

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17578

研究課題名（和文）筋受動的スティフネス増加のトレーニング法の確立：新たな運動パフォーマンス改善法

研究課題名（英文）Development of a training regimen to increase passive muscle stiffness: A new way to improve athletic performance

研究代表者

安藤 良介（Ando, Ryosuke）

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学・研究部・研究員

研究者番号：10804792

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：ウサギを用いた先行研究では長期間のジャンプトレーニングにより安静時の筋の弾性に増加が見られたが、研究代表者がヒトにおいて実施した研究では再現されなかった。研究代表者は、ジャンプを実施する際の接地時間に着目して、接地時間が短い場合は筋の弾性が高まると仮説を立て実験を行った。よく鍛錬された陸上競技長距離選手の疾走中の接地時間をハイスピードカメラを用いて算出し、腓腹筋内側頭の弾性を超音波エラストグラフィにより計測した。接地時間と筋の弾性には有意な相関関係が見られなかった。月に数百キロを走行する長距離走者において、接地時間が短いほど筋の弾性が高まっているという仮説は支持されなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者らの以前の研究では、筋の弾性と運動パフォーマンスには正の相関関係が見られていることから、筋の弾性を高めるようなトレーニングの開発が望まれている。しかしながら、本研究の結果から、筋の弾性を高めるためのトレーニングにおいて筋への衝撃の大きさは重要な因子ではないと言えるであろう。これは過度な強度のトレーニングを避け、オーバーユースによるスポーツ外傷からアスリートを守ることにつながる。実際、研究代表者の別の先行研究では、8週間のジャンプトレーニングにより筋の弾性はむしろ低下しているため、筋の弾性の変化と運動強度は切り分けて考える必要があることを啓発していく必要があるであろう。

研究成果の概要（英文）：Muscle elasticity was not increased after long-term jumping training in humans in our previous study, although it was increased in rabbits in a previous study. I hypothesized that subjects who jump with a shorter contact time would increase their muscle elasticity after long-term training. Well-trained long-distance runners participated in this study. Contact time was calculated using a high-speed camera during running on a treadmill, and resting muscle elasticity was measured in the medial gastrocnemius and vastus lateralis using ultrasound shear wave elastography. There were no significant correlations between contact time and muscle elasticity in both muscles. Therefore, my hypothesis was not supported in long-distance runners who run several hundred kilometers.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：安静時弾性 超音波エラストグラフィ 腓腹筋内側頭 外側広筋 長距離走者 ランニング 接地時間

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、安静時の骨格筋の弾性 (=硬さ) と疾走速度やジャンプなどの運動パフォーマンスの関連が示されている (Ando et al., Hum Mov Sci 2019, Ando et al., J Electromyogr Kinesiol 2021, Miyamoto et al., Med Sci Sports Exerc 2019)。このような背景から、筋の弾性を増加させるような介入方法が求められており、動物を用いた実験では長期間のジャンプトレーニングにより筋の弾性の増加が報告されている (Ducomps et al., Acta Physiol Scand 2003)。この先行研究では、筋の弾性と筋内のコラーゲン含有量に相関関係が見られており、ジャンプトレーニングによるメカニカルストレスがコラーゲン含有量を増加させ、筋の弾性が増加すると議論されている。そこで研究代表者は、ヒトを対象に8週間のドロップジャンプトレーニングを実施し、腓腹筋内側頭の弾性の変化を検討したが、予想に反して筋の弾性は低下した (若手研究 18K17813, Ando et al., Front Physiol 2021)。

研究代表者のドロップジャンプトレーニングの研究では、実験参加者のドロップジャンプのパフォーマンスが非常に低く、足部の接地時間は長い。本来ドロップジャンプ時の足部の接地時には、腓腹筋内側頭は短縮性収縮あるいは等尺性収縮の振る舞いをするのが示されているが (Ishikawa et al., J Appl Physiol 2005)、研究代表者の先行研究の実験参加者のように長い足部接地時間によるドロップジャンプでは、腓腹筋内側頭が伸張性収縮の振る舞いをしている可能性がある。筋の伸張性収縮は弾性を低下させることが知られているため (Blazevich J Appl Physiol 2019)、ドロップジャンプトレーニングによるメカニカルストレス - コラーゲン含有量由来の弾性の増加に対して、ドロップジャンプ時の伸張性収縮の反復による弾性の低下が上回ったと考えられる。

以上の背景より、疾走時やドロップジャンプ時の足部の接地時間は、筋の弾性の適応に影響を及ぼすという仮説を立てた。

一方、筋の弾性を生体において非侵襲的に計測できる超音波エラストグラフィがスポーツ科学分野に応用されてから15年程度が経過しているが、対象とする筋の中に置かれた関心領域内の弾性を計測する手法が用いられている。当然のことながら、この関心領域内には筋組織だけでなく、脂肪組織や結合組織等も含まれる。とりわけ、脂肪組織は筋組織よりも弾性が低い (Chakouch et al., PloS One 2015)、我々関連の研究者が計測している弾性は、本当に「筋」の弾性の個人差や変化を反映しているのだろうかという問いが生じる。

2. 研究の目的

骨格筋内に置かれた関心領域内から算出された弾性と磁気共鳴画像 (MRI) から求められた筋内脂肪量との関係を検討することを本研究の目的とした (研究 1)。また、疾走時やドロップジャンプトレーニング時の足部接地時間と筋の弾性の関係を明らかにし、筋の弾性を増加させる介入方法を確立するための知見を得ることを本研究の目的とした (研究 2)。

3. 研究の方法

(研究 1)

27名の若齢男女が実験に参加した。MRIを用いて下腿部の連続横断画像を撮像した。下腿長の30%近位に相当する画像において、特殊な解析方法を用いて腓腹筋内側頭を収縮組織 (筋) と非収縮組織 (脂肪、結合組織等) に分け、それぞれの面積を求めた。また、足関節底屈15°、中間位、背屈15°において、超音波エラストグラフィを用いて剛性率 (kPa、弾性の指標) を計測した。それぞれの関節角度で計測した弾性と非収縮組織面積の相関関係を検討した。有意水準は5%以下とした。

(研究 2)

よく鍛錬された陸上競技男子長距離選手12名 (5,000 mの自己記録が15分以内) が実験に参加した。超音波エラストグラフィを用いて、足関節中間位における腓腹筋内側頭のせん断波速度 (m/s、弾性の指標) を計測した (図1)。その後、トレッドミルにおいて250 m/min、290 m/min、330 m/minの速度において疾走中の足部を矢状面からハイスピードカメラで撮影した。動画から足部の接地時間を算出した。せん断波速度と各走速度における足部接地時間の相関関係を検討した。有意水準は5%以下とした。

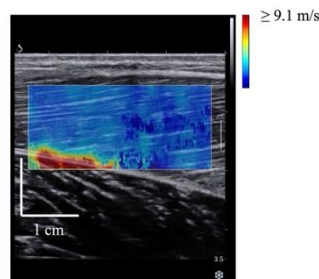


図1. 超音波エラストグラフィ

4. 研究成果

(研究 1)

足関節底屈位及び中間位では、腓腹筋内側頭の剛性率と非収縮組織面積の間に有意な相関関係は見られなかった (図2)。一方、足関節背屈位では、剛性率と非収縮組織面積の間に有意な相関関係が見られた。以上の結果から、筋が伸長される肢位において超音波エラストグラフィを用いて測定される筋の弾性には、筋内に占める非収縮組織 (脂肪や結合組織等) 量が影響を及ぼ

すことが示唆された。したがって、例えば若齢者と高齢者の筋の弾性を比較するような研究においては、高齢者は若齢者と比較して筋内に蓄積する脂肪量が多いことが示されている (Pinel et al., Exp Gerontol 2021) ため、結果の解釈には注意を払う必要があるだろう。

(研究2)

腓腹筋内側頭のせん断波速度と各走速度における疾走中の足部接地時間には有意な相関関係は見られなかった ($r = -0.346@250 \text{ m/min}$, $0.025@290 \text{ m/min}$, $-0.172@330 \text{ m/min}$, $P > 0.05$)。陸上競技長距離選手は、月間の走行距離が数百キロメートルにも及ぶため、もし疾走時の足部接地時間が筋の弾性の適応に影響を及ぼすのであれば、足部接地時間が長い選手ほど弾性が低いと推測していたが、それを支持するような結果は得られなかった。したがって、疾走時やジャンプ時の足部接地時間は、筋の弾性の適応に影響を及ぼさないことが示唆された。

<引用文献>

Ando R, Suzuki Y (2019) Positive relationship between passive muscle stiffness and rapid force production. *Human Movement Science* 66: 285–291

Ando R et al. (2021) Relationship between resting medial gastrocnemius stiffness and drop jump performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 58: 102549

Ando R et al. (2021) Relationship between drop jump training-induced changes in passive plantar flexor stiffness and explosive performance. *Frontiers in Physiology* 12: 777268

Blazevich AJ (2019) Adaptations in the passive mechanical properties of skeletal muscle to altered patterns of use. *Journal of Applied Physiology* 126(5): 1483–1491

Chakouch MT et al. (2015) Quantifying the elastic property of nine thigh muscles using magnetic resonance elastography. *Plos One* 10(9): e0138873

Ducomps C (2003) Effects of jump training on passive mechanical stress and stiffness in rabbit skeletal muscle: role of collagen. *Acta Physiologica Scandinavica* 178: 215–224

Ishikawa M et al., Interaction between fascicle and tendinous tissues in short-contact stretch-shortening cycle exercise with varying eccentric intensities. *Journal of Applied Physiology* 99(1): 217–223

Miyamoto N et al. (2019) Muscle stiffness of the vastus lateralis in sprinters and long-distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 51(10): 2080–2087

Pinel S et al., (2021) Quantity versus quality: Age-related differences in muscle volume, intramuscular fat, and mechanical properties in the triceps surae. *Experimental Gerontology* 156: 111594

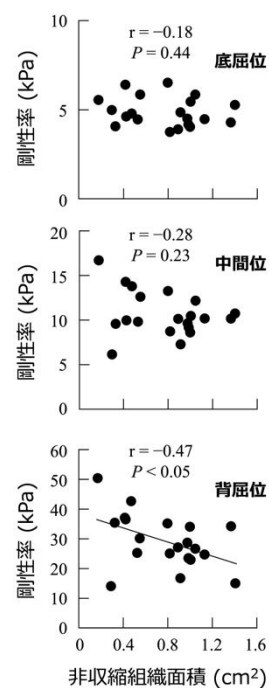


図2. 剛性率と非収縮組織面積の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshiko Akito, Ando Ryosuke, Akima Hiroshi	4. 巻 123
2. 論文標題 Passive muscle stiffness is correlated with the intramuscular adipose tissue in young individuals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 1081 ~ 1090
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-023-05137-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ando Ryosuke	4. 巻 早期公開
2. 論文標題 Association of the rate of torque development and joint angle with passive muscle stiffness	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-024-05483-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 安藤良介
2. 発表標題 骨格筋の弾性は運動機能を推定する因子になり得るか？
3. 学会等名 第4回日本運動器理学療法超音波フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安藤良介
2. 発表標題 安静時の筋スティフネスとRTDの関係は筋長に依存する
3. 学会等名 第36回日本トレーニング科学会大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------