

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：82632

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23312

研究課題名（和文）筋肥大応答のバラツキに関連する因子の探索：たんぱく質摂取量に着目して

研究課題名（英文）Investigating factors associated with variation of muscle hypertrophy response: focusing on protein intake

研究代表者

安田 純 (Yasuda, Jun)

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・スポーツメディカルセンター・契約研究員

研究者番号：90878224

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、成人男女を対象にレジスタンストレーニング（RT）を実施し、筋肥大応答と朝食でのたんぱく質摂取量の関係性を調査した。対象は健康な成人男女31名（女性45%）とした。調査票を用い対象者特性、栄養素等摂取量、ウェアラブルデバイスを用い睡眠・身体活動状況を評価した。上腕二頭筋のRTを週2回・12週間、最大挙上重量の70%強度で実施した。筋量指標はMRI法を用いて上腕二頭筋の筋断面積を評価した。介入12週後、筋肥大率は上腕二頭筋で $14.2 \pm 8.3\%$ であった。重回帰分析を用い、交絡因子の影響を調整した結果、体重1kg当たりの朝食たんぱく質摂取量のみが筋肥大率と有意に関連が認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、自由生活下における筋肥大の説明因子およびその貢献度が明らかになることで、今後の筋肥大に対する運動や栄養介入の効果の正確性および問題抽出に寄与できる。そして、本研究は健康維持・向上に重要な筋肥大および汎用性の高い「食事」に着目している点から、幅広い集団に対して貢献可能なエビデンスになると期待される。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the relationship between muscle hypertrophy response and protein intake at breakfast in adult men and women undergoing resistance training (RT). The subjects were 31 healthy adult men and women (45% female). Subject characteristics, nutrient intake, and sleep and physical activity status were assessed using a wearable device. Biceps RT was performed twice a week for 12 weeks at 70% of maximal lifting weight. Muscle mass index was assessed as muscle cross-sectional area of the biceps brachii muscle using MRI technique. After 12 weeks of intervention, muscle hypertrophy was $14.2 \pm 8.3\%$ in the biceps brachii. Using multiple regression analysis and adjusting for the effects of confounding factors, only breakfast protein intake per kg body weight was significantly associated with muscle hypertrophy rate.

研究分野：栄養学

キーワード：たんぱく質 筋肉 朝食 レジスタンストレーニング

1. 研究開始当初の背景

筋量が多いと、サルコペニア (Cruz-Jentoft et al. *Age Ageing*. 2019) や心臓血管疾患 (Tyrovolas et al. *J Epidemiol Community Health*. 2020) の発症リスク低下に繋がることが報告されている。加えて、筋量の増加 (筋肥大) は筋力の増加にも寄与することが確認されている (Erskine et al. *Eur J Appl Physiol*. 2014)。これらのことから、筋肥大は健康増進だけでなく、身体的にアクティブな集団 (アスリートや運動愛好家など) の競技力向上にも重要であり、効果的な筋肥大戦略に関するエビデンスは社会的にも意義深いと考えられる。しかしながら、レジスタンストレーニング (RT) は筋肥大に有効であるが、RT の筋肥大応答には大きな個人差 (データのバラツキ) があることも報告されている (Ahtiainen et al. *Age (Dordr)*. 2016) (図 1-A)。つまり、RT を実施しても筋肥大が起きない者がいるということであり、多くの介入研究で結果が一貫しないことと関連していた可能性がある (Tagawa et al. *Nutr Rev*. 2021)。その中で、申請者は朝食でたんぱく質を十分確保することが筋肥大に重要であることを報告した (Yasuda et al. *J Nutr*. 2020)。さらに、朝食でのたんぱく質摂取量は、3食の中で最もバラツキが大きいことも明らかにした (Yasuda et al. *Nutrients*. 2019)。これらのことから、朝食でのたんぱく質摂取量のバラツキは、筋肥大応答のバラツキの説明因子である可能性が考えられる。(図 1-B)。

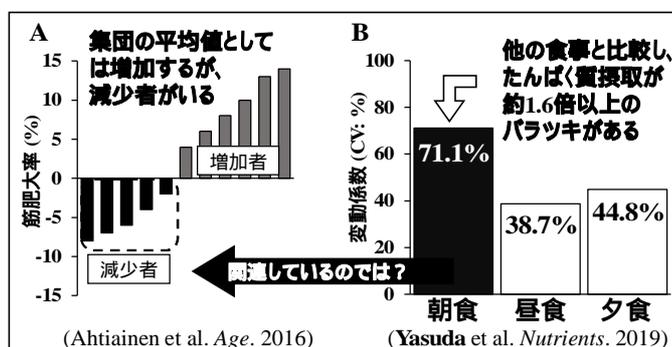


図 1. 筋肥大応答 (A) とたんぱく質摂取量のバラツキ (B)

2. 研究の目的

本研究では、成人男女を対象に RT を実施し、筋肥大応答と自由摂取である朝食でのたんぱく質摂取量のバラツキの関係性を調査することとした。同時に、筋肥大に関連し得る因子 (飲酒 (Parr et al. *PLoS One*. 2014)、睡眠 (Saner et al. *J Physiol*. 2020)、身体活動状況 (Zanovec et al. *Int J Exerc Sci*. 2009)、血液指標 (Cornish et al. *Eur J Appl Physiol*. 2020)、総たんぱく質摂取量 (Tagawa et al. *Nutr Rev*. 2021)) を評価し、解析に考慮することとする。

3. 研究の方法

➤ 本研究の流れ

対象者に測定・評価および 12 週間の RT 介入を実施する。介入終了後、交絡因子 (飲酒、睡眠、身体活動状況、血液指標、総たんぱく質摂取量) を考慮し、筋量の増加率に対する朝食でのたんぱく質摂取量の貢献度を分析する。

➤ 実験プロトコル

実験プロトコルを図 2 に示す。対象者特性は実験開始前に調査し、栄養素等摂取量、睡眠・身体活動状況、最大挙上重量 (1-RM)、身体組成の評価は 3 時点 (実験開始前、6 週後、12 週後) で実施する。血液指標は実験開始前および 12 週後の 2 時点で評価する。RT 介入の期間は 12 週間とし、週 2 回の頻度で強度を 1-RM の 70% (70%RM) で実施する。もし、12

週の間に計24回の筋トレ実施が不可能になった場合、その時点で実験への参加を中止する。

なお、栄養素等摂取量、睡眠・身体活動状況は事前に実施したものを提出、その他の測定は来館時に実施する。来館時の測定前日は血液指標および身体組成評価、1-RM 測定の精度を確保するため、激しい運動を控えてもらう。また、10 時間以上の絶食時間を確保するため22時までに飲食を終了、以後採血が終了するまで水のみ摂取可とする。身体組成評価は、対象者のスケジュールに合わせ、3 時点（実験開始前、6 週後、12 週後）の測定タイミングを統一する（午前・午後は問わない）。1-RM 測定は、日常的に RT を実施する時間帯に合わせて夕方に行うため、採血後の飲食は自由とするが、測定 2 時間前より 1-RM パフォーマンスに影響するカフェイン（Grgic et al. *Sports Med.* 2019）が入った食品の飲食は禁止とする。

測定・評価項目	実験開始前	6週後	12週後
		RT介入（週2回・12週間・70%RM）	
対象者特性		-	-
栄養素等摂取量			
睡眠・身体活動状況			
最大挙上重量（1-RM）			
身体組成			
血液指標		-	

図 2. 実験プロトコル

➤ 測定・評価項目

対象者特性

実験開始前にアンケートを用い、年齢、現病歴・既往歴、居住形態、飲酒習慣、朝食摂取頻度に関する調査を行う。実施責任者が内容及び記入漏れ等の確認を行う。

栄養素等摂取量

実験開始前、6 週後、12 週後の各時点の前 3 日間（平日 2 日、休日 1 日）の栄養素等摂取量について食事記録法を用い評価する（計 9 日間分）。なお、食事記録の精度を担保するため、対象者には食事記録に記載する全ての飲食物をカメラ付き携帯電話にて撮影し、実施責任者に提出するよう依頼する。食事記録の解析は、研究メンバーとは独立した管理栄養士に委託し、対象者に対する先入観を除去した状態で実施する。なお、食事記録解析の監督方法として、委託する管理栄養士には、匿名化（ID 化）したデータを専用のパソコン内でのみ作業を実施してもらう。実施責任者は、該当管理栄養士の作業日に当日の処理件数、共有事項の確認を行う。

睡眠・身体活動状況

実験開始前、6 週後、12 週後の各時点の前 7 日間でウェアラブル活動量計（Fitbit charge）を腕に装着し、睡眠・身体活動状況を評価する。計 7 日間の測定期間中はウェアラブル活動量計を毎日 24 時間装着してもらう。なお、本研究で用いるウェアラブル活動量計は充電をしなくても 10 日間は機能が持続する機器であるが、対象者には充電器も貸与し、電池がなくなった場合は対象者自身で充電を行ってもらう。

身体組成

実験開始前、6 週後、12 週後の 3 時点で身長計を用い身長を測定し、身長データを基に、生体インピーダンス法（InBody）を用いて、体脂肪量、除脂肪量、体重を評価する。また、磁気共鳴画像法（Magnetic Resonance Imaging: MRI 法）を用いて、RT 介入のターゲット筋（上腕二頭筋）の筋断面積を評価する

最大挙上重量 (1-RM)

実験開始前、6 週後、12 週後の 3 時点で 1-RM 測定を実施する。アームカールをダンベルを用いて測定する。測定手順は全米ストレングス&コンディショニング協会 (NSCA) の推奨方法に基づき、安全のため NSCA 認定トレーナーが実施する。測定手順を以下に示す。なお、運動中は検者および対象者はマスクを着用する。

➤ RT プログラム

本研究では、1-RM 測定で実施した種目 (ダンベルアームカール) において、週 2 回・12 週間の RT 介入を行う。先行研究に基づき (Yasuda et al. *J Nutr.* 2020)、順化期間として最初の 1 週間は 50%RM 強度で実施し、次の 1 週間では 60%RM、残り 10 週間は目標強度 (70%RM) で実施する。各回、それぞれのマシンで 10 回×5 セットを基本とする (Maeo et al. *Med Sci Sports Exerc.* 2021)。安全確保のため、NSCA 認定トレーナーが全ての回における筋トレプログラムの進行・監視を行い、終了後の清掃・消毒を実施する。なお、運動中は検者および対象者はマスクを着用する。

➤ 統計解析

値は平均値 ± 標準偏差で示す。実験前後の比較には対応のある t 検定を用いた。重回帰分析を用い、筋肥大に対する各因子の貢献度を検討した。統計解析は RStudio (R 4.1.3) を用い実施した。

4. 研究成果

本研究には男性 17 名、女性 14 名が参加した。対象者の特性は以下の通りである：年齢 30.7 ± 4.7 歳、身長 167.1 ± 7.2 cm、体重 61.6 ± 10.3 kg、睡眠時間 6.0 ± 0.6 時間、エネルギー消費量 2351 ± 500 kcal、上腕二頭筋の筋肥大率 14.2 ± 8.3%。対象者の実験前および実験中の各食事でのたんぱく質摂取量を表 1 に示す。各食事でのたんぱく質摂取量は実験期間を通して有意な変化は確認されなかった。

表 1. 各食事でのたんぱく質摂取量 (g/kg 体重)

	実験前	実験中	P value
朝食	0.18 ± 0.12	0.16 ± 0.11	0.107
昼食	0.41 ± 0.18	0.38 ± 0.14	0.437
夕食	0.43 ± 0.17	0.43 ± 0.14	0.877
合計	1.09 ± 0.27	1.00 ± 0.26	0.081

値は平均値 ± 標準偏差で示す。

重回帰分析の結果を表 2 に示す。年齢と朝食でのたんぱく質摂取量 (実験中) に有意な関連が確認された。一方で、朝食以外のたんぱく質摂取量と筋肥大率の間には有意な関連は確認されなかった。本研究結果から自由生活環境下において、筋肥大応答に関連する因子は年齢および朝食でのたんぱく質摂取量であることが示唆される。

表 2. 筋肥大応答に対する各因子の貢献度

	Estimate	95%信頼区間		P value
		Lower	Upper	
年齢 (歳)	-0.94	-1.55	-0.34	0.004
性別 (1: 男, 2: 女)	-5.93	-15.55	3.69	0.216
睡眠時間 (時間)	-0.02	-0.10	0.05	0.524
エネルギー消費量 (kcal)	0.00	-0.01	0.01	0.875
朝食でのたんぱく質摂取量 (g/kg体重)	40.61	16.20	65.03	0.002

<引用文献>

1. Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., & Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2 (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and ageing*, 48(1), 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
2. Tyrovolas, S., Panagiotakos, D., Georgousopoulou, E., Chrysohoou, C., Tousoulis, D., Haro, J. M., & Pitsavos, C. (2020). Skeletal muscle mass in relation to 10 year cardiovascular disease incidence among middle aged and older adults: the ATTICA study. *Journal of epidemiology and community health*, 74(1), 26-31. <https://doi.org/10.1136/jech-2019-212268>
3. Erskine, R. M., Fletcher, G., & Folland, J. P. (2014). The contribution of muscle hypertrophy to strength changes following resistance training. *European journal of applied physiology*, 114(6), 1239-1249. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2855-4>
4. Ahtiainen, J. P., Walker, S., Peltonen, H., Holviala, J., Sillanpää, E., Karavirta, L., Sallinen, J., Mikkola, J., Valkeinen, H., Mero, A., Hulmi, J. J., & Häkkinen, K. (2016). Heterogeneity in resistance training-induced muscle strength and mass responses in men and women of different ages. *Age (Dordrecht, Netherlands)*, 38(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s11357-015-9870-1>
5. Tagawa R, Watanabe D, Ito K, Ueda K, Nakayama K, Sanbongi C, Miyachi M. Dose-response relationship between protein intake and muscle mass increase: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Rev*. 2020 Nov 4;79(1):66-75. doi: 10.1093/nutrit/nuaa104. Epub ahead of print. PMID: 33300582; PMCID: PMC7727026.
6. Yasuda, J., Tomita, T., Arimitsu, T., & Fujita, S. (2020). Evenly Distributed Protein Intake over 3 Meals Augments Resistance Exercise-Induced Muscle Hypertrophy in Healthy Young Men. *The Journal of nutrition*, 150(7), 1845-1851. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa101>
7. Yasuda, J., Asako, M., Arimitsu, T., & Fujita, S. (2019). Association of Protein Intake in Three Meals with Muscle Mass in Healthy Young Subjects: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*, 11(3), 612. <https://doi.org/10.3390/nu11030612>
8. Parr, E. B., Camera, D. M., Areta, J. L., Burke, L. M., Phillips, S. M., Hawley, J. A., & Coffey, V. G. (2014). Alcohol ingestion impairs maximal post-exercise rates of myofibrillar protein synthesis following a single bout of concurrent training. *PloS one*, 9(2), e88384. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088384>
9. Saner, N. J., Lee, M. J., Pitchford, N. W., Kuang, J., Roach, G. D., Garnham, A., Stokes, T., Phillips, S. M., Bishop, D. J., & Bartlett, J. D. (2020). The effect of sleep restriction, with or without high-intensity interval exercise, on myofibrillar protein synthesis in healthy young men. *The Journal of physiology*, 598(8), 1523-1536. <https://doi.org/10.1113/JP278828>
10. Zanovec M, Lakkakula AP, Johnson LG, Turri G. Physical Activity is Associated with Percent Body Fat and Body Composition but not Body Mass Index in White and Black College Students. *Int J Exerc Sci*. 2009 Jul 15;2(3):175-185. PMID: 27182315; PMCID: PMC4739486.
11. Grgic, J., Mikulic, P., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2019). The Influence of Caffeine Supplementation on Resistance Exercise: A Review. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(1), 17-30. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0997-Y>
12. 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 and science in sports and exercise*, 53(4), 825-837. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002523>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------