

2025 年度修士学位論文

股関節屈曲または膝関節伸展トレーニングが
筋量，筋力およびスプリントパフォーマンス
に及ぼす影響

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程 2 回生

6232240021-2

西澤 尚弥

股関節屈曲または膝関節伸展トレーニングが筋量，筋力およびスプリントパフォーマンスに及ぼす影響

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生 西澤 尚弥

要 旨

キーワード：レジスタンストレーニング，筋肥大，1RM，疾走パフォーマンス

【目的】

股関節屈曲（HF）または膝関節伸展（KE）トレーニングが筋量，筋力およびスプリントパフォーマンスに及ぼす影響，ならびに両トレーニングによる筋量や筋力の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関係性を明らかにすることを目的とした。

【方法】

下肢トレーニング習慣のない健常若年成人 45 名を対象に，HF トレーニング群（HF-TR 群）23 名と KE トレーニング群（KE-TR 群）22 名に無作為に振り分けた。トレーニングは各運動条件における最大挙上重量（1RM）の 70%の負荷で 10 回反復を 5 セットとし，週 2 セッション，12 週間実施した。規定の負荷でセッションを完遂できた場合は，次のセッションで負荷を 1RM の 5%分増加させた。介入前後に，各運動の 1RM（HF-1RM，KE-1RM），および光電管を用いて 60 m 走タイムを測定した。また，3 テスラ MRI 撮像装置を用いて，股関節屈曲筋群，膝関節伸展筋群，内転筋群を含む計 13 筋の筋体積を算出した。線形混合モデル（群 × 時間）により各筋・各筋群の筋体積，HF-1RM と KE-1RM，および走タイムの介入効果（群間差）を評価し，反復測定相関分析により筋体積あるいは 1RM の変化と走タイムの変化との関係性，重回帰分析により走タイムの変化を説明する因子を検証した（有意水準 $P < 0.05$ ）。

【結果】

股関節屈曲筋群の筋体積の増加は HF-TR 群 (+12.7 %) が KE-TR 群 (+6.9%) よりも有意に大きく、膝関節伸展筋群の筋体積の増加は KE-TR 群 (+4.1%) が HF-TR 群 (+1.0 %) よりも有意に大きかった ($P \leq 0.004$). HF-1RM は HF-TR 群 (+112.3%) が KE-TR 群 (+18.9%) よりも増加し、KE-1RM は KE-TR 群 (+46.5%) が HF-TR 群 (+24.5%) よりも増加した ($P < 0.001$). 走タイムは交互作用 ($P = 0.515$) を伴わない時間の主効果 ($P = 0.005$) がみられ、両群で短縮した (HF-TR 群 : -1.5% vs. KE-TR 群 : -0.9%). 走タイムの変化は、HF-1RM および KE-1RM の変化 ($r = -0.328 \sim -0.389$, $P \leq 0.026$), ならびに HF に作用する筋 (大腰筋, 大腿直筋など) の筋体積の変化と有意に関連したが ($r = -0.380 \sim -0.584$, $P \leq 0.017$), KE のみに作用する筋 (広筋群) の筋体積の変化とは有意な関連を示さなかった ($r = -0.004 \sim -0.165$, $P \geq 0.356$). また、有意な相関が認められた筋のなかで大腿直筋の筋体積変化のみが、走タイム変化の説明因子として選択された ($R^2 = 0.222$, $P = 0.001$).

【考察】

筋量および筋力の変化はトレーニング動作に特異的であり、動作特異性を反映した適応が生じたと考えられる。走タイムは両群で同程度に短縮し、走タイムの短縮は HF-1RM および KE-1RM の増加ならびに HF に作用する筋の筋体積の増加と関連し、特に大腿直筋の筋体積の増加が走タイムの短縮に寄与した。これらの結果は、股関節屈曲筋、とりわけ大腿直筋の適応がスプリント走能力の向上に関与する可能性を示唆する。

【結論】

HF および KE トレーニングはいずれも、動作特異的な筋量および筋力の増加をもたらした。また、両トレーニングともにスプリントパフォーマンスを向上させたが、それには股関節屈曲筋、特に大腿直筋の肥大が寄与することが示唆された。

The Effects of Hip Flexion versus Knee Extension Training on Muscle Size, Muscle Strength and Sprint Performance

Graduate School of Sport and Health Science Ritsumeikan University

Naoya Nishizawa

Abstract

Keywords: Resistance training, Muscle hypertrophy, One-repetition maximum, Sprint running

Background:

This study compared the effects of hip flexion (HF) versus knee extension (KE) training on muscle size, muscle strength and sprint performance. We also examined whether training-induced changes in sprint performance were associated with changes in muscle size and strength.

Methods:

Forty-five healthy, young, untrained adults completed 12 weeks of either HF (n = 23) or KE (n = 22) training. Participants trained each leg unilaterally at 70% of one-repetition maximum (1RM) for 5 sets of 10 repetitions per session, twice weekly. Before and after the intervention, 1RM in HF (HF-1RM) and KE (KE-1RM), MRI-derived volumes of 13 individual muscles (including hip flexors, knee extensors, and adductors), and 60-m sprint time were assessed. Training effects were evaluated using linear mixed models. Repeated-measures correlations were used to examine associations between changes in sprint time and changes in each muscle volume and 1RM and stepwise multiple regression analysis was used to identify predictors of sprint performance ($P < 0.05$).

Results:

Increases in hip flexor volume were significantly greater following HF training (+12.7%) than KE training (+6.9%), whereas increases in knee extensor volume were greater following KE training (+4.1%) than HF training (+1.0%) ($P \leq 0.004$). Similarly, HF-1RM increased more after HF training (+112.3%) than KE training (+18.9%), and KE-1RM increased more after KE training (+46.5%) than HF training (+24.5%) ($P < 0.001$). Sprint time showed a significant main effect of time ($P = 0.005$) with no interaction ($P = 0.515$), indicating similar reductions in sprint time in both groups (HF: -1.5% vs. KE: -0.9%). Changes in sprint time were significantly correlated with changes in HF-1RM and KE-1RM ($r = -0.328$ to -0.389 , $P \leq 0.026$) and with changes in the volumes of hip flexor muscles (e.g., psoas major and rectus femoris; $r = -0.380$ to -0.584 , $P \leq 0.017$), but not with changes in the volumes of the monoarticular knee extensors (vasti; $r = -0.004$ to -0.165 , $P \geq 0.356$). Among the correlated variables, rectus femoris muscle volume gain was the primary predictor of shorter sprint time ($R^2 = 0.222$, $P = 0.001$).

Discussion:

Muscle size and strength adaptations were specific to the trained exercise, reflecting task-specific morphological and neuromuscular adaptations. Although sprint performance improved to a similar extent in both groups, reductions in sprint time were associated with increases in HF-1RM and KE-1RM, as well as hypertrophy of the hip flexors, most notably rectus femoris, which was the only predictor retained in the multiple regression analysis. These findings suggest that adaptations in the hip flexor musculature, especially rectus femoris, play a particularly important role in enhancing sprint performance.

Conclusions:

Both HF and KE training induced task-specific increases in muscle size and strength and similarly improved sprint performance. However, improvements in sprint performance appeared to be more closely related to hypertrophy of the rectus femoris among the hip flexors than to hypertrophy of the monoarticular knee extensors.

目次

略語の解説	- 1 -
第 1 章. 緒論	- 2 -
1-1. 研究背景.....	- 2 -
1-2. 研究目的.....	- 4 -
1-3. 本論文の構成	- 5 -
第 2 章. 方法	- 6 -
2-1. 研究対象者	- 6 -
2-2. 実験概要.....	- 6 -
2-3. トレーニング条件とトレーニングプログラム	- 8 -
2-4. 筋体積の測定	- 10 -
2-5. 1RM の測定	- 13 -
2-6. 走タイムの測定.....	- 13 -
2-7. 統計解析.....	- 14 -
第 3 章. 結果	- 15 -
3-1. 筋体積	- 15 -
3-2. 1RM	- 21 -
3-3. 走タイム.....	- 24 -
3-4. 筋体積の変化と走タイムの変化との関係	- 25 -
3-5. 1RM の変化と走タイムの変化との関係	- 27 -
第 4 章. 考察	- 29 -
4-1. 本研究の主な結果.....	- 29 -
4-2. 筋量の変化.....	- 29 -
4-2-1. 股関節屈曲筋群.....	- 29 -
4-2-2. 膝関節伸展筋群（大腿四頭筋）	- 30 -
4-2-3. 内転筋群.....	- 31 -
4-3. 筋力の変化.....	- 32 -
4-4. 筋量・筋力の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関係	- 32 -
4-5. 研究限界および研究展望.....	- 34 -

第 5 章. 結論	- 36 -
引用文献	- 37 -
謝辞	- 47 -
付録 研究報告一覽.....	- 48 -

略語の解説

本修士論文に記載されている略語は、本文中で繰り返し使用されるものである。個々の図表内のみに現れる略語は、そのキャプション内で個別に定義されており、本項には含まれない。

- HF (hip flexion) : 股関節屈曲
- KE (knee extension) : 膝関節伸展
- 1RM (one-repetition maximum) : 最大挙上重量
- HF-TR (hip flexion training) 群 : 股関節屈曲トレーニング群
- KE-TR (knee extension training) 群 : 膝関節伸展トレーニング群
- HF-1RM (one-repetition maximum of hip flexion) : 股関節屈曲 1RM
- KE-1RM (one-repetition maximum of knee extension) : 膝関節伸展 1RM
- MRI (magnetic resonance imaging) : 磁気共鳴画像

第1章. 緒論

1-1. 研究背景

走行や跳躍に代表される移動能力は、ヒトの基礎的な身体能力の一つである。なかでも、スプリントパフォーマンスは、陸上競技短距離走種目にとどまらず、サッカー、ラグビー、野球など多くの球技スポーツにおいて勝敗を左右する重要な体力要素とされている。したがって、スプリントパフォーマンスに関連する因子を明らかにし、その向上方策を検討することは、スポーツ科学領域において学術的・実践的に重要な課題である。

最大努力で遂行されるスプリントパフォーマンスは、形態学的、神経生理学的、組織化学的、生体力学的要因を含む複数の要素に依存し ([Majumdar & Robergs., 2011](#))、筋骨格系・神経系をはじめとする多様な身体機能が総合的に動員されることで達成される ([Van Hooren et al., 2024](#))。その基盤の一つとして筋が発揮できる最大筋力が挙げられる ([Lin & Pandy, 2022](#); [Seitz et al., 2014](#))。最大筋力は主に筋量（あるいは筋サイズ）により決定されることから ([O'Brien et al., 2009](#))、股関節や大腿部・下腿部に位置する筋の大きさとスプリントパフォーマンスとの関係は、特に関心の高い研究課題である。事実、陸上競技100 m 走では、下肢の筋力や筋量が走タイムと関連することが報告されている ([Miller et al., 2021](#); [Miller et al., 2022](#))。さらに、下肢筋の中でも、股関節伸展・屈曲および膝関節伸展・屈曲に関わる筋量や筋力が大きい選手ほどスプリント走能力が高いことが示されている ([Dowson et al., 1998](#); [Miller et al., 2021](#); [Miller et al., 2022](#))。したがって、下肢関節をまたぐ筋の筋量を増加させること（いわゆる筋肥大）は、高いスプリント走能力の獲得に資する可能性がある。一方で、スプリント走への貢献度が相対的に低い筋（例：下腿三頭筋）の肥大は体重増加や、下肢慣性モーメント増大を招き、結果としてスプリント走中の走速度を低下させる恐れも指摘されている ([Miller et al., 2021](#); [Miller et al., 2022](#); [Van Hooren et al., 2024](#); [Takahashi et al., 2024](#))。以上より、高いスプリントパフォーマンスの獲得に向けて、どの筋を優先的に肥大させるべきかをより明確に理解することが重要である。

筋力を向上させる方法の一つとして、比較的重い負荷（ $\geq 60\%$ 最大挙上重量（1RM）；[Schoenfeld et al., 2017](#)）で実施するレジスタンストレーニングが広く推奨されている ([American College of Sports Medicine \[ACSM\], 2022](#))。下肢筋を対象とした股関節伸展・屈曲および膝関節伸展・屈曲を伴うレジスタンストレーニングを組み合わせることで、

スプリントパフォーマンスが向上することが、システマティックレビュー ([Collins et al., 2019](#)) やメタアナリシス ([Seitz et al., 2014](#)) で確認されている。さらに、各トレーニング種目単体による効果も検討されており、とりわけ大腿部後面の筋群を対象に股関節伸展あるいは膝関節屈曲筋力を高めるトレーニング (例: ヒップエクステンション, ノルディックハムストリングス) がスプリント走能力を向上させることが報告されている ([前大ほか., 2023](#); [Alt et al., 2021](#))。このことから、スプリント走能力の向上においては、股関節伸展や膝関節屈曲筋力の向上が重要であると考えられている ([Nuell et al., 2020](#); [Kawama et al., 2024](#))。

しかし、大腰筋や大腿直筋を含む股関節屈曲筋 ([Ema et al., 2018b](#); [Tottori et al., 2018](#); [Tottori et al., 2021](#); [Miller et al., 2021](#); [Miller et al., 2022](#)) や膝関節伸展筋の筋量 ([Kumagai et al., 2000](#); [Tottori et al., 2018](#); [Tottori et al., 2021](#))、ならびにそれらの筋力 ([Dowson et al., 1998](#)) もスプリントパフォーマンスと関連が強いにもかかわらず、これら大腿部前面の筋群を主対象として機能向上を図るトレーニング単体の効果を縦断的に検討した研究は乏しい。なかでも股関節屈曲 (HF) トレーニングは、スポーツパフォーマンス向上を目的としたストレングス & コンディショニングの実践において、相対的に軽視されている可能性がある。例えば、ストレングス & コンディショニングやレジスタンストレーニングの専門書や研究では、ベントニーシットアップやアブドミナルクランチなど体幹屈曲運動が紹介される一方、「腿上げ」に代表される HF トレーニングが取り上げられていないことがある ([Baechle & Earle, 2011](#); [Delavier, 2010](#); [Haff & Triplett, 2021](#); [Zatsiorsky & Kraemer, 2006](#))。この背景には、股関節屈曲筋を特異的に鍛えるための負荷調整が可能なトレーニング器具の入手が比較的困難であることが一因として考えられる。実際、先行研究ではオリジナルのトレーニングマシンを作成して効果を検討した例 ([Blazevich & Jenkins, 2002](#)) や、エラスティックバンドを用いてトレーニング効果を検討した例 ([Deane et al., 2005](#); [Thorborg et al., 2016](#)) が報告されている。また、HF トレーニングによる筋肥大効果については、4 週間の等尺性トレーニングによる大腿直筋および外側広筋の筋厚変化が検討されているものの ([Ema et al., 2018a](#))、HF に関与する他の筋がどの程度肥大するか、さらにそれらの筋量変化と走タイム短縮との関連を個別筋レベルで詳細に評価した研究は報告されていない。

スプリント走動作において、足が地面に接地している支持期では、主に大臀筋、ハムストリングス、下腿三頭筋が身体を前方へ推進させる役割を担う ([Dorn et al., 2012](#))。一方

で、足が地面から離地している遊脚期では、腸腰筋（大腰筋，腸骨筋）や大腿直筋などの股関節屈曲筋が下肢を前方および上方へと引き上げる動作に寄与する（[Mero et al., 1992](#); [Dorn et al., 2012](#)）。また，トレッドミル走で走速度を増加させると，足関節底屈トルクが頭打ちになる一方，股関節伸展および股関節屈曲トルクは走速度の増加に伴い増大することが示されている（[Schache et al., 2011](#)）。このことから，高い走速度の維持・獲得において股関節伸展・屈曲は比較的高い貢献度を示す可能性がある（[Willer et al., 2024](#)）。したがって，トレーニングにより股関節屈曲トルク（あるいは股関節屈曲筋力）を向上させることは，スプリント走能力の向上につながることを期待される。しかし，縦断的にトレーニングによるスプリントパフォーマンスの向上効果を検討した研究の多くは支持期に関連する筋である股関節伸展筋群（例：大臀筋，ハムストリングス）に焦点を当てており（[Collins et al., 2019](#)），遊脚期に關与する股関節屈曲筋群を対象としたトレーニング効果については十分に検討されていない。

さらに，股関節屈曲筋群と同様に，大腿部前面に位置する膝関節伸展筋群（大腿四頭筋）もスプリントパフォーマンスにおいて重要な役割を担う可能性がある。膝関節伸展筋群は，スプリント走中の遊脚期後半（接地直前）から支持期後半にかけて作用する（[Dorn et al., 2012](#)）。横断研究では，膝関節伸展筋の筋量が走タイムと有意な相関関係にあること（[Tottori et al., 2018](#)）や，短距離（ ≤ 30 m）の走タイムは他の下肢関節筋力よりも膝関節伸展筋力と強く関連することが示されている（[Dowson et al., 1998](#)）。一方で，ランニング中の膝関節伸展トルクは，高速度域では短い接地時間により力発揮時間が制約されるため低下し，走速度獲得への貢献度も低下すると報告されている（[Willer et al., 2024](#)）。この点をふまえると，膝関節伸展（KE）トレーニングがスプリントパフォーマンスに及ぼす影響は小さい可能性が考えられるが，膝関節伸展筋を主対象としたトレーニングがスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を縦断的に検討した研究は見当たらない。

1-2. 研究目的

本研究は 1) HF または KE トレーニングが筋量，筋力およびスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすること，および 2) 両トレーニングによる筋量および筋力の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関係性を明らかにすることを目的とした。本研究の成果は，スプリントパフォーマンス向上を目指す競技者・指導者に対して，より効果的なトレーニング方法の選択に資する基礎的知見を提供し，スポーツ現場およびトレーニン

グ現場におけるパフォーマンス向上戦略の一助になると考えられる。

1-3. 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。第1章では本研究の背景および目的を提示した。第2章では研究方法、第3章では研究結果を示した。第4章では第3章の研究結果をふまえて考察し、第5章に本研究の結論を記した。

第 2 章. 方法

2-1. 研究対象者

研究対象者は、過去 1 年以内に競技スポーツへの参加歴がなく、かつ下肢筋を対象としたトレーニングを習慣的に実施していない健康若年成人 46 名（年齢：21.9 ± 2.8 歳，身長：166.0 ± 8.7 cm，身体質量：58.4 ± 9.9 kg，BMI：21.2 ± 2.0 kg/m²）とした。除外基準は、1) 過去 6 ヶ月以内に外傷または疾患等により治療中であること，2) 体幹部または大腿部の筋損傷・骨折等の既往を有すること，3) 精神的または身体的な障害を有すること，4) 体内に磁気共鳴画像 (MRI) 装置禁忌となる金属を有すること，の 4 項目とし、いずれかに該当する者は研究対象から除外した。なお、本研究は立命館大学における「人を対象とする医学系研究倫理審査委員会」の承認を得た上で行われた（承認番号：BKC-LSMH-2024-049）。研究実施に先立ち、研究対象者に対して実験に関する十分な説明を事前に行い、実験参加への同意を得た。また、12 週間の介入期間中は、下肢筋を対象とするトレーニングを控え、習慣的な身体活動を維持するように指示された。

2-2. 実験概要

研究対象者 46 名を、HF トレーニングを行う群 (HF-TR 群) 23 名（男性：n = 12，女性：n = 11）と、KE トレーニングを行う群 (KE-TR 群) 23 名（男性：n = 12，女性：n = 11）に、男女比、身長および体重が両群で同程度になるように無作為に振り分けた。両群ともに、12 週間の介入期間に週 2 セッションのトレーニングを実施した (図 1)。介入前における各群の年齢 (歳)，身長 (cm)，体重 (kg)，BMI (kg/m²) の基本情報を表 1 に示す。いずれの基本情報においても群間差は認められなかった ($P \geq 0.346$; 表 1)。介入前後に、筋量の指標として股関節屈曲筋群，膝関節伸展筋群，内転筋群の筋体積を，筋力の指標として HF および KE の 1RM (HF-1RM, KE-1RM) を，スプリントパフォーマンスの指標として 60 m 走タイムを測定した (図 1)。なお，介入前後それぞれにおける 1RM と走タイムの測定は，測定間の中 1 日以上以上の休息を設けて同じ測定を 2 回 (2 日間) 実施した (Balshaw et al., 2016; Maeo et al., 2024)。各測定時点で測定を重複して実施する方法は，動作慣れに伴う測定誤差の低減に有用であると考えられており (例: Heritage Family Study; Bouchard et al., 1999) トレーニング効果の評価や群間比較に用いられている (Balshaw et al., 2016; Balshaw 2023; Maeo et al., 2024)。

表 1. 介入前における研究対象者の基本情報

	HF-TR 群 (n = 23)	KE-TR 群 (n = 23)	P 値
年齢 (歳)	22.1 ± 2.8	21.7 ± 2.8	0.601
身長 (cm)	164.8 ± 9.3	167.3 ± 8.0	0.346
体重 (kg)	57.5 ± 10.2	60.2 ± 10.1	0.370
BMI (kg/m ²)	21.0 ± 1.9	21.4 ± 2.1	0.536

データは平均値 ± 標準偏差で示した。HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群.

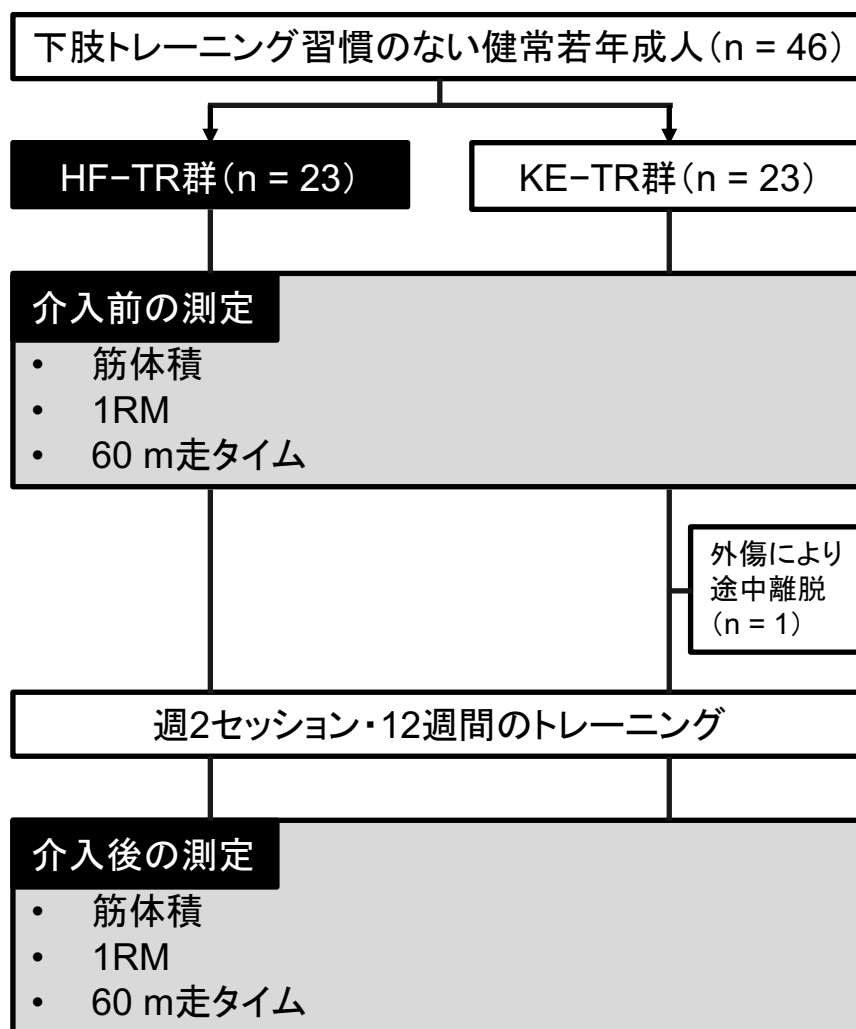


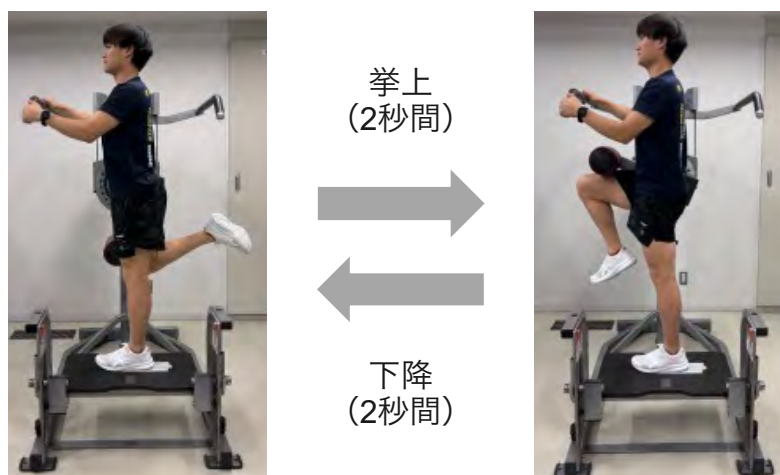
図 1. 研究対象者の実験実施の流れ

HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群. 1RM, 最大挙上重量

2-3. トレーニング条件とトレーニングプログラム

研究対象者は介入前後の測定時に実験室を訪問し、Hip & Glute マシン (HS-HG, Life Fitness, Chicago IL) と Knee Extension マシン (HS-LE, Life Fitness, Chicago IL) を用いて、各運動条件の 1RM (HF-1RM, KE-1RM) を片脚ずつ測定した。HF トレーニングは立位姿勢 (股関節屈曲 0°) かつ膝関節屈曲 90°とし、前方のバーを両手で保持した状態で運動を実施させた (0° = 解剖学的正位) (図 2A)。KE トレーニングは図 2B に示すように、股関節屈曲 0°の仰臥位となるよう背部に角度を付けたクッションを設置し、ベルトで腰部を固定した上で、両手はマシンの両側にある持ち手を保持するか胸の前で組み、運動を実施させた。HF トレーニングの股関節の動作範囲は股関節屈曲 0°から 90°までとし、KE トレーニングの膝関節の動作範囲は膝関節屈曲 90°から 0°とした。

A

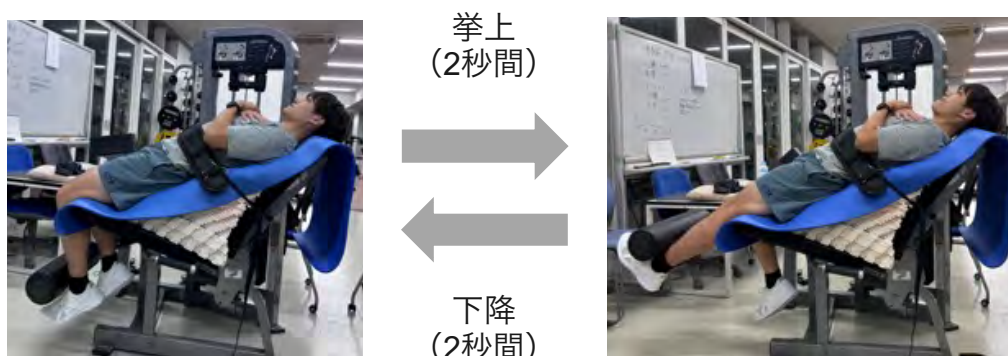


股関節屈曲0°

股関節屈曲90°

Hip & Gluteマシン (HS-HG, Life Fitness, Chicago IL)

B



膝関節屈曲90°

膝関節屈曲0°

Knee extensionマシン (HS-LE, Life Fitness, Chicago IL)

図 2. HF トレーニング (A) と KE トレーニング (B) の例

左の写真は両動作においてトレーニング開始肢位を示し、右の写真はHF (A) またはKE (B) をした際の最終目標地点を示している。HF, 股関節屈曲; KE, 膝関節伸展。

トレーニングは中 1 日以上の間隔を空け、週 2 セッションの頻度で 12 週間実施した。トレーニングプロトコルは先行研究に倣った ([Maeo et al., 2021](#); [Maeo et al., 2023](#); [Kinoshita et al., 2023](#); [Kinoshita et al., 2026](#))。各セッションのウォームアップとして、当該セッションで設定した負荷の 50% で 10 回、70% で 5 回の反復を実施した。その後、本セットとして 1 セットあたり 10 回の反復回数で、1 セッションあたり 5 セットを片脚ずつ実施した (セット間休息は 2 分間)。反復はメトロノーム (60 bpm) により統制し、挙上および下降動作はそれぞれ 2 秒で行うよう指示した。各セッションでは、片脚のトレーニング終了後に反対側下肢のトレーニングを行い、先に実施する脚はセッションごとに交互に入れ替えた。

トレーニング負荷は各条件における 1RM の 70% としたが、第 1~2 セッションは過度な負荷による傷害を防ぐ目的で、それぞれ 50%1RM, 60%1RM とし、第 3 セッション以降は 70%1RM とした。第 3 セッション以降において、設定負荷で規定回数 (10 回反復 × 5 セット) を自力で遂行できた場合、次のセッションでは 5%1RM 分増加させた。すべてのセッションで少なくとも 1 名の検者が立ち会い口頭で励ますとともに、フォームおよび動作速度を監視し、必要に応じて指摘し改善させた。また、各セットで 10 回反復が困難な場合には検者が補助を行い、全対象者が全セットにおいて各脚 10 回反復を 5 セット完遂できるようにした。

2-4. 筋体積の測定

MRI 撮像には 3 テスラ MRI 装置 (MAGNETOM Skyra, Siemens, Healthineers, Germany) および専用コイル (Body 18 and CP Spine Array Coil; Siemens Healthineers, Germany) を用いて、体幹部および右大腿部の T1 強調画像 (field of view : 275 × 275 mm, スライス厚 : 5 mm, ギャップ : 5mm, voxel size : 0.54 × 0.54 × 5 mm, TR : 700 ms, TE : 10 ms, スライス数 : 22 × 4 blocks) を取得した ([Maeo et al., 2018b](#); [Maeo et al., 2021](#); [Kinoshita et al., 2026](#))。測定肢位は仰臥位とし、体幹部および大腿部の筋が圧迫されないよう配慮し、撮像中はリラックスした状態で静止するよう指示した ([Shiotani et al., 2024](#))。

筋体積の解析は、右側の大腰筋、腸骨筋、大腿筋膜張筋、縫工筋、大腿直筋、外側広筋、内側広筋、中間広筋、大内転筋、長内転筋、短内転筋、恥骨筋、薄筋の計 13 筋について実施した ([図 3](#))。MRI 解析には画像解析ソフトウェア (Horos, v3.3.6, Horos Project

<https://horosproject.org/>) を用いた。各筋について、近位側で該当筋が初めて確認できるスライスから視認できなくなるスライスまで、1 スライスおきに、訓練を受けた研究者が手動でセグメンテーションを行った。各筋の筋体積は、Horos の ROI volume calculation 機能を用いて算出した。3つの機能的筋群の筋体積は、股関節屈曲筋群（大腰筋，腸骨筋，大腿筋膜張筋，縫工筋，大腿直筋），膝関節伸展筋群（大腿直筋，外側広筋，内側広筋，中間広筋），内転筋群（大内転筋，長内転筋，短内転筋，恥骨筋，薄筋）として、各筋の筋体積を合計して算出した。測定バイアスを最小化するため、MRI データは匿名化し、研究対象者および群分けをブラインドした状態で解析を実施した。

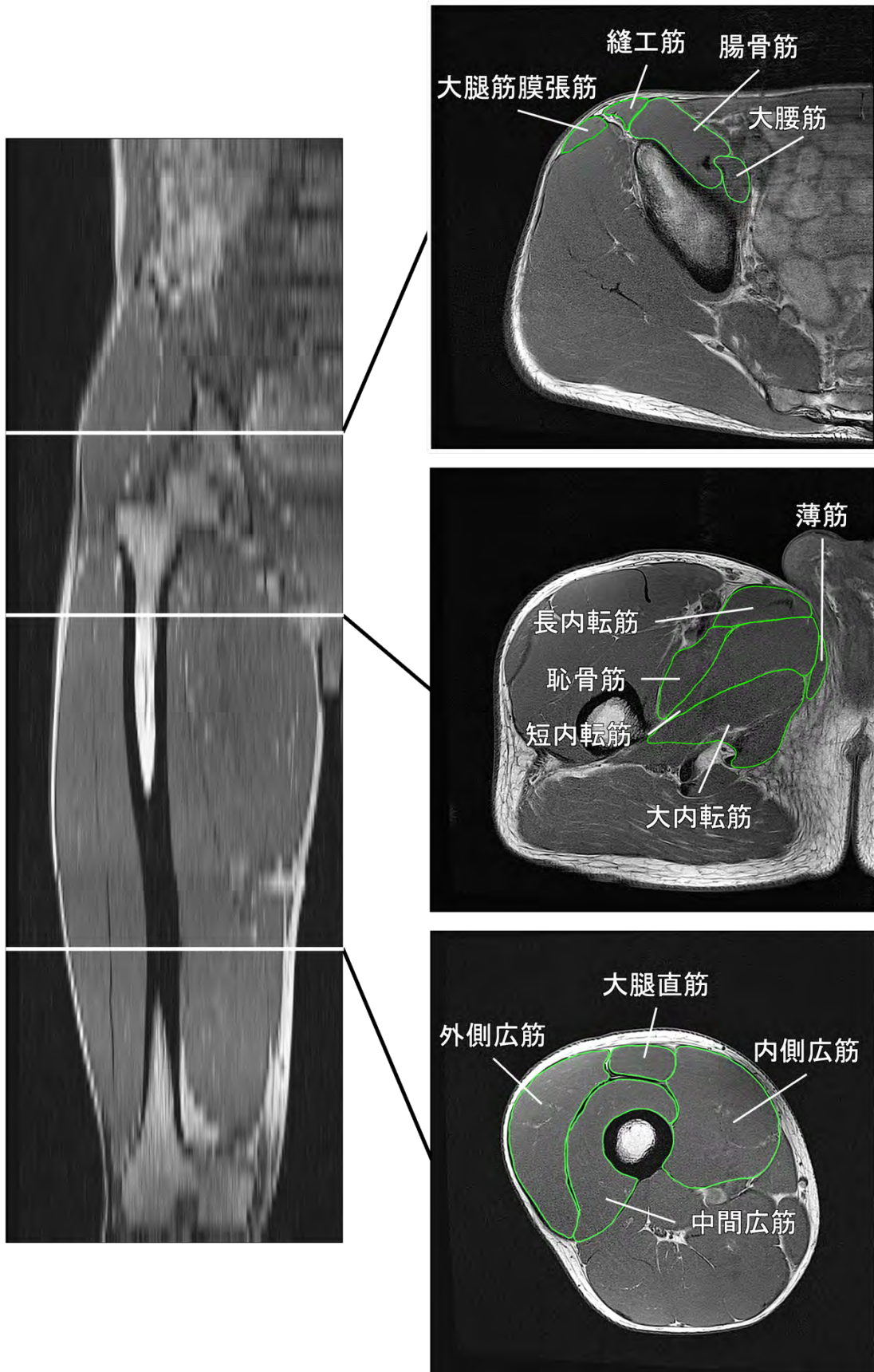


図 3. 前額面の MRI および解析対象筋を示した解剖学的断面積の一例

2-5. 1RM の測定

1RM は、トレーニングで使用したマシン (Hip & Glute マシンおよび Knee Extension マシン) を用い、介入前後ともにトレーニング時と同一の肢位で、片脚ずつ測定した。1RM の測定順序 (HF-1RM または KE-1RM) は、研究対象者ごとに無作為に設定した。測定前のウォームアップとして、推定 1RM の 50% の負荷で 5 回反復、80% で 3 回反復した後、負荷を段階的に増加させて 1RM を決定した。試行は左右交互に実施し、試行間には少なくとも 1 分間の休息を設けた (すなわち、同一脚での試行間隔は少なくとも 2 分間)。1 種目の測定終了後に、もう 1 種目の測定を実施した。測定時には検者 1 名が立ち会い、動作が正しく実施されていることを確認するとともに、最大限の力発揮を促すため口頭で励ました。解析には、各脚について 2 日間の測定値のうち最も高い 1RM を採用し、左右脚の平均値を算出した。1RM は、絶対値 (kg) ならびに体重に対する相対値 ($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$) の両方を算出した。

2-6. 走タイムの測定

走タイムの測定は、1RM 測定と同日かつ 1RM 測定実施前に、外的環境の影響を受けない室内環境かつ陸上競技で使用されるタータンの上で実施した。研究対象者は介入前後で同じシューズを履き、スタンディングスタートで任意のタイミングでスタートし、60 m 全力疾走を実施した。すべての試行において、できる限り速く走り切るよう指示し、最大努力を促す声かけを行った。測定前には、指示されたダイナミックストレッチ (ラジオ体操第一、ランジ、シングルレッグレイズ) およびランニングに加え、主観的強度 80% のダッシュを 2 本実施し、約 20 分間のウォームアップを行った。その後、対象者の呼吸や疲労が落ち着いて準備ができたのを確認し、1 回 (1 日) の測定につき 3 試技の 60 m 全力疾走を行った (介入前後でそれぞれ 6 試技)。解析には、全試行のうち最も走タイムが短い試行を採用した。

走タイムは、単一ビーム式光電管 (Witty, Microgate, Bolzano, Italy) を用いて測定した (図 4)。光電管はスタート 0 m とゴール 60 m の 2 地点に配置した。光電管の地面からの高さは、スタート時の姿勢を考慮して 0 m 地点は 0.40 m とし、60 m 地点は研究対象者の腰部から臀部までの高さを通すよう 0.95 m に設定した (Yeadon et al., 1999; Haugen & Buchheit, 2016)。



図 4. 60 m 走における実験配置図

2-7. 統計解析

すべてのデータは、平均値 ± 標準偏差で示した。各筋および各筋群、HF-1RM および KE-1RM、ならびに走タイムについて、線形混合モデルを用いて 2 群 (HF-TR 群、KE-TR 群) × 2 時点 (介入前、介入後) の主効果および交互作用を検定した。線形混合モデルでは、研究対象者をランダム効果として扱った。交互作用が認められた場合、各群内における介入前後の差を対応のある t 検定により比較した。また、群間差を検討するため、各指標について介入後から介入前の値を差し引いた変化量を対応のない t 検定により比較した。

次に、筋体積または 1RM の変化と走タイムの変化との関連を個人内で評価するため、RStudio (version 2025.05.0+496; Posit Software, PBC, Boston, MA, USA. packages: rmcrr および ggplot2) を用いて反復測定相関分析を実施した。反復測定相関分析は、各研究対象者に平行な回帰直線を適用することで、個人内の変数間の相関を推定する手法である (Bakdash & Marusich, 2017)。相関係数 (r) は、-1 から 1 の範囲をとり、絶対値が大きいほど関連が強いことを示す。相関の強さは、 $|r| < 0.40$ を「弱い」、 $0.40 \leq |r| < 0.60$ を「中程度」、 $0.60 \leq |r| < 0.80$ を「強い」、 $|r| \geq 0.80$ を「非常に強い」と解釈した (Taylor, 1999)。また、走タイムの変化を説明する因子を明らかにするため、反復測定相関分析により走タイムの変化との間に有意な相関が認められた各筋の筋体積または各 1RM の変化量を説明変数、走タイムの変化量を目的変数とし、ステップワイズ法による重回帰分析を実施した。特に断りのない限り、統計解析は SPSS Statistics (version 29; IBM Corporation, Armonk, NY) を用いて実施した。有意水準は 5%未満 ($P < 0.05$) とし、Benjamini-Hochberg (BH) 法により同一ファミリー内の検定数ごとに P 値を調整した (1RM : 2, 個別筋 : 13, 筋群 : 3)。

第3章. 結果

HF-TR 群 23 名および KE-TR 群 22 名が、計 24 セッションのトレーニングを完遂した。KE-TR 群の 1 名は、研究期間中に研究外で生じた外傷により途中離脱した (図 1)。

3-1. 筋体積

表 2 および図 5~8 に、トレーニング介入前後における個別筋および筋群の筋体積の変化を示す。線形混合モデルの結果、大腰筋、縫工筋、外側広筋、内側広筋、中間広筋、薄筋、股関節屈曲筋群および膝関節伸展筋群の筋体積において交互作用が認められた ($P \leq 0.047$)。事後検定の結果、大腰筋の筋体積は HF トレーニング後 (+14.5%, $P < 0.001$) および KE トレーニング後 (+4.6%, $P = 0.002$) の両群で有意に増加したが、その程度は HF トレーニング後の方が有意に大きかった ($P < 0.001$, $g = 1.28$)。縫工筋の筋体積は、HF トレーニング後に有意に増加した (+15.5%, $P < 0.001$) が、KE トレーニング後には有意な変化は認められなかった (+0.2%, $P = 0.770$)。薄筋の筋体積は、HF トレーニング後に有意に増加した (+7.8%, $P < 0.001$) が、KE トレーニング後には有意な変化はみられなかった (+0.6%, $P = 0.682$)。

一方、KE トレーニング後に外側広筋 (+3.1%, $P = 0.002$)、内側広筋 (+2.6%, $P = 0.004$)、中間広筋 (+2.2%, $P = 0.004$) の筋体積は有意に増加したが、HF トレーニング後にはそれらの筋で有意な変化は認められなかった (-1.3%~0.0%, $P = 0.192 \sim 0.968$)。筋群では、股関節屈曲筋群の筋体積は HF トレーニング後 (+12.7%, $P < 0.001$) および KE トレーニング後 (+6.9%, $P < 0.001$) の両群で有意に増加したが、その程度は HF トレーニング後の方が有意に大きかった ($P = 0.004$, $g = 0.91$)。一方、膝関節伸展筋群の筋体積は KE トレーニング後に有意に増加した (+4.1%, $P < 0.001$) が、HF トレーニング後には有意な変化は認められなかった (+1.0%, $P = 0.191$)。

腸骨筋 (HF-TR 群 vs. KE-TR 群: +7.9% vs. +3.0%)、大腿筋膜張筋 (+16.4% vs. +14.6%)、大腿直筋 (+11.6% vs. +13.1%)、長内転筋 (+2.2% vs. +3.4%)、短内転筋 (+3.2% vs. +2.5%)、恥骨筋 (+7.2% vs. +2.2%)、ならびに内転筋群 (+2.1% vs. +1.1%) の筋体積には交互作用は認められず ($P \geq 0.057$)、時間の主効果が認められた ($P \leq 0.004$)。これは、両群に共通してこれらの個別筋・筋群で同程度に筋体積が増加したことを示している。一方、大内転筋 (+0.5% vs. 0.0%) では、時間の主効果および交互作用は認められなかった ($P \geq 0.613$)。

表 2. 介入前後における個別筋および筋群の筋体積

	HF-TR 群 (n = 23)			KE-TR 群 (n = 22)			交互作用		時間の主効果	
	Pre	Post	g	Pre	Post	g	P	P	P	
個別筋の筋体積 (cm ³)										
大腰筋	199.7 ± 75.7	228.5 ± 89.7 *	0.34	213.7 ± 70.9	223.5 ± 71.8 *	0.13	< 0.001	< 0.001	< 0.001	
腸骨筋	121.6 ± 34.2	131.2 ± 36.0 *	0.27	123.5 ± 37.3	127.3 ± 38.6 *	0.10	0.187	0.187	< 0.001	
大腿筋膜張筋	51.2 ± 20.3	59.6 ± 22.3 *	0.39	53.2 ± 18.2	61.0 ± 19.5 *	0.40	0.737	0.737	< 0.001	
縫工筋	108.7 ± 35.4	125.5 ± 40.0 *	0.44	112.0 ± 35.0	112.2 ± 35.1	0.01	< 0.001	< 0.001	< 0.001	
大腿直筋	222.9 ± 62.3	248.8 ± 63.1 *	0.41	213.8 ± 55.6	241.8 ± 67.0 *	0.45	0.737	0.737	< 0.001	
外側広筋	543.2 ± 144.4	536.0 ± 138.6	-0.05	524.3 ± 129.2	540.4 ± 134.1 *	0.12	0.002	0.002	0.193	
内側広筋	361.7 ± 112.8	357.6 ± 108.3	-0.04	364.6 ± 82.6	373.9 ± 85.5 *	0.11	0.003	0.003	0.193	
中間広筋	386.1 ± 112.8	386.2 ± 112.1	0.00	412.1 ± 103.3	421.2 ± 105.8 *	0.09	0.047	0.047	0.024	
大内転筋	454.4 ± 137.6	456.5 ± 138.8	0.02	454.9 ± 107.7	454.7 ± 108.7	0.00	0.734	0.734	0.613	
長内転筋	142.7 ± 53.8	145.8 ± 53.7 *	0.06	139.6 ± 37.9	144.4 ± 41.9 *	0.12	0.728	0.728	0.004	
短内転筋	95.7 ± 30.1	98.8 ± 30.2 *	0.10	97.4 ± 26.2	99.9 ± 27.7 *	0.09	0.737	0.737	< 0.001	
恥骨筋	43.0 ± 14.3	46.1 ± 14.5 *	0.21	43.5 ± 10.7	44.5 ± 11.5 *	0.08	0.057	0.057	< 0.001	
薄筋	70.4 ± 24.8	75.8 ± 25.4 *	0.21	67.2 ± 21.5	67.6 ± 21.8	0.02	< 0.001	< 0.001	< 0.001	
各筋群の筋体積 (cm ³)										
股関節屈曲筋群	704.1 ± 209.1	793.7 ± 232.5 *	0.40	716.2 ± 188.6	765.7 ± 212.9 *	0.24	0.006	0.006	< 0.001	
膝関節伸展筋群	1513.8 ± 417.2	1528.7 ± 407.9	0.04	1514.8 ± 354.5	1577.2 ± 374.2 *	0.17	0.006	0.006	< 0.001	
内転筋群	806.2 ± 246.1	823.2 ± 249.1 *	0.07	802.6 ± 192.5	811.0 ± 200.9 *	0.04	0.223	0.223	< 0.001	

データは平均値 ± 標準偏差で示す。* $P < 0.05$ は Pre から Post にかけての有意な変化を示す。g は介入前後の Hedges' g の効果量を示す。個別筋 (13 筋) または筋群 (3 筋群) の P 値は Benjamini-Hochberg (BH) 法で調整した。HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群

図 5. 介入前後における股関節屈曲各筋の筋体積の変化

各図は HF-TR 群 (左) および KE-TR 群 (右) を示し、上段では同一対象者の Pre と Post の実測値を直線で結んで示した。下段では、介入前後の平均変化量 (Post-Pre) をブートストラップ法 (Ho et al., 2019). 平均変化量は点で示し、95%信頼区間は分布として示した ($P < 0.05$ は群内の Pre と Post の差が有意であることを示し、縦線で示した。* $P < 0.05$ は変化量 (Post-Pre) の群間差が有意であることを示す。HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群。

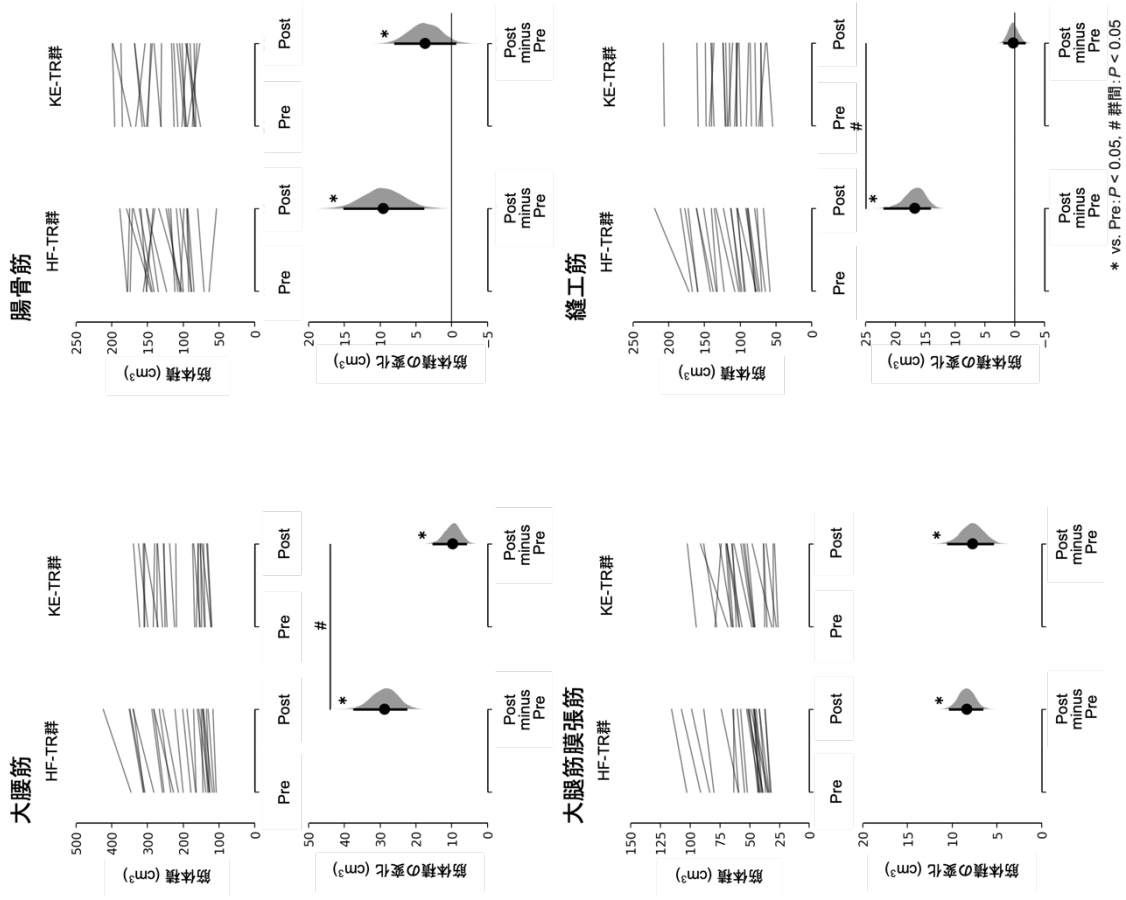


図 6. 介入前後における膝関節伸筋各筋の筋体積の変化

各図は HF-TR 群 (左) および KE-TR 群 (右) を示し、上段では同一対象者の Pre と Post の実測値を直線で結んで示した。下段では、介入前後の平均変化量 (Post-Pre) をブートストラップ法 (5,000 回, BCa 法) によるサンプリング分布として示した (Ho et al., 2019)。平均変化量は点で示し、95%信頼区間は縦線で示した。* $P < 0.05$ は群内の Pre と Post の差が有意であることを示し、# $P < 0.05$ は変化量 (Post-Pre) の群間差が有意であることを示す。HF-TR 群, 股関節屈曲トレニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレニング群。

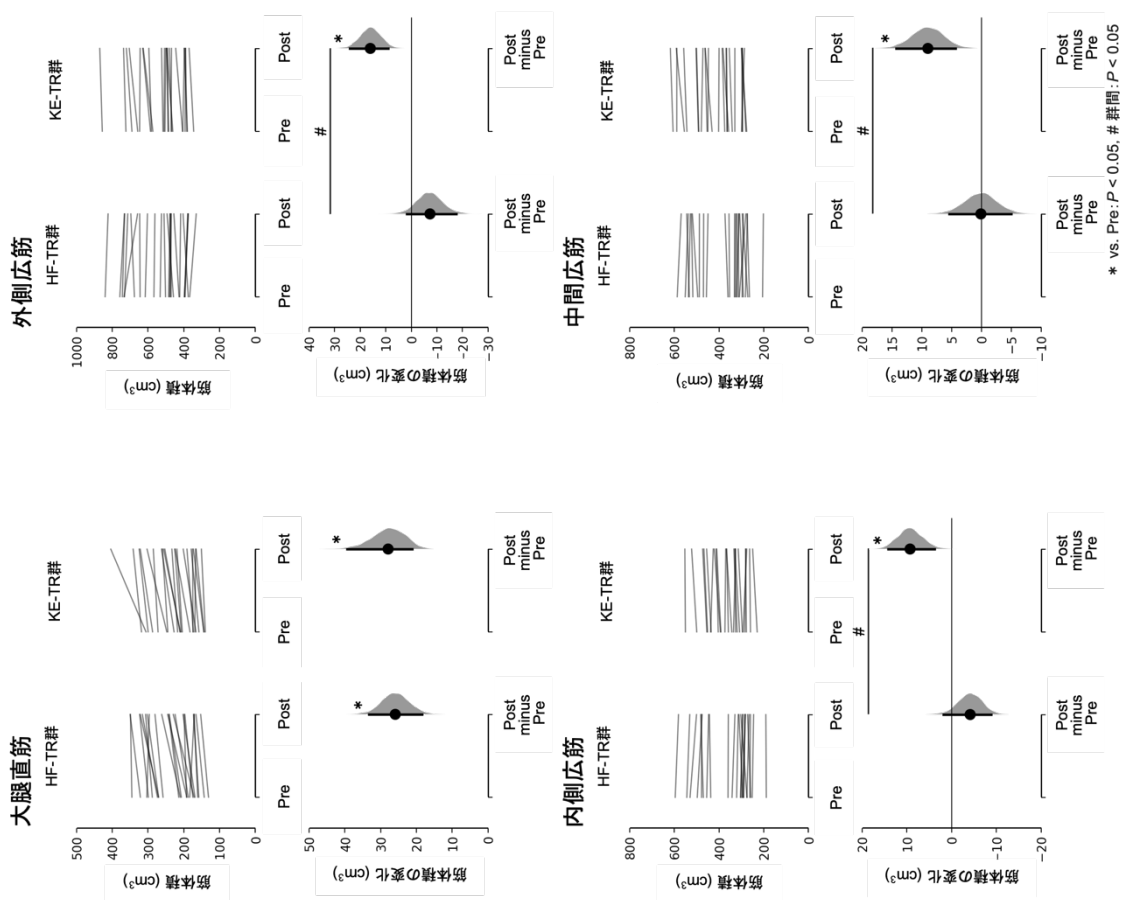
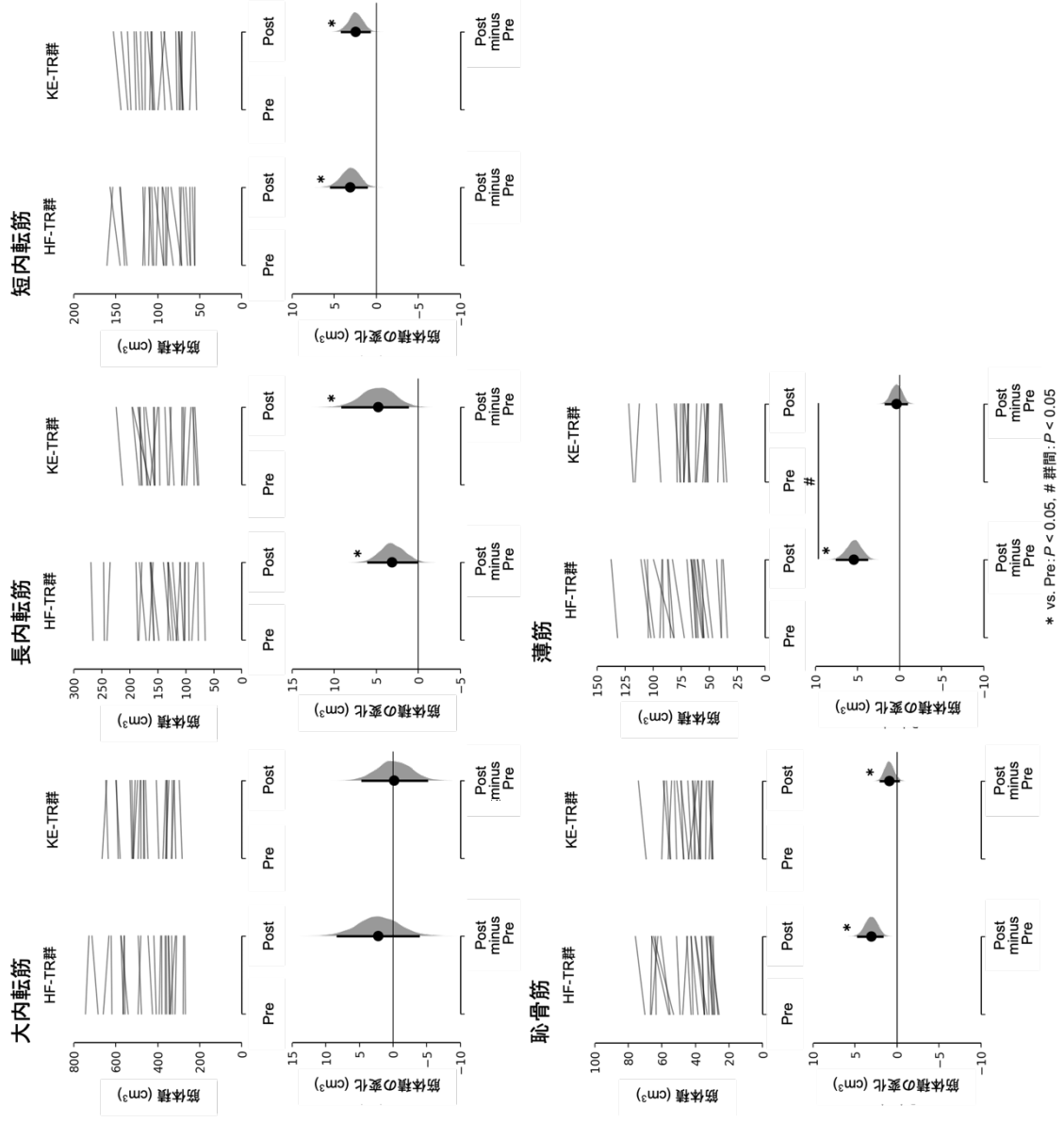
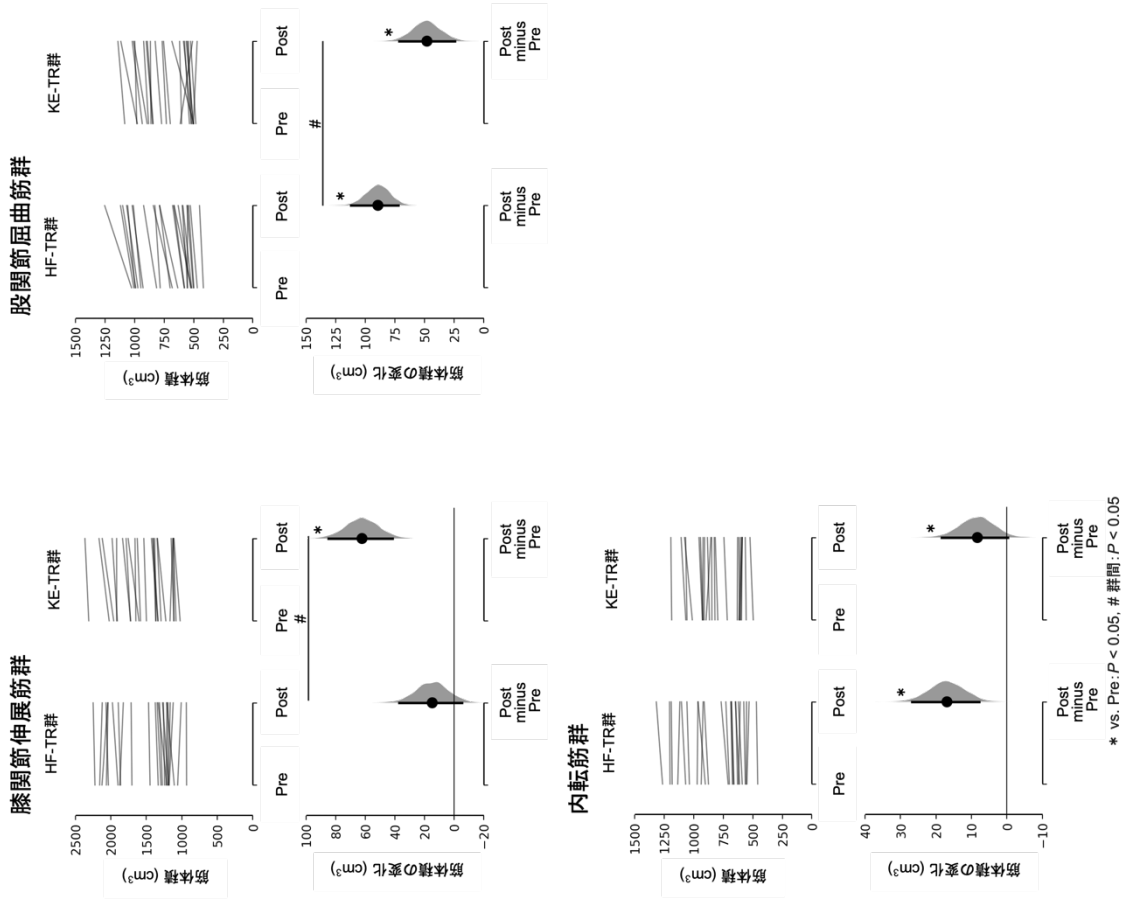


図 7. 介入前後における内転筋各筋の筋体積の変化



各図はHF-TR 群 (左) およびKE-TR 群 (右) を示し、上段では同一対象者の Pre と Post の実測値を直線で結んで示した。下段では、介入前後の平均変化量 (Post-Pre) をブートストラップ法 (5,000 回, BCa 法) によるサンプリング分布として示した (Ho et al., 2019)。平均変化量は点で示し、95%信頼区間は縦線で示した。* $P < 0.05$ は群内の Pre と Post の差が有意であることを示し、# $P < 0.05$ は変化量 (Post-Pre) の群間差が有意であることを示す。HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 股関節伸展トレーニング群。

図 8. 介入前後における各筋群の筋体積の変化



各図はHF-TR群 (左) およびKE-TR群 (右) を示し、上段では同一対象者のPreとPostの実測値を直線で結んで示した。下段では、介入前後の平均変化量(Post-Pre)をブートストラップ法 (5,000回, BCa法) によるサンプリング分布として示した (Ho et al., 2019)。平均変化量は点で示し、95%信頼区間は縦線で示した。* $P < 0.05$ は群内のPreとPostの差が有意であることを示し、# $P < 0.05$ は変化量 (Post-Pre) の群間差が有意であることを示す。HF-TR群、股関節屈曲トレネニング群; KE-TR群、膝関節伸展トレネニング群。

3-2. 1RM

絶対値の HF-1RM (kg) および KE-1RM (kg) は、いずれも時間の主効果および交互作用が認められた ($P < 0.001$)。事後検定の結果、HF-TR 群 (HF-1RM : 95.2 ± 29.9 kg vs. 202.7 ± 65.0 kg, KE-1RM : 46.0 ± 11.9 kg vs. 54.6 ± 14.7 kg) および KE-TR 群 (HF-1RM : 94.8 ± 26.1 kg vs. 117.8 ± 42.6 kg, KE-1RM : 47.5 ± 14.0 kg vs. 69.0 ± 21.2 kg) の両群において、介入前より介入後で有意に高値を示した ($P < 0.001$)。HF-1RM の増加量は、HF-TR 群が KE-TR 群よりも有意に大きかった (107.5 kg vs. 23.0 kg, $P < 0.001$, $g = 2.55$)。一方、KE-1RM の増加量は KE-TR 群が HF-TR 群より大きかった (21.6 kg vs. 8.6 kg, $P < 0.001$, $g = -1.34$)。

表 3 および図 9 に、トレーニング介入前後における体重あたりの HF-1RM ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) および KE-1RM ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) の変化を示す。HF-1RM および KE-1RM は、いずれも時間の主効果および交互作用が認められた ($P < 0.001$)。事後検定の結果、HF-1RM および KE-1RM は両群で介入前よりも介入後に有意に増加した ($P < 0.001$)。HF-1RM の増加は、HF-TR 群が KE-TR 群より有意に大きかった ($+112.3\%$ vs. $+18.9\%$, $P < 0.001$, $g = 3.57$)。また、KE-1RM の増加は、KE-TR 群が HF-TR 群より有意に大きかった ($+46.5\%$ vs. $+24.5\%$, $P < 0.001$, $g = -1.55$)。

表 3. 介入前後における 1RM と走タイム

	HF-TR 群 (n = 23)		KE-TR 群 (n = 22)		交互作用		時間の主効果	
	Pre	Post	Pre	Post	<i>g</i>	<i>P</i>	<i>g</i>	<i>P</i>
1RM (kg·kg ⁻¹)								
HF-1RM	1.64 ± 0.36	3.48 ± 0.70 *	1.57 ± 0.34	1.95 ± 0.53 *	0.84	< 0.001	< 0.001	< 0.001
KE-1RM	0.79 ± 0.12	0.94 ± 0.15 *	0.78 ± 0.17	1.15 ± 0.22 *	1.85	< 0.001	< 0.001	< 0.001
走タイム (s)								
0~60 m	9.41 ± 1.23	9.27 ± 1.23 *	9.46 ± 1.08	9.37 ± 1.07 *	-0.04	0.515	0.515	0.005

データは平均値 ± 標準偏差で示す。* $P < 0.05$ は Pre から Post にかけての有意な変化を示す。*g* は介入前後の Hedges' *g* の効果量を示す。各 1RM の *P* 値は Benjamini-Hochberg (BH) 法で調整した。HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群。

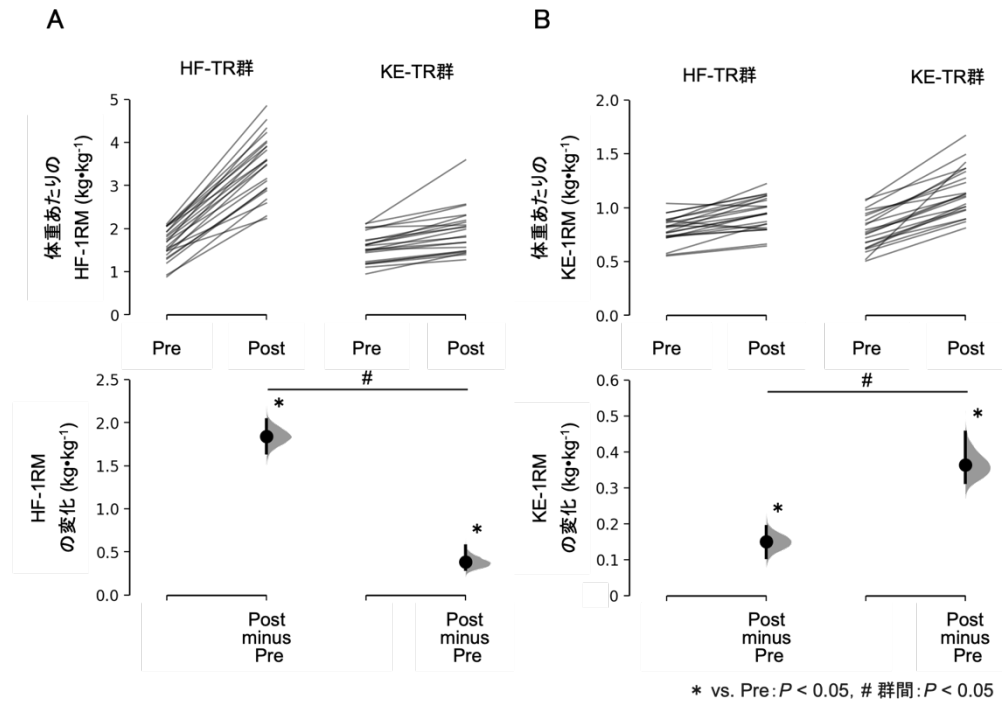


図9. 介入前後における体重あたりのHF-1RM (A) およびKE-1RM (B) の変化
 各図はHF-TR群 (左) およびKE-TR群 (右) を示し, 上段では同一対象者のPreとPostの実測値を直線で結んで示した. 下段では, 介入前後の平均変化量 (Post-Pre) をブートストラップ法 (5,000回, BCa法) によるサンプリング分布として示した (Ho et al., 2019). 平均変化量は点で示し, 95%信頼区間は縦線で示した. * $P < 0.05$ は群内のPreとPostの差が有意であることを示し, # $P < 0.05$ は変化量 (Post-Pre) の群間差が有意であることを示す. HF-TR群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR群, 膝関節伸展トレーニング群.

3-3. 走タイム

表 3 および図 10 に走タイムの変化を示す。走タイムは時間の主効果が認められ ($P = 0.005$)、交互作用は認められなかった ($P = 0.515$)。したがって、走タイムは両群で短縮したが、その程度に群間差は認められなかった (HF-TR 群 vs. KE-TR 群: -1.5% vs. -0.9%)。

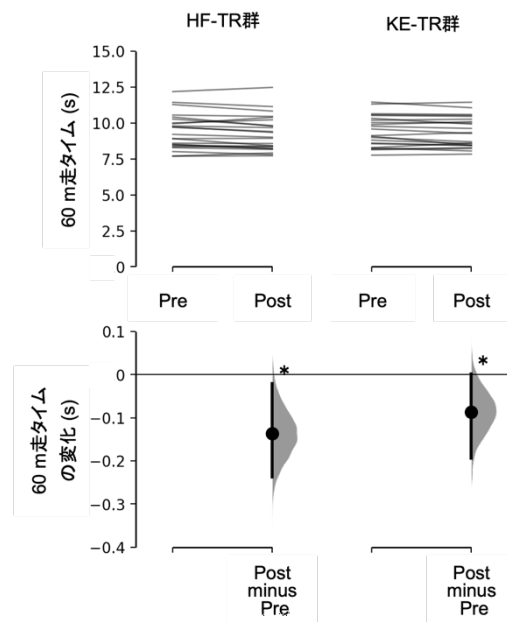


図 10. 介入前後における走タイムの変化

各図は HF-TR 群 (左) および KE-TR 群 (右) を示し、上段では同一対象者の Pre と Post の実測値を直線で結んで示した。下段では、介入前後の平均変化量 (Post-Pre) をブートストラップ法 (5,000 回, BCa 法) によるサンプリング分布として示した (Ho et al., 2019)。平均変化量は点で示し、95%信頼区間は縦線で示した。* $P < 0.05$ は群内の Pre と Post の差が有意であることを示す。HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群。

3-4. 筋体積の変化と走タイムの変化との関係

表 4 に、個別筋、筋群における筋体積の変化と走タイムの変化との反復測定相関分析の結果を示す。対象者全体では、走タイムの変化は、個別筋では大腰筋、大腿筋膜張筋、縫工筋、大腿直筋、長内転筋、恥骨筋、薄筋の筋体積の変化と有意な負の相関関係を示した ($r = -0.380 \sim -0.584$, $P \leq 0.017$)。また筋群では、股関節屈曲筋群、膝関節伸展筋群、内転筋群の筋体積の変化と有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.342 \sim -0.549$, $P \leq 0.020$)。

トレーニング群別にみると、HF-TR 群では、走タイムの変化は、個別筋において大腰筋、腸骨筋、大腿筋膜張筋、縫工筋、大腿直筋、長内転筋、恥骨筋、薄筋の筋体積の変化と有意な負の相関関係を示した ($r = -0.507 \sim -0.654$, $P \leq 0.019$)。筋群においても、股関節屈曲筋群、膝関節伸展筋群、内転筋群の筋体積の変化と有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.462 \sim -0.624$, $P \leq 0.023$)。一方、KE-TR 群では、走タイムの変化は、いずれの個別筋および筋群の筋体積の変化との間にも有意な相関関係は認められなかった ($|r| \leq 0.557$, $P \geq 0.074$)。

ステップワイズ法による重回帰分析の結果、対象者全体で走タイムの変化を説明する因子として、大腿直筋の筋体積の変化のみが選択された ($R^2 = 0.222$, $P = 0.001$)。HF-TR 群においても、走タイムの変化を説明する因子として、大腿直筋の筋体積の変化のみが選択された ($R^2 = 0.303$, $P = 0.006$)。KE-TR 群では、いずれの筋も有意な関連が認められなかったため、重回帰分析は実施しなかった。

表 4. 対象者全体および各トレーニング群における、個別筋、筋群の筋体積の変化と走タイムの変化との関係

	対象者全体 (n = 45)		HF-TR 群 (n = 23)		KE-TR 群 (n = 22)	
	r	P	r	P	r	P
個別筋						
大腰筋	-0.449 *	0.004	-0.529 *	0.017	-0.279	0.567
腸骨筋	-0.278	0.088	-0.542 *	0.017	0.235	0.596
大腿筋膜張筋	-0.547 *	< 0.001	-0.546 *	0.017	-0.557	0.074
縫工筋	-0.434 *	0.006	-0.552 *	0.017	-0.083	0.835
大腿直筋	-0.584 *	< 0.001	-0.654 *	0.007	-0.518	0.074
外側広筋	-0.063	0.733	-0.116	0.602	0.004	0.985
内側広筋	-0.004	0.979	0.120	0.602	-0.140	0.835
中間広筋	-0.165	0.356	-0.227	0.371	-0.103	0.835
大内転筋	-0.105	0.575	-0.112	0.602	-0.094	0.835
長内転筋	-0.476 *	0.004	-0.507 *	0.019	-0.477	0.092
短内転筋	-0.293	0.078	-0.339	0.152	-0.217	0.596
恥骨筋	-0.447 *	0.005	-0.536 *	0.017	-0.267	0.567
薄筋	-0.380 *	0.017	-0.512 *	0.019	-0.047	0.901
筋群						
股関節屈曲筋群	-0.549 *	< 0.001	-0.617 *	0.004	-0.419	0.140
膝関節伸展筋群	-0.342 *	0.020	-0.462 *	0.023	-0.270	0.214
内転筋群	-0.421 *	0.005	-0.476 *	0.023	-0.336	0.176

* $P < 0.05$. 各群または対象者全体の全体を除く個別筋 (13筋) または筋群 (3筋群) の P 値は, Benjamini-Hochberg (BH) 法を用いて調整した. HF-TR 群, 股関節屈曲トレーニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレーニング群.

3-5. 1RM の変化と走タイムの変化との関係

表 5 に、対象者全体および各トレーニング群における、体重あたりの 1RM ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) の変化と走タイムの変化との反復測定相関分析の結果を示す。対象者全体では走タイムの変化は HF-1RM ($r = -0.389$, $P = 0.015$) および KE-1RM ($r = -0.328$, $P = 0.026$) の変化と有意な負の相関関係を示した。HF-TR 群でも同様に HF-1RM ($r = -0.463$, $P = 0.023$) および KE-1RM ($r = -0.473$, $P = 0.023$) と有意な負の相関関係が認められた。一方、KE-TR 群では HF-1RM ($r = -0.244$, $P = 0.261$) および KE-1RM ($r = -0.302$, $P = 0.261$) との相関関係はいずれも有意ではなかった。

ステップワイズ法による重回帰分析の結果、対象者全体および HF-TR 群で走タイムの変化を説明する因子として、いずれの 1RM の変化も選択されなかった。KE-TR 群では、いずれの 1RM も有意な関連が認められなかったため、重回帰分析は実施しなかった。

表 5. 対象者全体および各トレニング群における、体重あたりの 1RM ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) の変化と走タイムの変化との関係

	対象者全体 (n = 45)		HF-TR 群 (n = 23)		KE-TR 群 (n = 22)	
	r	P	r	P	r	P
1RM						
HF-1RM	-0.389 *	0.015	-0.463 *	0.023	-0.244	0.261
KE-1RM	-0.328 *	0.026	-0.473 *	0.023	-0.302	0.261

* $P < 0.05$. 各群または対象者全体の HF-1RM と KE-1RM (2 項目) の P 値は Benjamini-Hochberg (BH) 法を用いて調整した. HF-TR 群, 股関節屈曲トレニング群; KE-TR 群, 膝関節伸展トレニング群.

第4章. 考察

4-1. 本研究の主な結果

本研究は 1) HF または KE トレーニングが筋量, 筋力およびスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすること, ならびに 2) 両トレーニングによる筋量および筋力の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関係性を明らかにすることを目的とした. その結果, 以下の知見が得られた. (1) 筋体積および 1RM とともに, トレーニング動作に特異的な変化がみられた. (2) 走タイムは両群で同程度の短縮がみられた. (3) 走タイムの変化は, HF-1RM および KE-1RM の変化, ならびに HF に関与する筋 (大腰筋, 大腿筋膜張筋, 大腿直筋など) の筋体積の変化と有意に関連したが, KE のみに作用する筋 (広筋群) の筋体積の変化とは有意に関連しなかった. (4) 走タイムの変化を説明する因子として, 大腿直筋の筋体積の変化のみが選択された. 以上より, HF および KE トレーニングはいずれもスプリントパフォーマンスを向上させるが, その向上には HF に関与する筋, 特に大腿直筋の肥大が関与することが示唆された.

4-2. 筋量の変化

4-2-1. 股関節屈曲筋群

大腰筋, 腸骨筋, 大腿筋膜張筋, 縫工筋の筋体積は HF トレーニング後に有意に増加し, とくに大腰筋 (+14.5% vs. +4.6%) および縫工筋 (+15.5% vs. +0.2%) の増加は, HF トレーニング後が KE トレーニング後よりも有意に大きかった (図 5). その結果, 大腿直筋を含む股関節屈曲筋群の筋体積の増加も, HF トレーニング後の方が有意に大きかった (+12.7% vs. +6.9%; 図 8). 大腰筋, 腸骨筋, 縫工筋は, 上体を起こす動作 (いわゆるトランクフレクション) よりも足を挙上する動作 (いわゆるレッグレイズ) で筋活動が高まることが示されており (Andersson et al., 1995; Andersson et al., 1997), 本研究の立位 HF トレーニングではこれらの筋が主働筋として動員されたことで, 顕著な筋肥大が生じたと考えられる. 一方, KE トレーニング後にも大腰筋, 腸骨筋, 大腿筋膜張筋で有意な筋体積の増加が認められた. これらの筋は KE に直接作用しないことから, 本結果は一見すると意外であるが, これには KE トレーニング時の姿勢や負荷の大きさが影響している可能性がある. 本研究では, 股関節屈曲角度 0° で比較的高負荷 (70%1RM) を用いて KE トレーニングを実施した. 大腰筋は股関節屈曲角度 0°~15° の範囲で大腿骨頭の安定化や腰

椎伸展作用を担う可能性が報告されており ([Yoshio et al., 2002](#)), KE の主働筋ではないものの, 高負荷下で骨盤・体幹のアライメントを維持するための安定化の要求に伴って動員された可能性がある. この解釈は, 姿勢保持や対側荷重など脊柱の安定性を高く保つ必要がある課題で大腰筋が選択的に活動するという筋活動の所見とも整合する ([Andersson et al., 1995](#)). また, 大腿筋膜張筋は外力に対して膝関節の前額面 (内反・外反) の安定化に関与し得ることから ([Buchanan & Lloyd, 1997](#)), 高負荷 KE トレーニング中に膝関節の回旋制御に寄与していた可能性がある. したがって, KE トレーニング後に観察された股関節屈曲筋群の肥大は, 運動中に関節の安定性を保つ必要性を反映した適応である可能性が考えられる. ただし, この点を裏付けるためには, 股関節角度の違いを操作した膝関節伸展運動において, 股関節屈曲筋群の筋活動や力発揮特性を直接評価する必要がある.

4-2-2. 膝関節伸展筋群 (大腿四頭筋)

大腿直筋の筋体積は, HF トレーニング後および KE トレーニング後で有意に増加し, その程度は両群で同程度であった (+11.6% vs. +13.1%; [図 6](#)). 大腿直筋は膝関節だけでなく股関節もまた二関節筋であり, 股関節屈曲筋としても機能する. これまで大腿直筋の筋肥大は, 主に膝関節伸展運動を用いた研究で議論されてきた ([Ema et al., 2013](#); [Maeo et al., 2018b](#); [Larsen et al., 2025](#)). 一方, [Ema et al. \(2018a\)](#) は股関節屈曲運動に着目し, 等尺性股関節屈曲トレーニングによって大腿直筋の筋厚が有意に増加することを報告した. しかし, 上記の研究は介入期間が 4 週間と短く, また筋体積の変化との関連が弱い超音波による筋厚評価であり ([Franchi et al., 2018](#)), HF トレーニングによる筋肥大効果の検討には不十分であると考えられる. そこで本研究では, 十分な介入期間を設定した上で, MRI を用いて筋体積を測定し, HF および KE トレーニングによる大腿直筋の筋肥大効果を比較検討した. その結果, HF および KE トレーニングのいずれにおいても大腿直筋の筋肥大効果は同程度であり, 股関節屈曲運動と膝関節伸展運動の双方で, 大腿直筋が動員された可能性が示唆された. ただし, 大腿直筋の筋活動には部位差があり, 股関節屈曲運動では近位部の筋活動が相対的に高く, 膝関節伸展運動では遠位部の筋活動が相対的に高いと報告されている ([Miyamoto et al., 2012](#); [Watanabe et al., 2012](#)). この点をふまえると, HF および KE トレーニングによる大腿直筋の筋肥大効果は部位によって異なる可能性があるため, 今後は部位別に検討する必要がある.

膝関節伸展筋群のうち, 広筋群 3 筋の筋体積は KE トレーニング後に有意に増加したが,

HF トレーニング後では有意に増加しなかった (+2.2~+3.1% vs. -1.3~0.0% ; 図 6). また, 大腿直筋を含めた膝関節伸展筋群の筋体積も, KE トレーニング後にのみ増加した (+4.1% vs. +1.0% ; 図 8). 先行研究では, 広筋群 3 筋の筋活動は, 等尺性股関節屈曲時には大腿直筋と比較して有意に低く (Saito & Akima, 2015), 一方で等尺性膝関節伸展時には大腿直筋と同様に活動することが示されている (Salzman et al., 1993). これらの知見をふまえると, 広筋群は KE の主要な単関節筋であり HF の作用をもたないため, HF トレーニング後に広筋群の筋体積増加が認められなかった本研究の結果は妥当である.

4-2-3. 内転筋群

薄筋の筋体積は HF トレーニング後に有意に増加した一方, KE トレーニング後には有意な増加は認められなかった (+7.8% vs. +0.6% ; 図 7). また, 恥骨筋の筋体積は, 交互作用は認められなかったもの ($P=0.057$), HF トレーニング後に比較的大きな増加がみられた (+7.2% vs. +2.2% ; 図 7). 薄筋および恥骨筋は, 股関節屈曲 0°付近において, HF の主働筋である大腰筋や大腿直筋と比較して, 股関節屈曲モーメントへの寄与が相対的に大きい可能性が示されている (Hoy et al., 1990). このことから, HF トレーニングでは薄筋および恥骨筋が HF の協働筋として動員されやすく (Kobetic et al., 1994; Giphart et al., 2012), その結果として筋肥大に至った可能性がある. 一方, 長内転筋 (HF-TR 群 vs. KE-TR 群 : +2.2% vs. +3.4%) および短内転筋 (+3.2% vs. +2.5%) の筋体積は, 増加の程度は小さいものの, 両トレーニング後に有意に増加した. これらの筋は股関節内転作用に加え, HF や骨盤・大腿骨の安定性にも寄与することが報告されており (Arnold & Delp, 2001; Kato et al., 2019; Hoy et al., 1990), HF および KE トレーニングのいずれにおいても協働的に動員された可能性がある. 一方, 大内転筋ではいずれの条件においても有意な筋肥大は認められなかった (HF-TR 群 vs. KE-TR 群 : +0.5% vs. 0.0%). これは, 大内転筋の主な作用が股関節内転および股関節伸展であり (Kato et al., 2019; Hoy et al., 1990), 本研究で用いた HF および KE トレーニングにおいては動員されにくかったことに起因すると思われる. さらに, 内転筋群全体としてみた場合, 筋肥大効果に条件間で有意な差は認められなかった (HF-TR 群 vs. KE-TR 群 : +2.1% vs. +1.1% ; 図 8). これは, 内転筋群を構成する比較的大きな筋量を有する筋 (大内転筋, 長内転筋, 短内転筋) において筋肥大の程度に群間差が認められなかったことが, 内転筋群全体としての群間差が検出されなかった一因であると考えられる.

4-3. 筋力の変化

本研究では、体重あたりの HF-1RM は HF トレーニング後に大きく増加し (HF-TR 群 vs. KE-TR 群 : +112.3% vs. +18.9%), 一方で KE-1RM は KE トレーニング後により大きく増加した (+24.5% vs. +46.5%) (図 9). これらの結果から、筋力の向上はトレーニング動作に特異的であることが確認された. この知見は、筋力トレーニングにおける動作特異性を検討した先行研究と一致する (Ema et al., 2018a; Rasch & Morehouse, 1957). Ema et al. (2018a) は健常若年男性を対象に、4 週間の等尺性股関節屈曲または等尺性膝関節伸展トレーニングを実施し、等尺性股関節屈曲トルクは HF トレーニング後により大きく増加し、等尺性膝関節伸展トルクは KE トレーニング後により大きく増加することを報告した. また Rasch & Morehouse (1957) は、健常若年者を対象に 6 週間の立位での肘関節屈曲トレーニングが筋力に及ぼす影響を検討し、トレーニングと同一姿勢である立位での筋力向上が、非トレーニング姿勢である仰臥位よりも有意に大きいことを示した. したがって、筋力トレーニングによる筋力向上は、トレーニングで反復した動作・姿勢で最も大きく生じ、たとえ同一筋 (本研究では大腿直筋) や同一筋群が作用する場合でも、非トレーニング動作・姿勢への波及効果 (transfer) はトレーニング動作・姿勢における筋力向上効果よりも小さい可能性が示唆される (Saeterbakken et al., 2025).

4-4. 筋量・筋力の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関係

走タイムは、両群ともに同程度の短縮がみられ (HF-TR 群 vs. KE-TR 群 : -1.5% vs. -0.9% ; 図 10), 走タイムの変化は HF-1RM および KE-1RM の変化と有意に関連した ($r = -0.328 \sim -0.389$, $P \leq 0.026$; 表 5). これらの結果は、股関節屈曲筋力および膝関節伸展筋力が走タイムと負の関連を示す横断研究の結果と整合する (Dowson et al., 1998). また、Deane et al. (2005) は非鍛錬者を対象に 8 週間の HF トレーニングを実施し、等尺性股関節屈曲筋力の有意な増加と、40 ヤード走タイムの有意な短縮を報告している. したがって、本研究において HF および KE トレーニングは筋力向上を促し、スプリントパフォーマンスの向上に寄与すると示唆された.

走タイムの変化は、対象者全体で HF に作用する筋 (大腰筋, 大腿筋膜張筋, 大腿直筋など) の筋体積の変化と有意に関連した ($r = -0.380 \sim -0.584$, $P \leq 0.017$; 表 4). また、走タイムの変化は、HF-TR 群でのみ HF に作用する筋の筋体積の変化と有意に関連した (r

= -0.507~-0.654, $P \leq 0.019$; 表4). これらの結果は, 大腰筋や大腿筋膜張筋, 縫工筋, 大腿直筋といった股関節屈曲筋の筋量が大きい者ほど, スプリントパフォーマンスが高いと示した横断研究の知見と一致する (Miller et al., 2021). しかし, 従来の知見は横断研究にとどまり, 特定の筋の肥大がスプリントパフォーマンスの向上と関連するかどうかは不明であった. 本研究では, トレーニングによる筋体積の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関連を縦断的に検証し, レジスタンストレーニング(とくに HF トレーニング)による股関節屈曲筋群の筋体積の増加が, スプリントパフォーマンスの向上と関連する可能性が示唆された.

一方で, 走タイムの変化は KE のみに作用する筋(広筋群)の筋体積の変化とは有意に関連しなかった(対象者全体: $r = -0.165 \sim -0.004$, $P \geq 0.356$; 表4). これに対し, 横断研究では, 大腿四頭筋の筋厚や筋体積と走タイムの間に負の関連が報告されており, 筋量が大きいほど走タイムが短い可能性が示されている (Kumagai et al., 2000; Tottori et al., 2018; Tottori et al., 2021). ただし, これら先行研究では, 役割の異なる大腿直筋(HFとKEの二作用をもつ二関節筋)と広筋群(KEのみに作用する単関節筋)を区別していない点が限界として挙げられる. 本研究においても, 走タイムの変化は膝関節伸展筋群の筋体積の変化と有意に関連したが, 当該筋群には大腿直筋が含まれるため, 観察された関連には大腿直筋の関与が大きいと考えられる. 以上より, 少なくとも本研究から, 広筋群の肥大がスプリントパフォーマンスに及ぼす影響は限定的である可能性が示唆される. また, 走タイムの変化は内転筋群の筋体積の変化とも有意に関連したが, 内転筋群には HF に寄与し得る筋(例: 長内転筋 (Kato et al., 2019; Hoy et al., 1990), 薄筋 (Kobetic et al., 1994; Hoy et al., 1990) や恥骨筋 (Giphart et al., 2012; Hoy et al., 1990)) が含まれることが一因であると考えられる. したがって, 本研究の結果は, HF に関与する筋のトレーニングによる筋体積の増加が走タイムの短縮と関連したことを示唆している.

股関節屈曲筋は, スプリント走のような高速走行時(例: 重心速度 $> 7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)において, 遊脚期で重要な役割を果たす (Dorn et al., 2012; Willer et al., 2024). Willer et al. (2024) は, トレッドミル走で走速度を増加させると, 遊脚期の股関節屈曲モーメントが速度の増加に伴い増大し, 高い走速度の獲得・維持において股関節伸展と同程度に重要な役割を果たすことを報告した. シミュレーション研究では, 主に立脚期後半の離地直前から遊脚期後半の接地直前にかけて, 腿上げ動作のために股関節屈曲モーメントが生成され, その局面では腸腰筋(大腰筋・腸骨筋)および大腿直筋が力発揮に関与することが示され

ている ([Dorn et al., 2012](#)). さらに、股関節屈曲モーメントの増大は股関節まわりの角運動量を高め、素早い脚の回転を通じて高いステップ頻度をもたらす可能性が指摘されている ([Dorn et al., 2012](#)). 本研究においても、股関節屈曲筋群の筋体積の変化は走タイムの変化と有意に関連し (対象者全体: $r = -0.549$, $P < 0.001$; 表 4), なかでも大腿直筋の筋体積増加が走タイム短縮に寄与することが示唆された ($R^2 = 0.222$, $P = 0.001$). この結果は、大腿直筋の筋体積が遊脚期における股関節屈曲モーメントのピーク値ならびに重心速度と有意な関連を示した横断研究と一致する ([Ema et al., 2018b](#)). スプリントの遊脚期では、立脚期の離地直前から遊脚期中盤にかけて股関節・膝関節が屈曲し (遊脚期前半), 続く遊脚期中盤から接地にかけて股関節・膝関節が伸展する (遊脚期後半). 大腿直筋は、遊脚期の繰り返し局面 (遊脚期中盤) で伸張—短縮サイクル (Stretch-shortening cycle) の作用を担い得るため ([Mero & Komi, 1987](#)), 大きな股関節屈曲モーメントを生成する可能性がある. 以上より、トレーニングによる大腿直筋の肥大は、遊脚期における股関節屈曲モーメントを増大させ、その結果スプリントパフォーマンスの向上に寄与する可能性が示唆される.

一方で、この関連はトレーニング様式によって一様ではなく、HF-TR 群では HF に関与する筋の筋体積変化と走タイム変化の関連が認められたのに対し、KE-TR 群では同様の有意な関連は認められなかった (表 4). したがって、股関節屈曲筋の肥大そのものが必ずしも走タイムの短縮に結び付くのではなく、どのトレーニング様式によって、遊脚期に必要な股関節屈曲モーメントの発揮に結び付く形で股関節屈曲筋が動員されたかが、筋体積変化と走タイム変化との関係を規定した可能性がある. ただし、本研究の結果は相関関係に基づくため因果関係については慎重な解釈が必要である. 今後は、介入前後におけるスプリント走中の遊脚期の股関節屈曲モーメント (運動力学) および関連する運動学的指標の変化を評価し、筋肥大がスプリント走中の力学的変化を介してスプリントパフォーマンスの向上につながるかを検証する必要がある.

4-5. 研究限界および研究展望

本研究にはいくつかの限界点がある.

第 1 に、本研究で実施した HF および KE トレーニングにおいて、トレーニング開始肢位を股関節屈曲 0° かつ膝関節屈曲 90° に統一したことが、一部の筋の筋肥大効果に影響した可能性がある. 近年、とくに二関節筋では関節角度に伴う筋長の違いが筋肥大効果に影響

響し、より長い筋長でのトレーニングが筋肥大を増大させることが示されている ([Maeo et al., 2021](#); [Maeo et al., 2023](#); [Maeo et al., 2024](#); [Kinoshita et al., 2023](#); [Larsen et al., 2025](#))。したがって、関節角度を統制せずにトレーニングを実施した場合、観察された筋体積の変化が異なっていた可能性がある。一方で、本研究では両トレーニングで主働筋として関与する大腿直筋の筋長を揃える目的で関節角度を統制し、筋長が筋肥大に及ぼす影響を最小限にした。今後、二関節筋を対象に異なる関節運動（例：ハムストリングスを対象に股関節伸展運動または膝関節屈曲運動）が筋肥大効果に及ぼす影響を検討する際には、筋長の違いを考慮したトレーニングプロトコルの設計が求められる。

第2に、本研究で用いたHFトレーニングは立位で片脚支持を伴う肢位で実施したため、股関節屈曲筋群の適応に加えて、支持脚側の股関節伸展筋群が動員された可能性がある。そのため、本研究において股関節伸展筋力の向上を介して走タイム短縮に寄与した可能性がある。しかし、本研究では介入前後の股関節伸展筋力を直接測定していないため、この点について直接検証することはできない。ただし、本研究では股関節伸展作用を有する大内転筋 ([Kato et al., 2019](#); [Hoy et al., 1990](#)) の筋体積は有意に増加しなかったことから、少なくとも股関節伸展筋の形態学的適応は限定的であったと考えられる。したがって、今後はHFトレーニング介入前後で股関節伸展・屈曲を含むスプリントパフォーマンスに関連する筋力を網羅的に評価するとともに、股関節伸展筋の関与が相対的に小さい条件（例：仰臥位でのHFトレーニング）での効果も検討する必要がある。

第3に、本研究の対象者は全員が非鍛錬者であったため、本研究の知見をレジスタンストレーニング経験者やアスリートに一般化できるかどうかは不明である。本研究の対象者は過去1年以内に下肢トレーニング習慣のない健常若年成人であり、アスリートと比較するとスプリント走能力は低い。また、鍛錬者やトレーニング歴の長いアスリートではトレーニングによる恩恵の一部あるいは大半を既に獲得しているため、トレーニングによる筋肥大効果は非鍛錬者より小さい可能性がある ([Peterson et al., 2005](#))。これを支持するようにアスリートを対象とした研究では、筋力増加は一定水準までは走速度の向上に寄与するが、それ以上では寄与しないことが示されている ([Philipp et al., 2022](#))。したがって、非鍛錬者とはトレーニング効果が異なる可能性のあるアスリートに対して本研究の結果を一般化するには、鍛錬者やアスリートを対象とした、比較的長期間の介入研究、MRIによる筋体積評価、ならびにスプリントパフォーマンス評価を組み合わせた検討が必要である。

第 5 章. 結論

本研究は 1) HF または KE トレーニングが筋量, 筋力およびスプリントパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすること, ならびに 2) 両トレーニングによる筋量および筋力の変化とスプリントパフォーマンスの変化との関係性を明らかにすることを目的とした. その結果, 以下の知見が得られた.

- I. 筋量の変化として, HF トレーニングは大腰筋, 縫工筋, 大腿直筋などの股関節屈曲筋の筋体積を顕著に増加させた. 一方, KE トレーニングは膝関節伸展筋の筋体積をより増加させ, 併せて一部の股関節屈曲筋においても筋体積の増加が認められた.
- II. 筋力の変化として, HF および KE トレーニングはいずれも HF および KE の 1RM を増加させたが, その程度はトレーニング動作に特異的であった.
- III. スプリントパフォーマンスの変化として, 60 m 走タイムは HF および KE トレーニングのいずれにおいても同程度に短縮した.
- IV. 走タイムの短縮は, HF に関与する筋, 特に大腿直筋の筋体積の増加が寄与することが示唆された.

引用文献

- Alt, T., Severin, J., Komnik, I., Nodler, Y. T., Benker, R., Knicker, A. J., Brüggemann, G. P., & Strüder, H. K. (2021). Nordic hamstring exercise training induces improved lower-limb swing phase mechanics and sustained strength preservation in sprinters. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *31*(4), 826-838. <https://doi.org/10.1111/sms.13909>
- American College of Sports Medicine. (2022). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (11th ed.). Wolters Kluwer.
- Andersson, E. A., Nilsson, J., Ma, Z., & Thorstensson, A. (1997). Abdominal and hip flexor muscle activation during various training exercises. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *75*(2), 115-123. <https://doi.org/10.1007/s004210050135>
- Andersson, E., Oddsson, L., Grundström, H., & Thorstensson, A. (1995). The role of the psoas and iliacus muscles for stability and movement of the lumbar spine, pelvis and hip. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *5*(1), 10-16. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1995.tb00004.x>
- Arnold, A. S., & Delp, S. L. (2001). Rotational moment arms of the medial hamstrings and adductors vary with femoral geometry and limb position: Implications for the treatment of internally rotated gait. *Journal of Biomechanics*, *34*(4), 437-447. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00232-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00232-3)
- Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2011). *Weight training: Steps to success* (4th ed.). Human Kinetics.
- Bakdash, J. Z., & Marusich, L. R. (2017). Repeated measures correlation. *Frontiers in Psychology*, *8*, 456. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00456>
- Balshaw, T. G., Funnell, M. P., McDermott, E., Maden-Wilkinson, T., Massey, G. J.,

- Abela, S., Quteishat, B., Edsey, M., James, L. J., & Folland, J. P. (2023). The effect of specific bioactive collagen peptides on tendon remodelling during 15 weeks of lower body resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *55*(11), 2083-2095. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003242>
- Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maden-Wilkinson, T. M., Tillin, N. A., & Folland, J. P. (2016). Training-specific functional, neural, and hypertrophic adaptations to explosive vs. sustained-contraction strength training. *Journal of Applied Physiology*, *120*(11), 1364-1373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00091.2016>
- Blazevich, A. J., & Jenkins, D. G. (2002). Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *Journal of Sports Sciences*, *20*(12), 981-990. <https://doi.org/10.1080/026404102321011742>
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A. S., & Rao, D. (1999). Familial aggregation of VO₂max response to exercise training: Results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, *87*(3), 1003–1008. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1003>
- Buchanan, T. S., & Lloyd, D. G. (1997). Muscle activation at the human knee during isometric flexion-extension and varus-valgus loads. *Journal of Orthopaedic Research*, *15*(1), 11-17. <https://doi.org/10.1002/jor.1100150103>
- Collins, H., Booth, J. N., Duncan, A., & Fawkner, S. (2019). The effect of resistance training interventions on fundamental movement skills in youth: A meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, *5*(1), 17. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0188-x>
- Deane, R. S., Chow, J. W., Tillman, M. D., & Fournier, K. A. (2005). Effects of hip flexor training on sprint, shuttle run, and vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(3), 615-621. <https://doi.org/10.1519/14974.1>
- Delavier, F. (2010). *Strength training anatomy* (3rd ed.). Human Kinetics.

- Dorn, T. W., Schache, A. G., & Pandy, M. G. (2012). Muscular strategy shift in human running: Dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. *The Journal of Experimental Biology*, *215*(11), 1944-1956. <https://doi.org/10.1242/jeb.064527>
- Dowson, M. N., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A., Nevill, A. M., & Hazeldine, R. J. (1998). Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *Journal of Sports Sciences*, *16*(3), 257-265. <https://doi.org/10.1080/026404198366786>
- Ema, R., Saito, I., & Akagi, R. (2018a). Neuromuscular adaptations induced by adjacent joint training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(3), 947-960. <https://doi.org/10.1111/sms.13008>
- Ema, R., Sakaguchi, M., & Kawakami, Y. (2018b). Thigh and psoas major muscularity and its relation to running mechanics in sprinters. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *50*(10), 2085-2091. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001678>
- Ema, R., Wakahara, T., Miyamoto, N., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2013). Inhomogeneous architectural changes of the quadriceps femoris induced by resistance training. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(11), 2691-2703. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2700-1>
- Franchi, M. V., Longo, S., Mallinson, J., Quinlan, J. I., Taylor, T., Greenhaff, P. L., & Narici, M. V. (2018). Muscle thickness correlates to muscle cross-sectional area in the assessment of strength training-induced hypertrophy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *28*(3), 846-853. <https://doi.org/10.1111/sms.12961>
- Giphart, J. E., Stull, J. D., Laprade, R. F., Wahoff, M. S., & Philippon, M. J. (2012). Recruitment and activity of the pectineus and piriformis muscles during hip rehabilitation exercises: An electromyography study. *The American Journal of Sports Medicine*, *40*(7), 1654-1663. <https://doi.org/10.1177/0363546512443812>

- Haff, G., & Triplett, N. T. (2021). *Essentials of strength training and conditioning* (4th ed.). Human Kinetics.
- Haugen, T., & Buchheit, M. (2016). Sprint running performance monitoring: Methodological and practical considerations. *Sports Medicine*, *46*(5), 641-656. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0446-0>
- Ho, J., Tumkaya, T., Aryal, S., Choi, H., & Claridge-Chang, A. (2019). Moving beyond P values: Data analysis with estimation graphics. *Nature Methods*, *16*(7), 565-566. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0470-3>
- Hoy, M. G., Zajac, F. E., & Gordon, M. E. (1990). A musculoskeletal model of the human lower extremity: The effect of muscle, tendon, and moment arm on the moment-angle relationship of musculotendon actuators at the hip, knee, and ankle. *Journal of Biomechanics*, *23*(2), 157-169. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(90\)90349-8](https://doi.org/10.1016/0021-9290(90)90349-8)
- Kato, T., Taniguchi, K., Akima, H., Watanabe, K., Ikeda, Y., & Katayose, M. (2019). Effect of hip angle on neuromuscular activation of the adductor longus and adductor magnus muscles during isometric hip flexion and extension. *European Journal of Applied Physiology*, *119*(7), 1611-1617. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04150-5>
- Kawama, R., Takahashi, K., Tozawa, H., Obata, T., Fujii, N., Arai, A., Hojo, T., & Wakahara, T. (2024). Muscle morphological changes and enhanced sprint running performance: A 1-year observational study of well-trained sprinters. *European Journal of Sport Science*, *24*(9), 1228-1239. <https://doi.org/10.1002/ejsc.12155>
- Kinoshita, M., Maeo, S., Kobayashi, Y., Eihara, Y., Ono, M., Sato, M., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2023). Triceps surae muscle hypertrophy is greater after standing versus seated calf-raise training. *Frontiers in Physiology*, *14*, 1272106. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1272106>
- Kinoshita, M., Maeo, S., Kobayashi, Y., Eihara, Y., Nishizawa, N., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Wakahara, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2026). Hypertrophic Effects of

- Single- versus Multi-Joint Exercise: A Direct Comparison Between Knee Extension and Leg Press. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003957>
- Kobetic, R., Marsolais, E. B., & Miller, P. C. (1994). Function and strength of electrically stimulated hip flexor muscles in paraplegia. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 2(1), 11-17. <https://doi.org/10.1109/86.296347>
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S., & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 88(3), 811-816. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.811>
- Larsen, S., Sandvik Kristiansen, B., Swinton, P. A., Wolf, M., Bao Fredriksen, A., Nygaard Falch, H., van den Tillaar, R., & Osteras Sandberg, N. (2025). The effects of hip flexion angle on quadriceps femoris muscle hypertrophy in the leg extension exercise. *Journal of Sports Sciences*, 43(2), 210-221. <https://doi.org/10.1080/02640414.2024.2444713>
- Lin, Y. C., & Pandy, M. G. (2022). Predictive simulations of human sprinting: Effects of muscle-tendon properties on sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 54(11), 1961-1972. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002978>
- Maeo, S., Balshaw, T. G., Nin, D. Z., McDermott, E. J., Osborne, T., Cooper, N. B., Massey, G. J., Kong, P. W., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2024). Hamstrings hypertrophy is specific to the training exercise: Nordic hamstring versus lengthened state eccentric training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 56(10), 1893-1905. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003490>
- Maeo, S., Huang, M., Wu, Y., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2021). Greater hamstrings muscle hypertrophy but similar damage protection after training at long versus short muscle lengths. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 53(4), 825-837. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002523>

- Maeo, S., Shan, X., Otsuka, S., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2018a). Neuromuscular adaptations to work-matched maximal eccentric versus concentric training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *50*(8), 1629-1640. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001611>
- Maeo, S., Shan, X., Otsuka, S., Kanehisa, H., & Kawakami, Y. (2018b). Single-joint eccentric knee extension training preferentially trains the rectus femoris within the quadriceps muscles. *Translational Sports Medicine*, *1*(5), 212-220. <https://doi.org/10.1002/tsm2.38>
- Maeo, S., Wu, Y., Huang, M., Sakurai, H., Kusagawa, Y., Sugiyama, T., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2023). Triceps brachii hypertrophy is substantially greater after elbow extension training performed in the overhead versus neutral arm position. *European Journal of Sport Science*, *23*(7), 1240-1250. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2100279>
- Majumdar, A. S., & Robergs, R. A. (2011). The science of speed: determinants of performance in the 100 m sprint. *International Journal of Sports Science & Coaching*, *6*(3), 479-493. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.6.3.479>
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Medicine*, *13*(6), 376-392. <https://doi.org/10.2165/00007256-199213060-00002>
- Mero, A., & Komi, P. V. (1987). Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *19*(3), 266-274.
- Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Haug, B., Johnston, M., Allen, S. J., & Folland, J. P. (2022). The muscle morphology of elite female sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *54*(12), 2138-2148. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002999>
- Miller, R., Balshaw, T. G., Massey, G. J., Maeo, S., Lanza, M. B., Johnston, M., Allen, S.

- J., & Folland, J. P. (2021). The muscle morphology of elite sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *53*(4), 804-815. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002522>
- Miyamoto, N., Wakahara, T., & Kawakami, Y. (2012). Task-dependent inhomogeneous muscle activities within the bi-articular human rectus femoris muscle. *PLOS ONE*, *7*(3), e34269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034269>
- Nuell, S., Illera-Dominguez, V. R., Carmona, G., Alomar, X., Padullés, J. M., Lloret, M., & Cadefau, J. A. (2020). Hypertrophic muscle changes and sprint performance enhancement during a sprint-based training macrocycle in national-level sprinters. *European Journal of Sport Science*, *20*(6), 793-802. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1668063>
- O'Brien, T. D., Reeves, N. D., Baltzopoulos, V., Jones, D. A., & Maganaris, C. N. (2009). Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Experimental Physiology*, *94*(6), 731-738. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2008.045062>
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: A review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *19*(4), 950-958. <https://doi.org/10.1519/R-16874.1>
- Philipp, N., Herda, T., Cabarkapa, D., & Fry, A. (2022). Changes in lower body strength and linear speed performance in NCAA division 2 collegiate football players across three competitive seasons. *Journal of Applied Sports Sciences*, *6*(1), 45-56. <https://doi.org/10.37393/jass.2022.01.4>
- Rasch, P. J., & Morehouse, L. E. (1957). Effect of static and dynamic exercises on muscular strength and hypertrophy. *Journal of Applied Physiology*, *11*(1), 29-34. <https://doi.org/10.1152/jappl.1957.11.1.29>

- Saeterbakken, A. H., Stien, N., Paulsen, G., Behm, D. G., Andersen, V., Solstad, T. E. J., & Prieske, O. (2025). Task specificity of dynamic resistance training and its transferability to non-trained isometric muscle strength: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, *55*(7), 1651–1676. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02225-2>
- Saito, A., & Akima, H. (2015). Neuromuscular activation of the vastus intermedius muscle during isometric hip flexion. *PLOS ONE*, *10*(10), e0141146. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141146>
- Salzman, A., Torburn, L., & Perry, J. (1993). Contribution of rectus femoris and vasti to knee extension. An electromyographic study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (290), 236-243.
- Schache, A. G., Blanch, P. D., Dorn, T. W., Brown, N. A. T., Rosemond, D., & Pandy, M. G. (2011). Effect of running speed on lower limb joint kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *43*(7), 1260-1271. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182084929>
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Strength and hypertrophy adaptations between low- vs. high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(12), 3508-3523. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002200>
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villarreal, E., & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, *44*(12), 1693-1702. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0227-1>
- Shiotani, H., Nishino, Y., Ichinose, H., & Kawakami, Y. (2024). Effects of postural conditions during magnetic resonance imaging on thigh muscle size. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *34*(11), e14760. <https://doi.org/10.1111/sms.14760>

- Takahashi, K., Sado, N., & Wakahara, T. (2024). Unique enlargement of human soleus muscle for bipedalism at the expense of the ease of leg swing. *Journal of Biomechanics*, *174*, 112263. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2024.112263>
- Taylor, R. (1990). Interpretation of the correlation coefficient: A basic review. *Journal of Diagnostic Medical Sonography*, *6*(1), 35-39. <https://doi.org/10.1177/875647939000600106>
- Thorborg, K., Bandholm, T., Zebis, M., Andersen, L. L., Jensen, J., & Hölmich, P. (2016). Large strengthening effect of a hip-flexor training programme: A randomized controlled trial. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *24*(7), 2346–2352. <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3583-y>
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, R., Otsuka, M., Nagano, A., Fujita, S., & Isaka, T. (2018). Hip flexor and knee extensor muscularity are associated with sprint performance in sprint-trained preadolescent boys. *Pediatric Exercise Science*, *30*(1), 115-123. <https://doi.org/10.1123/pes.2016-0226>
- Tottori, N., Suga, T., Miyake, Y., Tsuchikane, R., Tanaka, T., Terada, M., Otsuka, M., Nagano, A., Fujita, S., & Isaka, T. (2021). Trunk and lower limb muscularity in sprinters: What are the specific muscles for superior sprint performance? *BMC Research Notes*, *14*(1), 74. <https://doi.org/10.1186/s13104-021-05487-x>
- Van Hooren, B., Aagaard, P., & Blazevich, A. J. (2024). Optimizing resistance training for sprint and endurance athletes: Balancing positive and negative adaptations. *Sports Medicine*, *54*(12), 3019-3050. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02110-4>
- Watanabe, K., Kouzaki, M., & Moritani, T. (2012). Task-dependent spatial distribution of neural activation pattern in human rectus femoris muscle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *22*(2), 251-258. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.11.004>
- Willer, J., Allen, S. J., Burden, R. J., & Folland, J. P. (2024). How humans run faster:

The neuromechanical contributions of functional muscle groups to running at different speeds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 34(8), e14690.
<https://doi.org/10.1111/sms.14690>

Yeadon, M. R., Kato, T., & Kerwin, D. G. (1999). Measuring running speed using photocells. *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 249-257.
<https://doi.org/10.1080/026404199366154>

Yoshio, M., Murakami, G., Sato, T., Sato, S., & Noriyasu, S. (2002). The function of the psoas major muscle: Passive kinetics and morphological studies using donated cadavers. *Journal of Orthopaedic Science*, 7(2), 199-207.
<https://doi.org/10.1007/s007760200034>

Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and practice of strength training* (2nd ed.). Human Kinetics.

前大純朗, 小林友都, 木下百花, 呉宇航, 小野宗隆, 新井陽豊, 杉山敬, Folland, J., 金久博昭, 伊坂忠夫 (2023 年 12 月). 全可動域または筋伸長位での部分可動域で行う股関節伸展トレーニングの筋肥大および疾走パフォーマンス改善効果 [学会発表]. *NSCA ジャパン S&C カンファレンス 2023*, 千葉, 日本.

謝辞

本修士学位論文は、多くの方々のご指導やご協力があつてこそ成し得たものです。私の研究活動に日々の時間を割いてくださった皆さまに、心より感謝申し上げます。

指導教員である伊坂忠夫教授には、円滑な研究活動の遂行に向けて丁寧かつ手厚いご指導を賜りましたこと、また、私の意見を真摯に受け止め、私の成長につながる助言を日頃よりいただきましたことに、心より深謝いたします。

本修士学位論文の副査である本研究科の塩澤成弘教授と山浦一保教授には、貴重なご指導を賜りましたことに、厚く御礼申し上げます。

研究の立案から遂行、ならびに得られたデータの提示方法から解釈に至るまで、本研究のすべてにおいて絶え間なく熱心かつ丁寧なご指導をいただきました前大純朗助教に、深く感謝申し上げます。研究実施において些細なことでも逐一ご報告やご相談を差し上げた際に、多角的な視点からの確なご助言をいただけたことは非常に有意義であり、柔軟に対応することの大切さを学びました。また、ヒトを対象とする実験において、常に「研究参加者第一」で考え行動することの重要性に気づかせていただけたことは、今後研究を進める上で非常に貴重な学びとなりました。前大純朗助教にサイエンスの楽しさや魅力を教えていただけたことは、感謝の念に堪えません。

鹿屋体育大学の金久博昭学長には、得られたデータの示し方や多様な視点で捉えることの大切さ、文章やスライドの作成方法等について、手厚いご教示を賜りましたことに感謝申し上げます。同研究室の小林友都氏には、とりわけ筋体積解析にかかる MRI 解析のご指導ならびに多大なるご協力をいただきましたこと、心より感謝いたします。本研究の遂行にあたり、快く実験に参加いただいた研究対象者 46 名の皆さま、ならびに研究にご協力いただいた皆さまに、深く感謝いたします。伊坂研究室ラボミーティングでは貴重なご指導やご助言を賜り、議論を重ねてくださった研究室の皆さま、研究活動および事務処理で日頃より大変お世話になりました秘書の奥村悦子氏に深く感謝いたします。さらに、優しく接しご指導してくださった先輩方、そして切磋琢磨し合った同期・後輩の皆さま、お世話になったすべての皆さまに心より感謝いたします。皆さまの心温かく熱い姿勢に触れ、好奇心と責任感を強く抱きながら、全身全霊で本学位論文を執筆することができました。

最後になりますが、私の進学の意向を汲み、常に気にかけて温かく見守り、支えてくれた家族や親戚、友人に改めて感謝いたします。

付録 研究報告一覧

【学会発表】

○西澤尚弥, 前大純朗, 小林友都, 木下百花, 永原悠利, 新井陽豊, 豊田聖理, Folland Jonathan, 金久博昭, 伊坂忠夫 (2025年11月). 股関節屈曲および膝関節伸展トレーニングが筋力および疾走パフォーマンスに及ぼす影響. 第38回日本トレーニング科学会大会, 東京, 日本.

【口頭発表・査読有】

○西澤尚弥, 前大純朗, 小林友都, 木下百花, 永原悠利, 新井陽豊, 豊田聖理, Folland Jonathan, 金久博昭, 伊坂忠夫 (2025年9月). 全力疾走中の各局面における走速度と股関節屈曲および膝関節伸展筋力との関係. 第79回日本体力医学会, 佐賀, 日本.

【口頭発表・査読有】

○西澤尚弥, 前大純朗, 小林友都, 木下百花, 杉山 敬, Folland Jonathan, 金久博昭, 伊坂忠夫 (2024年9月). 膝関節屈曲と股関節伸展のトレーニングによるハムストリングスの筋肥大効果. 第78回日本体力医学会, 佐賀, 日本.

【口頭発表・査読有】

○西澤尚弥, 前大純朗, 金久博昭, 伊坂忠夫 (2024年8月). 座位または伏臥位で行う膝関節屈曲トレーニングによって局所的筋肥大は生じるか? 第32回日本運動生理学会, 石川, 日本.

【口頭発表・査読有】

○Nishizawa N., Maeo S., Kinoshita M., Ichinose H., Eihara Y., Kobayashi Y., Arai H., Toyoda H., Folland J.P., Kanehisa H., & Isaka T. (2025, July). Relationships of sprint performance at different phases with hip flexion and knee extension strength. *30th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Rimini, Italy.

【口頭発表・査読有】