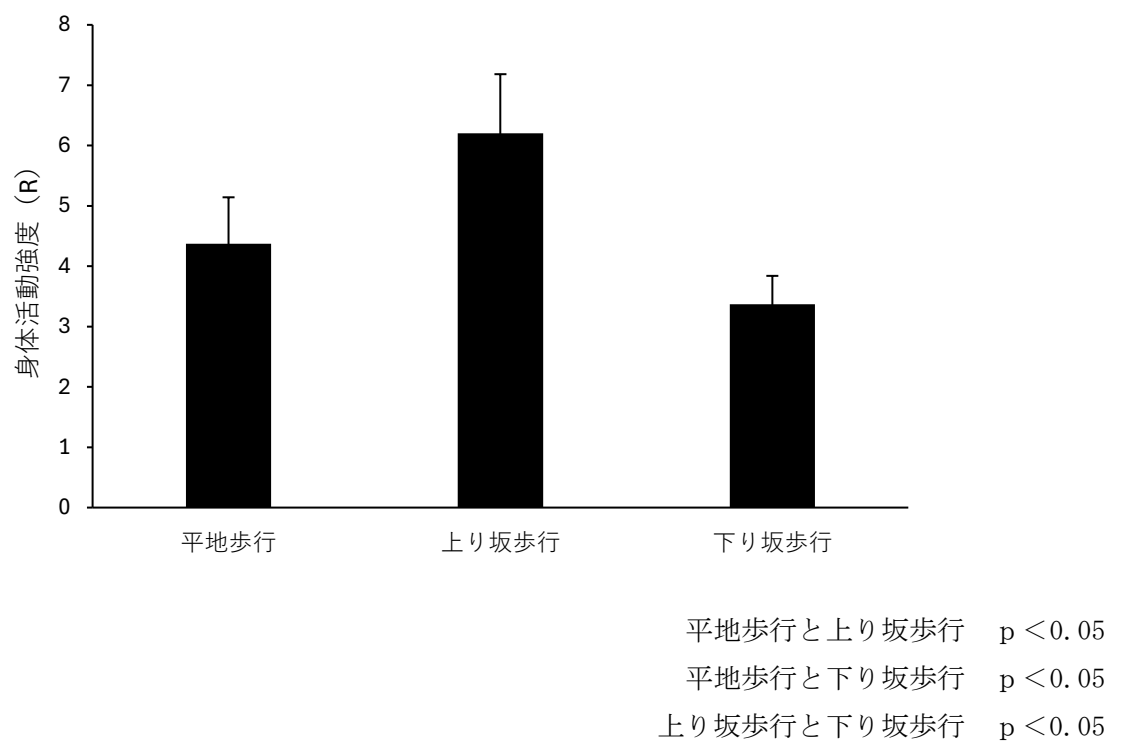
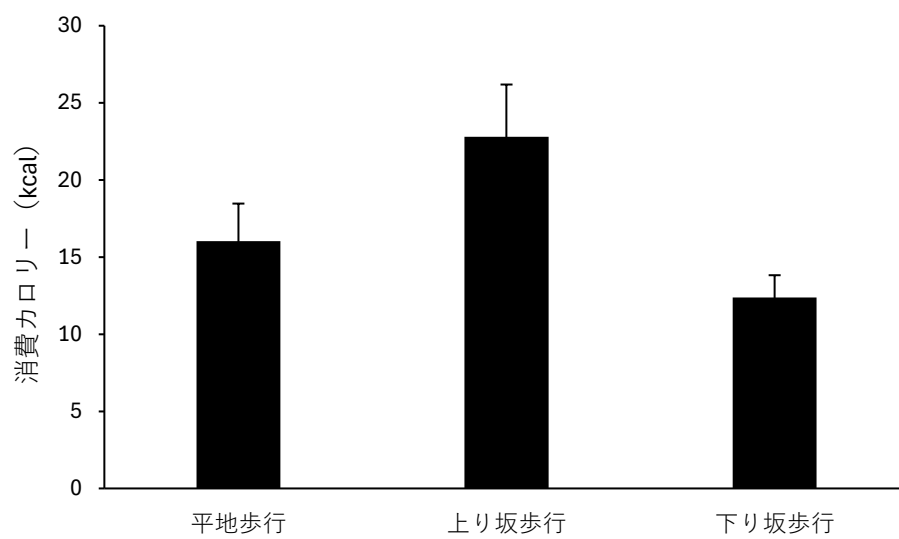
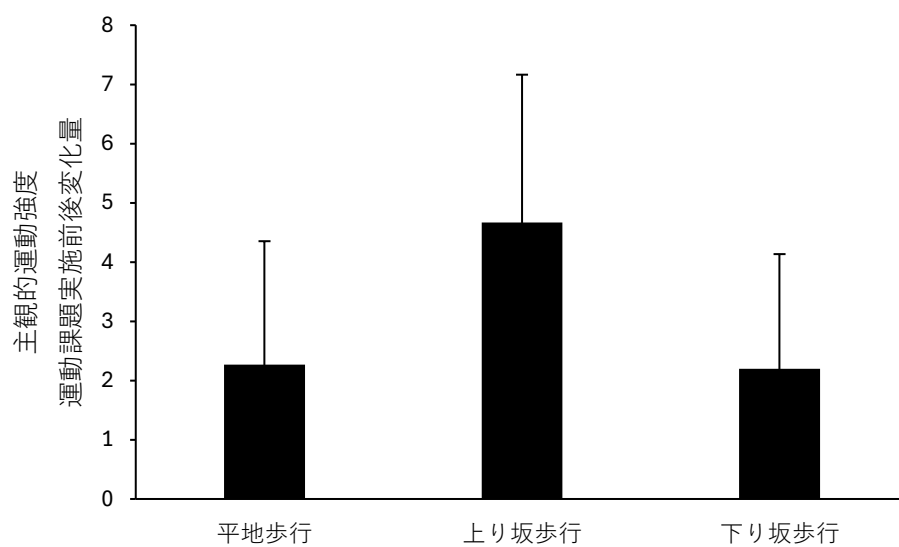


図 30 ゴルフバッグありの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における身体活動強度



平地歩行と上り坂歩行  $p < 0.05$   
平地歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$   
上り坂歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

図 31 ゴルフバッグありの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における消費カロリー



平地歩行と上り坂歩行  $p < 0.05$

上り坂歩行と下り坂歩行  $p < 0.05$

図 32 ゴルフバッグありの平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行における主観的運動強度運動課題実施前後の変化量

## 考察

本研究では、ゴルフバッグの担ぎによる坂の上り歩行、下り歩行が生体に及ぼす影響について検討した。本研究では、1) ゴルフバッグの担ぎは身体活動量を増加させること、2) 平地歩行と比較し、上り坂歩行(+5%)ではエネルギー消費量が増加すること、3) 平地歩行と比較し、下り坂歩行(-5%)ではエネルギー消費量が低下すること、が明らかになった。本研究の結果は多くの仮説を支持したが、一部そうでない結果もみられた。

1) ゴルフバッグの“担ぎ”ありとなしの比較において、平地歩行、上り坂歩行、下り坂歩行のすべてについて酸素摂取量、身体活動強度、消費カロリーのすべてに有意な差が見られた。本研究の結果より、それぞれの身体活動強度について、ゴルフバッグを担がない平地歩行では 3.55Mets、上り坂歩行では 5.24Mets、下り坂歩行では 2.67Mets であり、ゴルフバッグを担いだ平地歩行では 4.37Mets、上り坂歩行では 6.20Mets、下り坂歩行では 3.37Mets であった。1kg 当たり 7.6w 代謝エネルギーが消費されるという先行研究 (Huang and Kuo. 2014) からゴルフバッグ 12.5kg を担いでの歩行においては体重 70kg の人の場合、 $1\text{Mets} \div 1, 16\text{w/kg}$  とすると約 1.17Mets の上昇と推測される。実際には、平地歩行は 0.82Mets、上り坂歩行では 0.96Mets、下り坂歩行では 0.60Mets の上昇であった。しかし、先行研究 (Huang and Kuo. 2014) ではデータ算出に利用した歩行時間が 5 分であったのに対し、本研究では 3 分 30 秒の歩行を行い、酸素摂取量の漸進的な増加の影響を避けるためにそのうち後半 2 分のデータを用いてデータを算出した。Barstow. (1994) は、中等度運動では正常な被験者において  $\dot{V}O_2$  は  $\leq 3$  分で定常状態に達すると述べている。本研究においてデータとして採用した後半 2 分については歩行開始後 1 分 30 秒から 3 分 30 秒であり、定常状態に達していない部分もあると考えられる。これについて考慮すると、本研究における身体活



動強度の差について妥当であると解釈できる。また、下り坂歩行については、Huang and Kuo. (2014)が報告している「負の仕事は代謝コストが低い」ということより、ゴルフバッグの担ぎにより増加する負の仕事はエネルギー消費に大きく影響を与えないため、身体的活動強度の差は小さいと考えられる。したがって I：平地歩行においてはゴルフバッグを担いだ時と担がなかった時で身体活動量に差が生まれ、増加する。IV：ゴルフバッグを担いだ時の上り坂歩行、下り坂歩行は、ゴルフバッグを担がなかった時の上り坂歩行、下り坂歩行と比較し、身体活動量は増加し身体にかかる負荷はより大きくなる。という仮説は支持され、荷物を担いで歩行することで身体全体を前方へ移動させるための機械的な仕事量が増加し、結果として代謝エネルギー消費が増加するという先行研究の報告も支持する (Hung and Kuo. 2014)。また、ガス交換率については、平地歩行におけるゴルフバッグなしとありとの比較において、ゴルフバッグなしでは 0.785、ゴルフバッグありでは 0.795 と有意な差はみられず、同じ代謝領域内で運動が行われたと考えられる。これらから、ゴルフバッグの担ぎは歩行条件に関わらず運動強度を高める要因となり、ゴルフバッグの担ぎがゴルフにおいて身体活動量を向上させる有効な手段になるといえる。

2) 上り坂歩行では、ゴルフバッグの有無にかかわらず平地歩行と比較してエネルギー消費量、身体活動強度が有意に増加した。本研究の結果より、消費カロリーについてゴルフバッグを担がない平地歩行では約 3.75kcal/min、上り坂歩行では約 5.55kcal/min、ゴルフバッグを担ぐ平地歩行では、約 4.58kcal/min、上り坂歩行では約 6.52kcal/min であり、ゴルフバッグを担がない歩行では平地歩行の 148%、ゴルフバッグを担いだ歩行では平地歩行の 135%であった。健康な男性軍人を対象として無荷重と 31.4kg の荷物負荷を分散型荷物とコンパクト型荷物で分けた 3 条件で平地歩行、坂道歩行における心肺反応について検討した先行研究の結果によると、荷物なしでの平地歩行におけるエネルギー消費量は 3.49kcal/min、

5%勾配におけるエネルギー消費量は 5.59kcal/min であったとしている。また、分散型荷物での平地歩行におけるエネルギー消費量は 4.46kcal/min、5%勾配におけるエネルギー消費量は 8.28kcal/min、コンパクト型荷物での平地歩行におけるエネルギー消費量は 4.43kcal/min、5%勾配におけるエネルギー消費量は 6.26kcal/min であったとしている (Chatterjee et al. 2018)。先行研究でも、荷物なしでのエネルギー消費量の変化は 1.6 倍、荷物がある場合でも、分散型で 1.86 倍、コンパクト型で 1.41 倍となっており、ゴルフバッグの担ぎがコンパクト型に分類されるということを考慮すると本研究でのエネルギー消費量の差は妥当であると解釈できる。また、ゴルフバッグを担がない平地歩行と上り坂歩行のエネルギー消費量の差は 1.48 倍であったのに対し、ゴルフバッグを担いだ平地歩行と上り坂歩行におけるエネルギー消費量の差は 1.35 倍と増加率は小さかった。この傾向は、先行研究 (Chatterjee et al. 2018) でも報告されており、荷重重量が大きく異なるのに関わらず、平地歩行から上り坂歩行への増加率は変化が小さかった。これは、上り坂歩行における代謝コストが身体を重力に抗って持ち上げる仕事に作用されるものであり、荷重においては平地歩行と上り坂歩行の双方において作用したことで相対的に増加率が一定に保たれたことによると考えられ、また、上り坂歩行においては重力に抗い身体重心を持ち上げるために正の機械的な仕事が必要になると報告する先行研究を支持する (Minetti et al. 1994)。また、

Ⅱ：上り坂歩行に関しては、ゴルフバッグを担ぐときとゴルフバッグを担がないとき、ともに平地歩行と比較してエネルギー消費量は増加する。Ⅴ：上り坂歩行について、体重の重い人 (荷物を持つ人) の方がエネルギー消費量が多い。という仮説も支持される。また、ガス交換率について、上り坂歩行においてのみゴルフバッグの担ぎによる有意的な数値の差が見られた。バッグなしでは平均 0.77 からゴルフバッグありでは平均 0.81 へ増加しており、これは有酸素運動内で運動強度が上がり、脂肪酸燃焼系中心のエネ

ルギー供給からグリコーゲンからのエネルギー生成比が増えたと解釈することができ (Jeukendrup and Wallis, 2005)、無酸素性作業閾値未満ではあるものの無酸素性作業閾値へ近づいた強度へワンステージ移行したことを反映した変化であると考えられる。これは、長時間の競技において、代謝の様式が変化するという可能性を示すと考えられる。したがって、ゴルフバッグの担ぎ歩行は、単にエネルギー消費量を増加させるだけでなく、特に上り坂歩行において代謝基質の利用様式にも影響を及ぼす運動負荷であるといえる。

3) 下り坂歩行では平地歩行と比較してエネルギー消費量、身体活動強度が低下した。本研究において、消費カロリーについてはゴルフバッグを担がない平地歩行では約 3.75kcal/min、下り坂歩行では約 2.82kcal/min、ゴルフバッグを担ぐ平地歩行では約 4.58kcal/min、下り坂歩行では約 3.54kcal/min であり、ゴルフバッグを担がない歩行では平地歩行と比較し、下り坂歩行では平地歩行の約 75%程度まで低下し、ゴルフバッグを担いだ歩行では平地歩行と比較し、下り坂歩行では平地歩行の約 77%程度まで低下した。

健康な男性軍人を対象として無荷重と 31.4kg の荷物負荷を分散型荷物とコンパクト型荷物で分けた 3 条件で平地歩行、坂道歩行における心肺反応について検討した先行研究の結果によると、荷物なしでの平地歩行におけるエネルギー消費量は 3.49kcal/min、-5%勾配におけるエネルギー消費量は 2.51kcal/min であったとしている。また、分散型荷物での平地歩行におけるエネルギー消費量は 4.46kcal/min、-5%勾配におけるエネルギー消費量は 3.45kcal/min、コンパクト型荷物での平地歩行におけるエネルギー消費量は 4.43kcal/min、-5%勾配におけるエネルギー消費量は 3.11kcal/min であったとしている (Chatterjee et al. 2018)。先行研究でも、荷物なしでの下り坂歩行のエネルギー消費量は平地歩行の約

72%程度、荷物がある場合でも分散型で平地歩行の約 77%程度、コンパクト型で平地歩行の約 70%程度まで低下しており、本研究でのエネルギー消費量の低下は妥当であると解釈できる。

これは、Ⅲ：下り坂歩行に関しては勾配の角度によって消費するエネルギー量に差が生まれ、緩やかな傾斜角度については変化が少ないため、平地歩行と比較してエネルギー消費量は低下するものの差は少ない。という本研究の仮説においてほとんどを支持するが一部否定する。23～25%程度のエネルギー消費量の差は同じ距離、時間を歩行した場合に平地と下りで 2 割エネルギーが低下することを示しており、60 分での荷物なし歩行では約 60kcal の差が生まれると考えられる。長時間の競技特性を持つゴルフにおいて平地歩行と比較して下り坂歩行における 2 割のエネルギー消費量の差は大きいと解釈する。また、これらの結果は重力による運動補助により正の機械的な仕事が減少し、平地歩行と比較して代謝エネルギー消費量が低下すると報告している先行研究を支持する (Minetti et al. 1994)。また、ゴルフバッグを担いだ場合には下り坂歩行に関しても酸素摂取量、身体活動強度、消費カロリーに有意な差が見られた。Franz et al. (2012) は下り坂歩行において負の機械的な仕事が増加することを報告しており、下り坂では重心を制御するために身体がより大きな制動的な仕事を強いられるため、このような中におけるゴルフバッグの担ぎといった荷重は負の仕事をさらに増加させ、結果的に酸素摂取量や身体活動強度の増加を起こしたと考えられる。これは、本研究におけるⅥ：下り坂歩行について、同じ傾斜角でも体重の重い人(荷物を持った人)の方が軽い人(荷物を持たない人)に比べてエネルギー消費量は増加する。という仮説を支持する。また、ガス交換率については、下り坂歩行においてゴルフバッグなしでは 0.84、ゴルフバッグありでは 0.83 となっており、有意な差はみられなかった。これは、下り坂歩行においてゴルフバッグの有無にかかわらず同じ代謝領域内で運動が行われたことを示すものだと考えられる。したが

って、ゴルフにおける担ぎ歩行では、下り坂であってもエネルギー消費量は低下するものの身体的負荷が軽減されるとは限らず、コースの起伏と荷重の条件を考慮したうえでの運動負荷の解釈やトレーニング計画が重要であるといえる。

また、ゴルフの歩行におけるゴルフバッグの“担ぎ”ありとなしの総エネルギー消費量の差を本研究で得られたデータより算出すると、コースにおける総距離を 7000 ヤードとして 4km/h でラウンドした場合、1 ヤード=0.9144m より歩行時間は約 1.6 時間と計算でき、平地歩行について消費カロリー平均を用いると約 79.82kcal、身体活動強度平均を用いると体重を 70kg と仮定して約 91.84kcal となる。80～90kcal のエネルギー消費量の差は、ゴルフバッグを担ぐ学生ゴルフにおいて、競技中の身体負荷を高めていることを示すものであると考えられる。

本研究は、荷物運搬や坂道歩行に関する先行研究は多く存在する中でゴルフバッグの担ぎに焦点を当て、実際のゴルフ競技に近づけて上り坂歩行、及び下り坂歩行における生体への影響について検討した。結果として、ゴルフバッグの担ぎはどの歩行条件でも身体的な負荷を増加させることが明らかになった。学生ゴルフにおいてはゴルフバッグの担ぎが義務付けられており、本研究の結果は学生ゴルファーにおける身体的な負荷やトレーニングを考えるうえで有用な資料になると考えられる。また、プロゴルフと学生ゴルフにおいて移動の方法が異なることにより、本研究は両者の有する競技特性が異なるものであるということを示すことができたと考える。

本研究ではトレッドミルでの計測により歩行条件は一定の勾配に限定されているため、実際のゴルフ場に存在する多様な地形には対応できていない。また、スイング動作に伴うエネルギー消費を含めていないために競技全体としてのエネルギー消費量については評価できていない。

## 結論

本研究では、ゴルフバッグを担いだ状態での坂道歩行が生体に及ぼす影響について検討した。その結果、ゴルフバッグの担ぎはすべての歩行条件において身体活動量、エネルギー消費量を増加させた。特に、上り坂歩行については顕著に変化が見受けられた。これらの結果は学生ゴルフにおける身体的負荷の特徴を理解するうえで重要な資料となると考えられる。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、指導教員である中京大学スポーツ科学部の渡邊航平教授には多大なるご指導と助言を賜りましたこと、深く感謝申し上げます。また、本研究の実験において参加協力をいただきました本学生の皆様にも感謝申し上げます。

## 参考文献

- A E Minetti, L P Ardigo, F Saibene. Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans. *Journal of Experimental Biology* 195(1):211-225, 1994
- A E Jeukendrup, G A Wallis. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *International Journal of Sports Medicine* 26(Suppl 1):S28 - S37, 2005
- C Z Zai, A M Grabowski. The metabolic power required to support body weight and accelerate body mass changes during walking on uphill and downhill slopes. *Journal of Biomechanics*

103:109667, 2020

J R Franz, N E Lyddon, R Kram. Mechanical work performed by the individual legs during uphill and downhill walking. *Journal of Biomechanics* 45(2):257-262, 2012

S Chatterjee, T Chatterjee, D Bhattacharyya, S Sen, M Pal. Effect of heavy load carriage on cardiorespiratory with varying gradients and modes of carriage. *Military Medical Research* 5:26, 2018

T P Huang, A D Kuo. Mechanics and energetics of load carriage during human walking. *Journal of Experimental Biology* 217(4):605-613, 2014

T J Barstow. Characterization of V02 kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26(11):1327-1334, 1994

アクティブ 中学校体育実技 愛知県版 第日本図書

中部学生ゴルフ連盟 規約・競技規定 [ローカルルールと競技の条件]

[中部学生ゴルフ連盟 | CHUBU STUDENT GOLF UNION](#)

# 災害非常食である乾パンの摂食における食後血糖応答の変化

J522120

渡邊 翼

中京大学スポーツ科学部 渡邊航平研究室





## 抄録

背景：近年、日本では激甚化する自然災害の影響により、避難所などでの生活を余儀なくされるケースが増えている。避難環境では非常食を中心とした食生活が継続され、水分摂取が制限される状況も少なくない。実際の能登半島災害支援活動を通じ、避難環境の深刻さは社会的な課題である。避難環境を支える食事について、その代表的な食べ物は乾パンである。乾パンは保存性に優れる一方で炭水化物主体であり含水率が低く、硬度が高いという特殊性を持つ。摂取時の咀嚼や消化過程の違いが食後血糖応答に影響を及ぼす可能性がある。本研究では、非常食摂取時における水分摂取の有無が食後血糖応答に及ぼす影響を検討することを目的とした。

方法：健康な大学生 10 名を対象に、パン 140g、パン 140g+水 300mL、乾パン 100g、乾パン 100g+水 300mL をそれぞれ摂取する 4 条件を設定し、各条件を別日に実施した。前日から 12 時間の絶食およびカフェイン、アルコール摂取制限を行い、間歇スキャン式持続血糖測定器を用いて食後 0 分から 120 分まで 10 分間隔で血糖値を測定した。ピーク到達時間、ピーク値、血糖値時間曲線下面積（AUC）を算出し比較した。結果：水を摂取した条件では、炭水化物および乾パンのいずれにおいても血糖ピーク到達時間が有意に早まった（ $p < 0.05$ ）。一方、ピーク値および AUC については、水分摂取の有無による有意な差は認められなかった（ $p > 0.05$ ）。また、水分摂取による血糖応答の変化において、炭水化物と乾パンの間に有意な差は認められなかった（ $p > 0.05$ ）。

結論：非常食摂取時の水分摂取は血糖ピーク到達時間を早めるが、血糖上昇量そのものを増加させない可能性が示唆された。本研究は、災害時における非常食の摂取方法を検討する上での基礎的知見を提供するものである。

## 背景

近年、日本では地震や豪雨などが頻発に発生しており、懸念される南海トラフ巨大地震は今後 30 年以内に高い確率で発生する可能性がある大規模災害として国により想定されている（内閣府 2025）。大規模災害発災時には電気・水道・ガスといったライフラインが寸断され、避難所や自宅避難において非常食を中心とした生活を余儀なくされる。発災直後から約 1 週間は生活環境が大きく混乱する大混乱期とされ、非常食中心の生活が余儀なくされる（新潟大学地域連携フードサイエンスセンター 2014）。炊き出しなどの食支援体制が十分に整うまでには発災後 1 ヶ月程度を要することも報告されているため、避難生活において非常食を 1 週間以上継続して摂取する状況が生じる（新潟大学地域連携フードサイエンスセンター 2014）。また、避難環境では、運動機会の減少、長時間の座位姿勢、トイレ使用を控える意識など、平常時とは異なる生活様式が重なり、心身への負担が増大する。これらの要因が複合的に影響して発生しうる災害関連死は社会的課題となっており、内閣府の災害関連死事例集では、平成 16 年新潟県中越地震において、地震後の栄養障害が死亡要因の一つと考えられる事例が報告されている（内閣府 2023）。このような社会的課題の中で、避難環境生活を支える食事について、非常食摂取が身体に及ぼす影響を明らかにすることは、災害時の健康維持の観点から重要である。非常食として広く用いられる乾パンは、保存性に優れる一方で、通常の食品と比較して含水率が低く、炭水化物を主体とするという特徴を有している（文部科学省 2017）。また硬度も高く、これらの特徴に加えて、摂取時に水分を必要とする特徴を併せ持っている。実際の災害現場では水分を同時に摂取する場面と水分が摂取できないという両面が想定される。食品特性に加えて水分摂取の有無という条件が重なることで、消化吸收過程や食後血糖応

答がさらに変化する可能性がある。一般に、血糖値の変化は、炭水化物のほとんどが消化によってブドウ糖となり小腸から吸収されて血液の中に入る。水分摂取における炭水化物の食後血糖値の動きについ

ては、じゃがいもの食事に水分摂取の有無を加えた条件において、水分を摂取した条件は水分により分解され、胃排出の促進から AUC および血糖値のピーク値が増加したと報告されている (Torsdottir and Andersson 1989)。同様に米と、米に水分摂取の有無を加えた食事の両方を比較した研究においても、水分摂取を伴う条件は血糖値のピーク到達時間が早まったことが報告されている (Tobina et al. 2024)。

避難生活中は、炭水化物を中心とした乾燥非常食を継続的に摂取することが原因で、食後血糖値の急激

な上昇を反復的に引き起こす可能性がある。血糖値の急上昇が常態化した場合、動脈硬化の進展や心血管疾患リスクの増大、さらには糖尿病などの生活習慣病の発症リスクと関連することが報告されている

(Node and Inoue 2009)。実際に東日本大震災後、避難生活を経験した住民において、肥満、高血圧、糖尿病などの心血管リスク因子が増加したことを報告した (Ohira et al. 2018)。また福島第一原子力発電所事故後の避難者を対象とした調査では、避難生活により、非避難者よりメタボリックシンドロームの発症リスクを有意に増加させることが報告されている (Hashimoto et al. 2018)。避難施設では食事内容の選択肢が限られるため、乾燥非常食を中心とした食生活が長期化し、栄養の偏りや代謝リスクが蓄積する可能性がある。このことから災害時、摂取に水分を必要とする乾パンが、健康面において適切かどうかを食後血糖応答に及ぼす影響から検討することは意義がある。これまでの先行研究の多くは平常時の食事環境における一般食品を対象としており、災害時を想定した乾燥食品摂取や水分制限条件下における食後血糖応答について比較した研究は限られている。以上の背景から、本研究では災害用食品摂取時

における水分摂取の有無が食後血糖応答に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。普段食である炭水化物（パン）と災害食（乾パン）を対象に、それぞれを単体で摂取、水分を摂取するという4つの条件を検証する。本研究では以下の2つの仮説を立てた。

① 炭水化物（パン）と乾パンにおいて、水分の摂取は胃排出を促進し血糖値が上昇するため、ピーク

到達時間を早め、ピーク値、AUCを増加させる

② 炭水化物（パン）と乾パンを比較したとき、水分の摂取という条件は含水率、硬度の違いにより、

普段食の炭水化物（パン）の方がより分解されることで胃排出が促進され、ピーク到達時間が早ま

り、AUC, ピーク値が高くなる

## 方法

### 対象者

対象者は健康な本学の男子学生で、平均年齢は $21.6 \pm 0.7$ 歳の10人を集めた。すべての対象者に、研究目的、方法、タイムテーブルについて説明し、文書による同意を得た。測定期間中は生活習慣に大きな変化が生じないよう指示し、過度なアルコールやカフェインの摂取は避けるよう求めた。

### 測定器

本研究では間歇スキャン式持続血糖測定器の使用において、グルコース濃度を連続的に測定できるグルコースモニタシステム FreeStyle リブレ2（アボットジャパン合同会社 日本）を使用し、対象者の上腕部皮膚に装着した（図 1, 2, 3）。この製品は血糖値およびケトン体（ $\beta$  ヒドロキシ酪酸）を測定する計測器として機能する。また対象者にはスマートフォンに、同社が提供するアプリケーションソフトウェアである「FreeStyle リブレ Link」をインストールさせ、そのアプリケーションでセンサーをスキャンすることでグルコース値を測定した。測定は食後0分、10分…120分までの10分間隔で計測し、対象者は座位での安静待機とし身体活動を禁止した。試験食品摂取から試験終了までは絶食とし、水分の追加摂取も認めなかった。



図 1 FreeStyle リブレ 2



図2 FreeStyle リブレ2 箱の中身



図3 FreeStyle リブレ2の装着の様子事前条件

対象者には前日の夕食は実験の12時間前までに済ませるように指示し、それ以降は水またはお茶のみの摂取を指示した。前日はカフェイン、アルコールを含む飲食物の摂取を禁止し、過度な食事内容を避けるよう求めた。また間歇スキャン式持続血糖測定器のセンサーは実験前日までに装着を完了させた。

#### 食事内容

実験当日は午前9時に本学の食堂に集合し、間歇スキャン式持続血糖測定器が正常に作動していることを確認した。空腹時血糖値を測定した後に試験食の摂取を開始した。本研究では、1人4条件をそれぞれ別日に実施し、各条件の間隔は24時間以上になるよう設定した。



## 試験食

試験条件は以下の4条件である。

条件①パン 140g 条件②パン 140g+水 (300ml)

条件③乾パン 100g

条件④乾パン 100g+水 (300ml)

乾パンについては三立製菓株式会社の「味わい豊かに香ばしく カンパン」【栄養成分表示 (100g 当たり)】

エネルギー：414kcal / たんぱく質：8.4g / 脂質：5.7g / 炭水化物：82.2g / 食塩相当量：1.0g を使用した (図 4)。また炭水化物 (パン) については、山崎製パン株式会社の「自家製発酵種ルヴァン使用香ばしいバゲット」栄養成分表示 (一個当たり)【エネルギー：488kcal / たんぱく質：19.0g / 脂質：

3.4g / 炭水化物：95.3g / 食塩相当量：2.5g を使用した (図 5)。摂取量は災害時に配給される乾パン 1 缶 (100g) に含まれる炭水化物量と等量となるよう、炭水化物量 84.9g に相当する量を設定した。水分は先行研究に則り、300ml と設定した (図 6)。。両者において、咀嚼回数を一口あたり 40 回と統一し、20 分以内に食事をするよう指示した。





図4 使用した乾パン



図5 使用したパン



図 6 使用した水分 300ml 解析統計

本研究では統計用ソフトウェア（SPSS）を使用し、判定基準となる有意水準を 0.05（5%）と設定した。センサーで測定したグルコース値の最大値をピーク値とする。また、グルコース値のピーク到達時間は、各試験条件において食後 0～120 分の測定期間中に記録されたグルコース値のうち、最大値を示した時点（分）として定義した。同一の最大グルコース値を複数回の測定した場合には、最初に最大値を示した時点ピーク到達時間として採用した。AUC については対象者の測定した各条件のグルコース

値を合計したものとする。

## 結果

まずピーク到達時間について、パン単体とパン＋水を比較すると、両者のピーク到達時間については有意な差がみられた( $p < 0.05$ ) (図 7)。乾パン単体と乾パン＋水についても同様、ピーク到達時間は有意な差がみられた( $p < 0.05$ ) (図 8)。ピーク値、AUC についてパン単体とパン＋水、乾パン単体と乾パン＋水の両者では有意な差を確認できなかった( $p > 0.05$ ) (図 9, 10)。炭水化物＋水と乾パン＋水の両者において、水分を加えた影響の差については、ピーク到達時間、ピーク値、AUC すべてで有意な差を確認できなかった( $p > 0.05$ ) (図 11)。対象者の血糖値の平均値と標準偏差のグラフをパン (図 12)、パン＋水 (図 13) 乾パン (図 14)、乾パン＋水 (図 15) と示した。

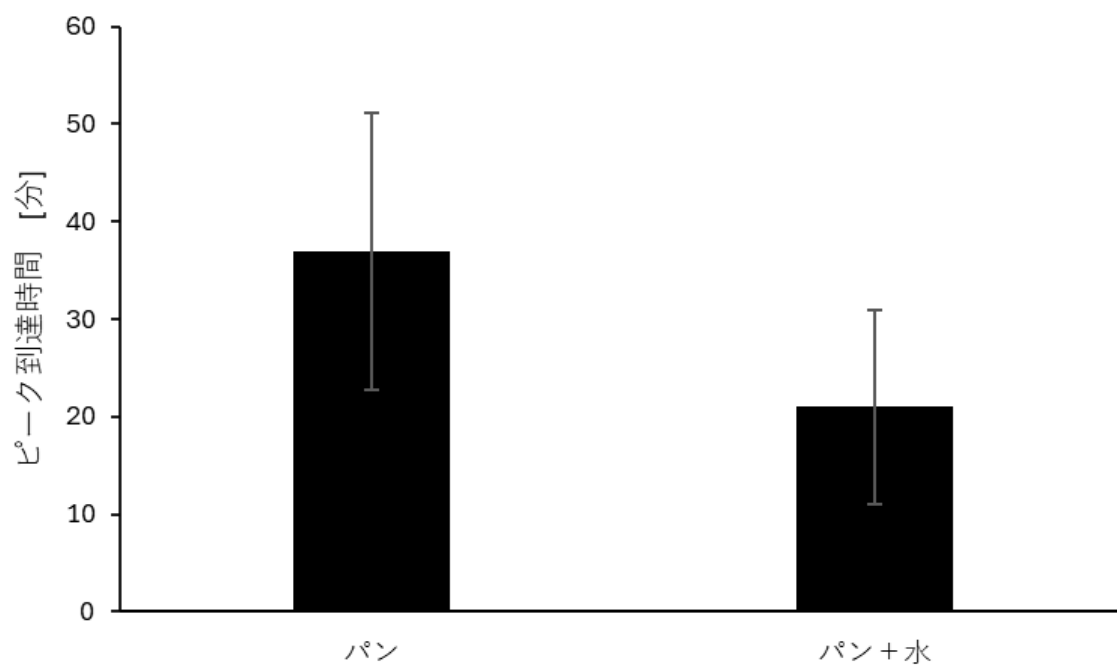


図 7

パンとパン+水におけるピーク到達時間の平均値と標準偏差の比較

( $p < 0.05$ )

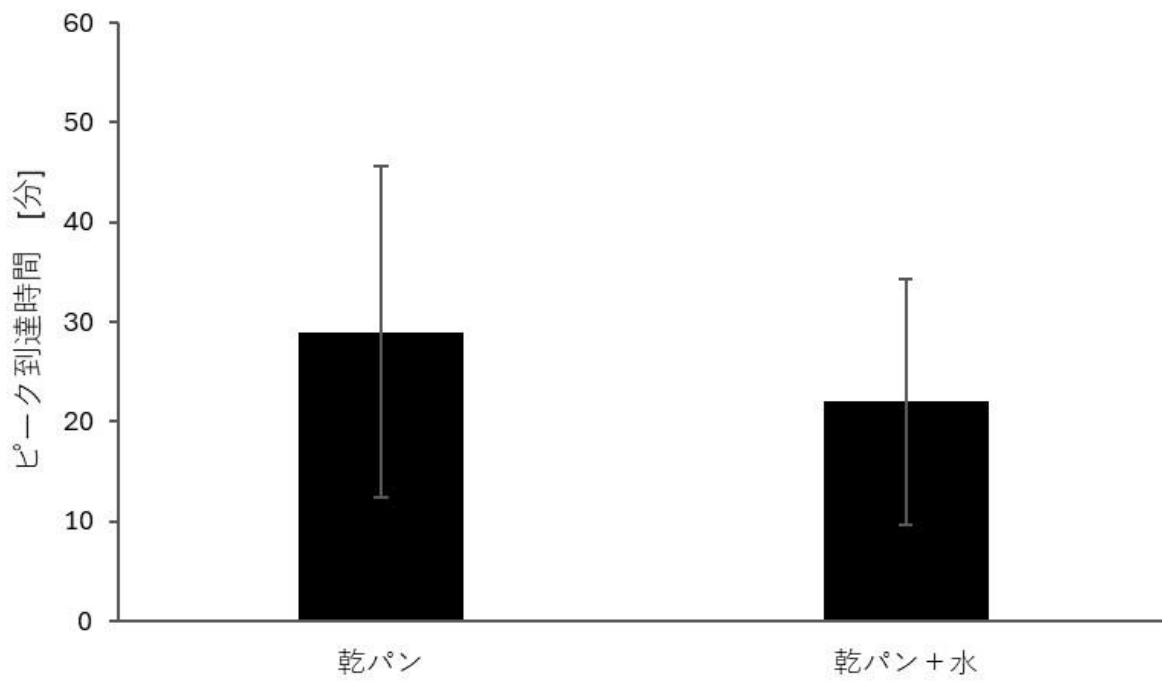


図 8

乾パンと乾パン+水におけるピーク到達時間の平均値と標準偏差の比較

( $p < 0.05$ )

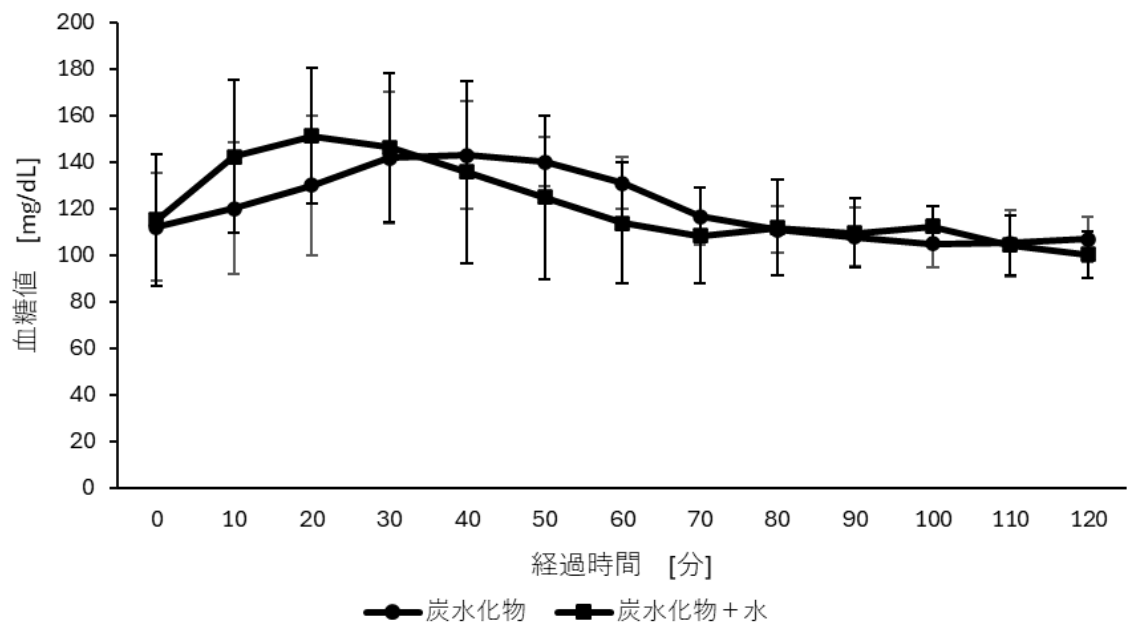


図9 炭水化物と炭水化物＋水に関する血糖値の平均値と標準偏差の比較

● : 炭水化物、 ■ : 炭水化物＋水

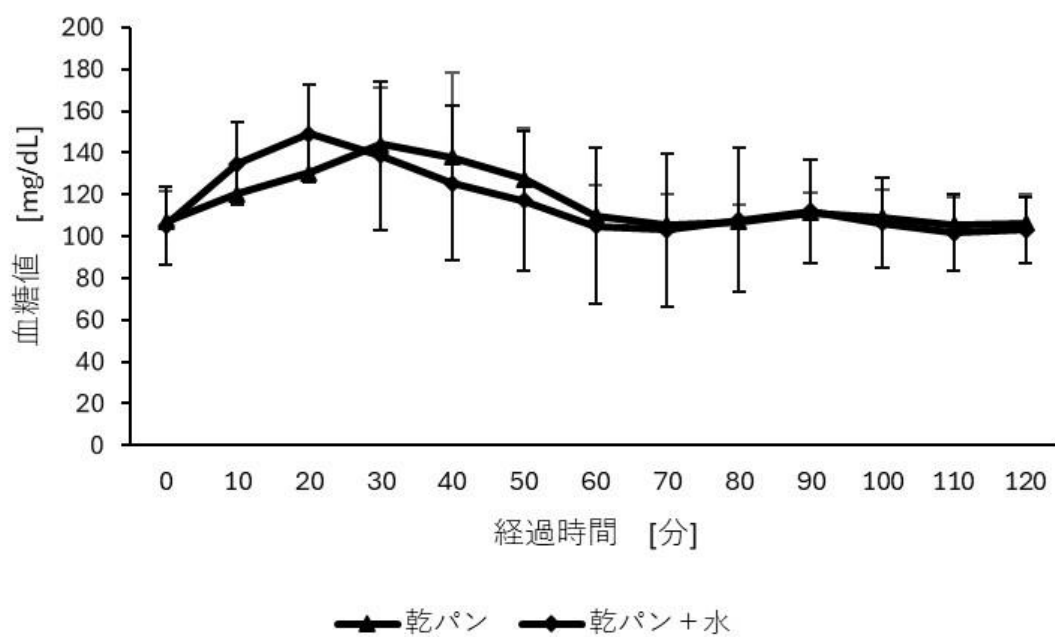


図 10 乾パンと乾パン+水に関する血糖値の平均値と標準偏差

▲ : 乾パン、◆ : 乾パン+水



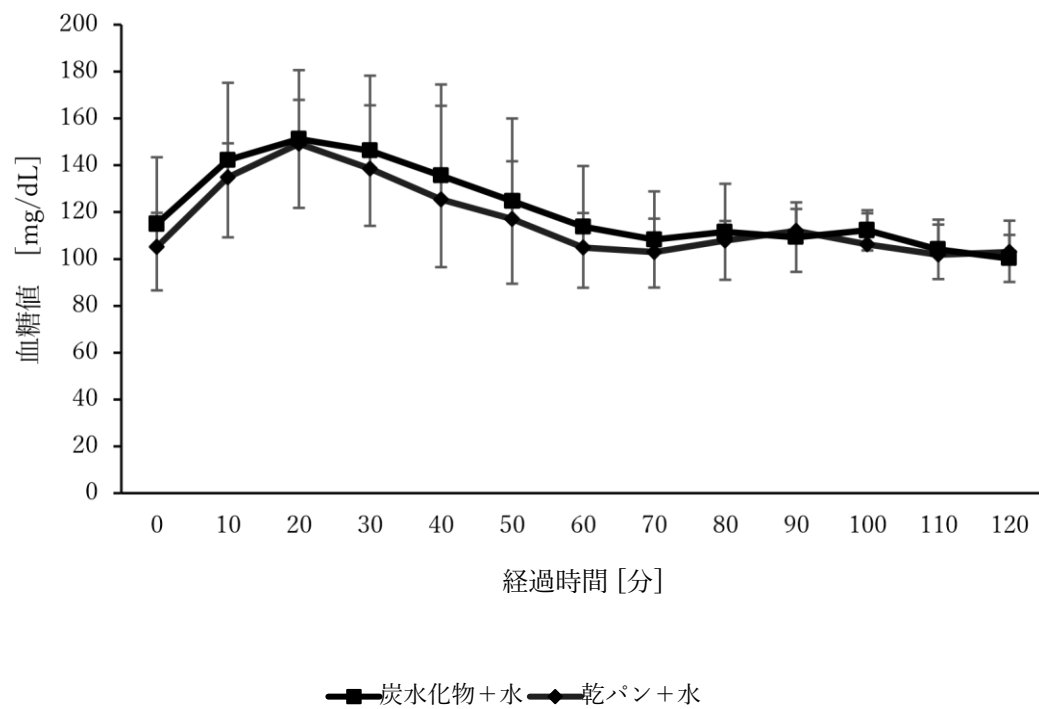


図 11 炭水化物+水と乾パン+水に関する血糖値の平均値と標準偏差の比較

■ : 炭水化物+水 、 ◆ : 乾パン+水

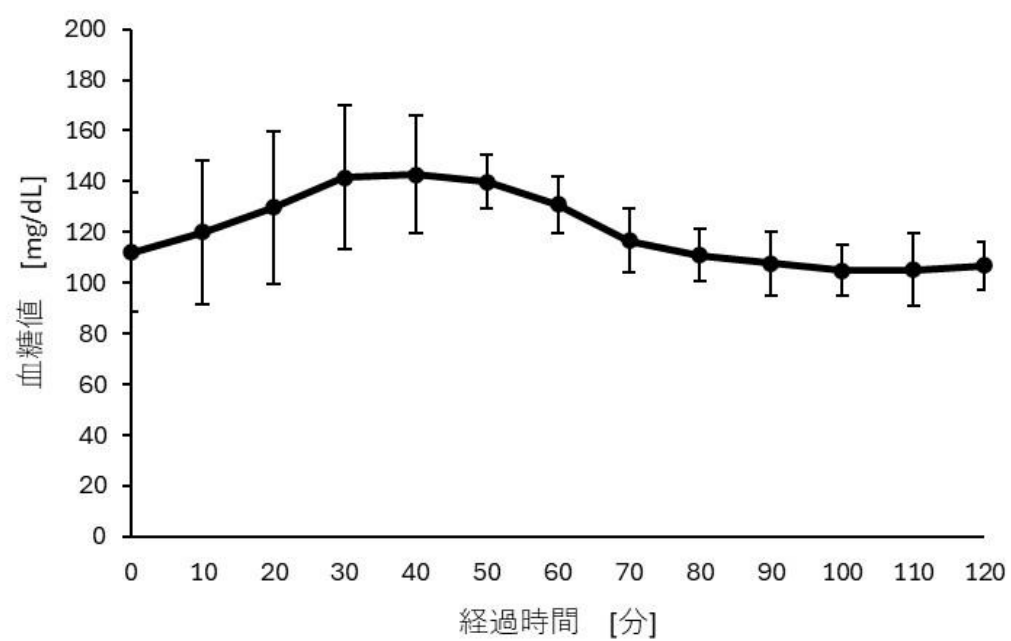


図 12 炭水化物（単）の摂取に関する血糖値の平均値と標準偏差

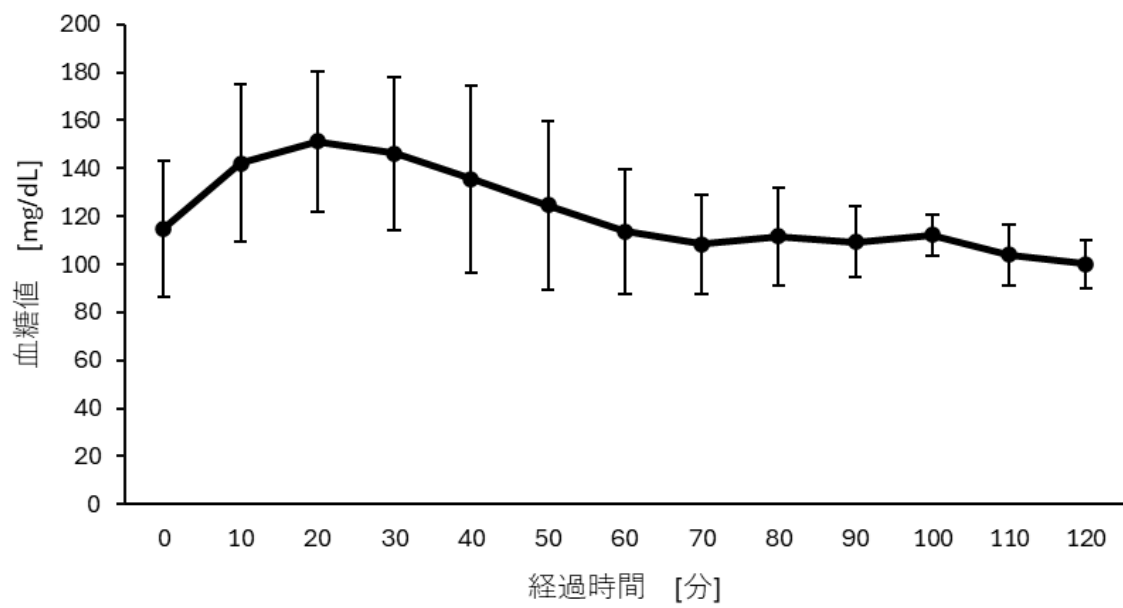


図 13 炭水化物＋水の摂取に関する血糖値の平均値と標準偏差

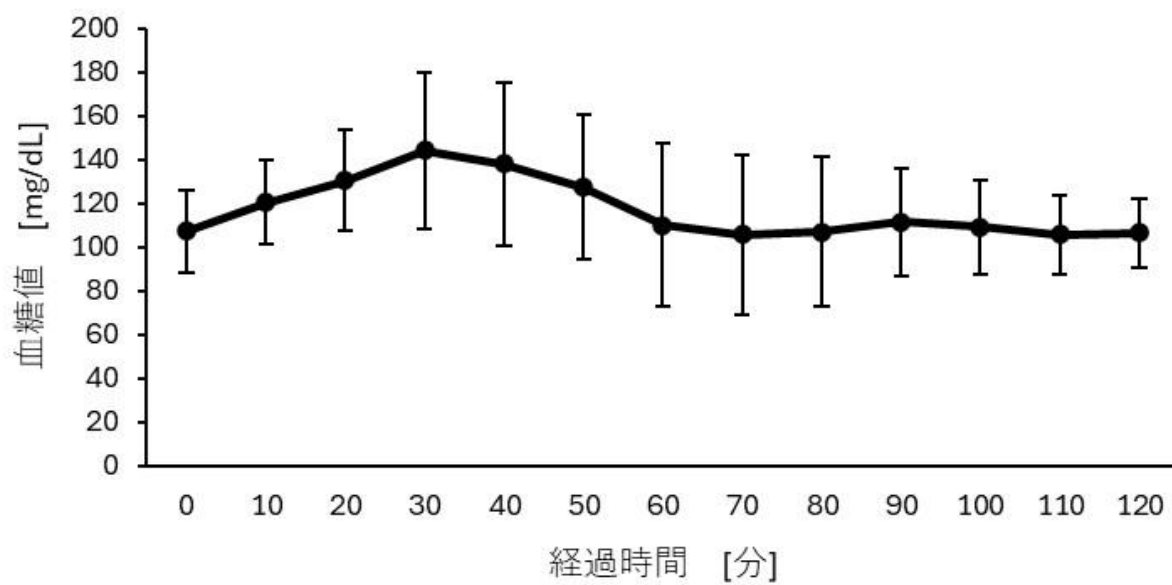


図 14 乾パン（単体）の摂取に関する血糖値の平均値と標準偏差

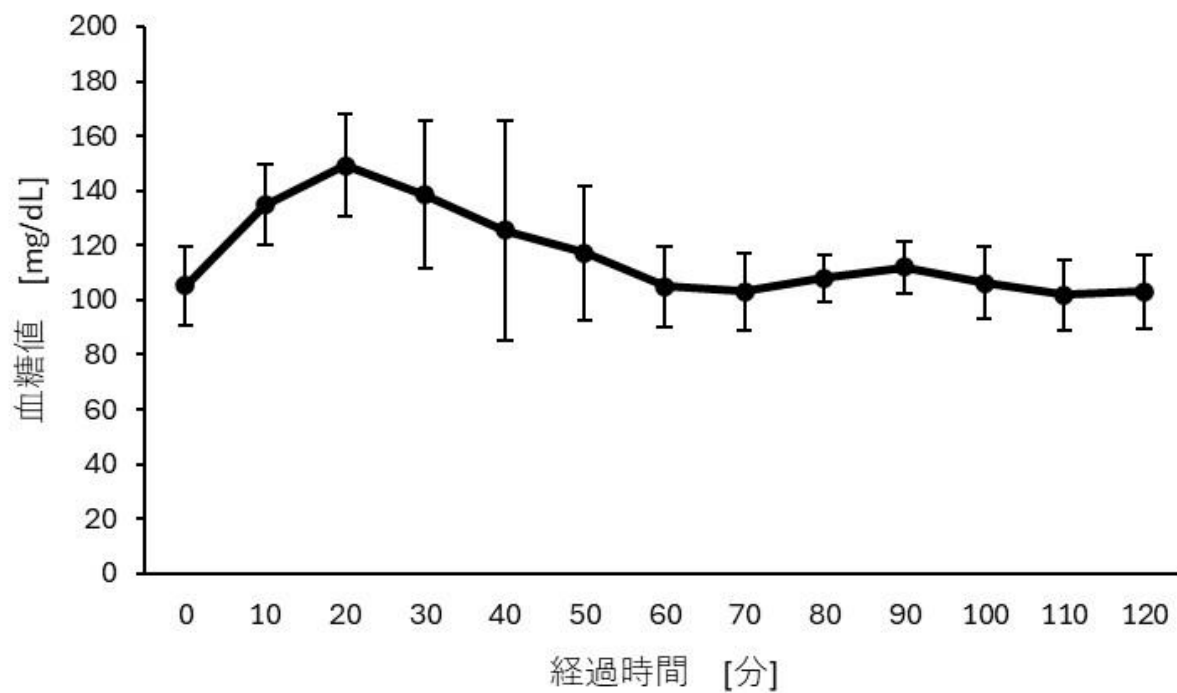


図 15 乾パン+水の摂取に関する血糖値の平均値と標準偏差

## 考察

本研究では炭水化物（パン）、乾パンにおいて、水分の摂取が血糖の上昇パターンに与える影響を検討した。血糖値の変化としては、計測したグルコース値を血糖値として考察する。その結果、1) 炭水化物（パン）、乾パンのいずれの摂取においても、水を加えて摂取した場合、血糖値のピーク到達時間は有意に早まった 2) 一方、ピーク値および AUC については、水による影響に

有意な差は認められなかった 3) 水を加えて摂取した血糖応答について、水の影響の大きさに炭水化物（パン）と乾パンの間で有意差は認められなかったという結果が明らかになった。

これらは仮説①において、水分摂取により炭水化物及び乾パンのピーク到達時間の早期化という部分を支持したが、ピーク値および AUC の上昇という部分は支持しない結果となった。

水を摂取した条件では、血糖値のピークに到達する時間に統計的な有意差が認められ、水分摂取が血糖応答の時間的推移のみに関係している可能性が示唆される。一方、ピーク値、AUC の上昇には有意な差が認められない結果となり、水分が血糖応答の量的要因にはならない可能性が示唆された。まず、ピーク到達時間が早期化した要因として、先行研究では水分摂取による胃排出の促進によって説明できると報告されている (Torsdottir and Andersson 1989)。本研究においても、炭水化物（パン）や乾パンを水分とともに摂取した場合、胃内で食品が軟化し、食塊の流動性が高まったことで胃排出が促進されたと考えられる。その結果、炭水化物が小腸へ到達する時間が短縮され、でんぷんの分解およびグルコースの吸収が早まったことで、単体摂取と比較して血糖値のピーク到達時間が早くなった可能性が示唆される。

一方、ピーク値および AUC については水分摂取によって有意に上昇したとは言えない結果となった。このことから水分が血糖値そのものを上昇させる要因とはならず、血糖応答の時間の推移

のみに影響を及ぼした可能性が予測できる。本研究では先行研究より多くの炭水化物量で設定したものの、ピーク値および AUC の向上は認められなかった。血糖値変動は、その食事時の炭水化物の割合に対応している可能性があるという報告されている (Song et al. 2023)。このことから、炭水化物量よりも他の要因を挙げると、本研究の結果が予測と異なった要因として、摂取内容よ

りも対象者の特性が影響した可能性が挙げられる。本研究の対象者は、本学の健常で若年層かつほとんどが強度の高い運動習慣を有する学生であった。先行研究では非糖尿病一般成人男性（平均年齢 26 歳、平均 BMI23.6kg/m<sup>2</sup>）を対象としているのに対し、本研究では本学の非糖尿病成人一般男性（平均年齢 21.6 歳、平均 BMI23.5kg/m<sup>2</sup>）であり、対象者のほとんどが高強度運動習慣を有する集団だった。強度の高い運動習慣はインスリン感受性を改善し、糖代謝の調整に寄与することが報告されている（Sato et al. 2003）。本研究の対象者はインスリン分泌が速く、インスリン感受性が高い集団であった可能性があり、その結果として、炭水化物摂取量が多かったにもかかわらず、ピーク値および AUC が上昇しなかったと推察される。

また、3) 水を加えて摂取した血糖応答については、水の影響の大きさに炭水化物と乾パンの間で有意差は認められなかった。この結果は仮説②である「炭水化物と乾パンでは食品特性が異なるため、水を摂取した場合、パンの方が消化・吸収が進みやすく、水の影響がより大きく現れる」という仮説を支持しない結果となった。乾パンは硬度が高く含水率が低いため、炭水化物と比較して消化・吸収過程に差が生じ、血糖値のピーク到達時間に違いが現れると予想していた。特に、本研究では咀嚼回数を統一しており、食品の特性の違いによって咀嚼後に胃内への投入状態に差が生じると予測していた。咀嚼過程は食品の物理特性の影響を受けることが報告されている（Sari and Rafisa 2023）。また、食品に水分を加えることで乾燥食品の咀嚼がしやすくなり、咀嚼筋活動や嚥下に至るまでの過程が変化することを示している（Pereira LJ et al. 2007）。このことから、水分摂取は咀嚼時の食塊形成や嚥下のしやすさを高め、食品間の物性差による影響を相対的に小さくした可能性がある。その結果、水を摂取した条件では、パンと乾パンのいずれにおいて

も同様の血糖応答を示した可能性がある。

災害食の基本である乾パンに水分を摂取した場合、血糖値の時間の推移には関係したが、直接血糖値の高さや量に関係するとはいえない結果となった。避難施設における限られた生活環境や心身の疲労が蓄積された状況を考慮すると、摂取方法や水分摂取の有無が身体への負担に慢性的に影響を及ぼす可能性がある。

本研究の限界や問題については、まず、対象者を若年層の健常者に限定しており、本研究の結果はこの集団における血糖応答を示したものである。したがって、結果の解釈には対象者の特性を考慮する必要がある。また、本研究では血糖値を指標として消化・吸収過程を推察しており、胃排出速度や食塊の性状、唾液分泌量などを直接評価していない。

## 結論

以上より、本研究では、炭水化物（パン）と乾パンの両方で水分の有無が血糖応答にどう影響するか検証した。水分の摂取はピーク到達時間が早まったが、ピーク値、AUC について有意差は生じない結果となった。また水分の摂取による影響に炭水化物（パン）、乾パンで差異は生じなかった。謝辞

本研究を遂行するにあたり、ご指導とご助言をいただきました、中京大学スポーツ科学部 渡邊航平教授に心より感謝申し上げます。また 4 日間という長い間、実験に参加していただいた 10 人の方々に心より感謝申し上げます。



## 参考文献

- Hashimoto S, Nagai M, Fukuma S, Ohira T, Hosoya M, Yasumura S, Satoh H, Suzuki H, Sakai A, Ohtsuru A, Kawasaki Y, Takahashi A, Ozasa K, Kobashi G, Kamiya K, Yamashita S, Fukuhara SI, Ohto H, Abe M; Fukushima Health Management Survey Group. Influence of post-disaster evacuation on incidence of metabolic syndrome. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 24 (3), 327-337, 2017.
- Node K, and Inoue T. Postprandial hyperglycemia as an etiological factor in vascular failure. *Cardiovascular Diabetology*, 8, 23, 2009.
- Ohira T, Nakano H, Nagai M, Yumiya Y, Zhang W, Uemura M, Sakai A, and Hashimoto S. Trends in lifestyle-related diseases before and after the Great East Japan Earthquake: the Fukushima Health Management Survey. *Asia-Pacific Journal of Public Health*, 29 (2 Suppl), 47S-55S, 2018.
- Pereira LJ, Gavião MB, Engelen L, and van der Bilt A. Mastication and swallowing: influence of fluid addition to foods. *Journal of Applied Oral Science*, 15 (1), 55-60, 2007.
- Sari KI, and Rafisa A. Chewing and swallowing patterns for different food textures in healthy subjects. *International Journal of Dentistry*, Article ID 6709350, 2023.
- Sato Y, Nagasaki M, Nakai N, and Fushimi T. Physical exercise improves glucose metabolism

in lifestyle-related diseases. *Experimental Biology and Medicine*, 228 (10), 1208-1212, 2003.

Song J, Oh TJ, and Song Y. Individual postprandial glycemic responses to meal types by different carbohydrate levels. *Nutrients*, 15 (16), 3609, 2023.

Tobina T, Nakamine K, Takeuchi S, Tomiga-Takae R, Omagari K, and Yamashita T. Effect of mixed solid food and water intake on blood glucose level and energy metabolism. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 70, 490-495, 2024.

Torsdottir I, and Andersson H. Effect on the postprandial glycaemic level of the addition of water to a meal ingested by healthy subjects and type 2 diabetic patients.

*Diabetologia*, 32 (4), 231-235, 1989.

新潟大学地域連携フードサイエンスセンター（編）. 災害時における食とその備蓄—東日本大震災を振り返って，首都直下型地震に備える—. 東京，日本， 建帛社，2014. 内閣府

災害関連死事例集参考資料

<https://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisyagyousei/kanrenshijirei.html>

内閣府 南海トラフ地震臨時情報 防災対応ガイドライン

[https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun\\_guideline2.pdf](https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/pdf/honbun_guideline2.pdf)

文部科学省. 日本食品標準成分表（穀類）.

[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/science/detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2017/12/20/1365343\\_1-0201r11.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/__icsFiles/afieldfile/2017/12/20/1365343_1-0201r11.pdf), 2017.

