

論文の内容の要旨

論文題目

Effects of periodic and continued resistance training on muscle size and function

(断続的/継続的レジスタンストレーニングが筋サイズと筋機能に及ぼす影響)

氏 名 小笠原 理紀

【緒言】

骨格筋量を増加させるために、アメリカスポーツ医学会などの健康やスポーツにかかわる団体では週 2・3 回の頻度でのレジスタンストレーニングの実施を推奨している。また、トレーニング効果を維持するためには少なくとも週 1 回程度の頻度でトレーニングを実施しなくてはならないことが知られている。したがって、トレーニング効果を維持もしくは増加させるためには週 1 回程度以上のトレーニングを“継続”して実施しなければならない。それ以下の頻度でのトレーニング、究極的にはトレーニングの中止（脱トレーニング）は時間とともに脱適応を進行させてしまう。しかし、レジスタンストレーニングによる筋肥大の程度はトレーニング開始から 6~8 週間程度までの初期応答が大きく、その後はトレーニングの継続とともに徐々に低下してくることが知られている。一方、脱トレーニングは確かに時間依存的に脱適応を引き起こすが、比較的長期間の脱トレーニング後にトレーニングを再開（再トレーニング）した場合には初期応答に匹敵する筋肥大が観察されたことも報告されている。この結果は、脱トレーニングの後にはレジスタンストレーニングによる骨格筋の応答性がトレーニング開始初期のレベルまで回復することを示唆する。もし骨格筋サイズへの影響の少ない短期間の脱トレーニング後の再トレーニング時に長期間の脱トレーニング後と同様な変化が観察されるのであれば、脱トレーニングは単にトレーニング効果を逆戻りさせるネガティブな側面を持ったマイナス要因であるのではなく、むしろトレーニングの継続による骨格筋適応の停滞を避け、効果的に骨格筋量を増加させていくための一つの

有効な手段となることが期待される。そこで本研究では、短期間の脱トレーニングが筋サイズ・筋機能に及ぼす影響とその後の再トレーニング時の骨格筋の応答性に及ぼす影響について明らかにすることを目的として、ヒトを対象とした実験を行った。さらに、動物実験から再トレーニング時の骨格筋適応の分子メカニズムについて検討を行った。

【研究 1】断続的／継続的レジスタンストレーニングによる筋サイズ・筋機能の経時変化

これまで、比較的長期間の脱トレーニング後の再トレーニング時に初期応答に匹敵する筋サイズの増加が観察されたことが報告されている。しかし、脱トレーニングの期間が長期間だったこともあり、筋サイズは相当に低下していたため、再トレーニング時の筋肥大と脱トレーニングの期間がどのように関係するかは不明であった。また、短期間の脱トレーニングと再トレーニングを繰り返した“断続的な”トレーニングの効果は不明であった。

そこで、レジスタンストレーニング習慣のない若年男性に対して最も筋肥大反応が大きいことが予想される 6 週間のレジスタンストレーニングの後に短期間（3 週間）の脱トレーニングと 6 週間の再トレーニングをそれぞれ 2 回繰り返す計 24 週間のトレーニングプログラムを実施した。また、別のレジスタンストレーニング習慣のない若年男性に対して 24 週間継続して漸進的レジスタンストレーニング（“継続的”トレーニング）を実施した。両群ともトレーニング内容は同一であり、最大筋力の 75% 負荷強度でのベンチプレス運動を 1 セットあたり 10 回、2~3 分間の休憩を挟んで 3 セット行った。その結果、レジスタンストレーニングを継続した場合には筋サイズは徐々に増加したものの、筋肥大率はレジスタンストレーニング開始初期に大きく、その後は徐々に小さくなった。一方、断続的トレーニング群では短期間の脱トレーニング時に有意ではないが筋サイズがわずかに低下したものの、再トレーニング時には繰り返し初期応答に匹敵する筋肥大が観察された。最終的に、断続的なトレーニングは実質的なトレーニング従事期間が短かったにもかかわらず、継続的トレーニング群と同等な筋サイズの増加が認められた（図 1、2）。また、筋力（1-RM と MVC）や力の立ち上がり速度などの最終的な向上率も両トレーニングプログラム間で同等であり、断続的レジスタンストレーニングの効果は骨格筋の機能面での改善も伴ったものであった。

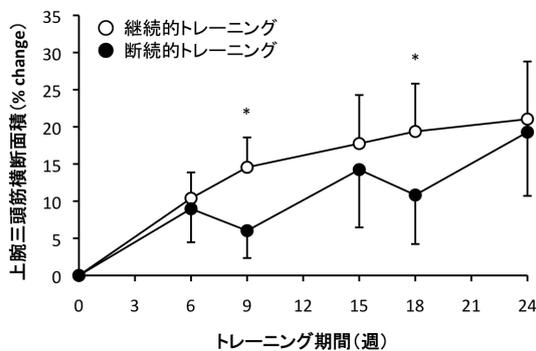


図1 筋横断面積の経時変化
トレーニング前からの筋横断面積の変化率は、2回の脱トレーニング後に継続的トレーニング群に比べ有意に小さかったが (P<0.05)、24週間後の最終的な変化率に有意な差は認められなかった。

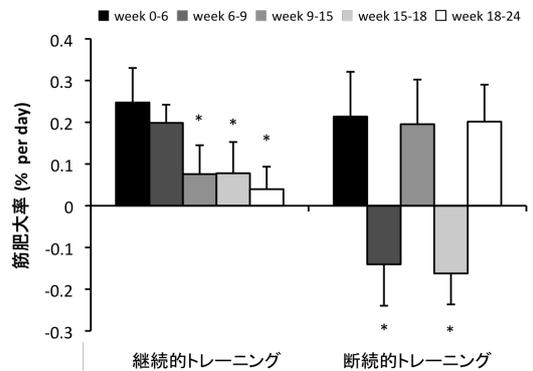


図2 1日あたりの筋肥大率
トレーニングを継続した場合にはトレーニング開始から6週間の筋肥大率が大きく、9週以降の筋肥大率はトレーニング開始から6週の筋肥大率に比べ有意に小さかった (P<0.05)。一方、2回の再トレーニング時にはトレーニング開始から6週の初期応答と同等な筋肥大率が観察された。

【研究 2】レジスタンストレーニングの継続および脱トレーニングが骨格筋サイズの調節に関与する細胞内シグナル伝達系に及ぼす影響

研究 1 において、レジスタンストレーニングの継続に伴い筋肥大反応が停滞したのに対し、脱トレーニング後の再トレーニング時には再び初期応答に匹敵する筋肥大反応が観察された。しかし、その分子レベルでのメカニズムは不明であった。

そこで、動物レジスタンストレーニングモデル（被験動物は SD ラット）を用いて、レジスタンストレーニングの継続および脱トレーニングによって、骨格筋サイズの調節に関与する細胞内シグナル伝達物質の一過性レジスタンス運動に対する応答の変化について検討した。その結果、筋タンパク質の合成に関与し、筋肥大に貢献すると考えられる ribosomal protein S6 (rpS6) の一過性レジスタンス運動に対するリン酸化反応が、初回運動時には運動終了から 24 時間後に増加が観察されていたが、12 回もしくは 18 回 1 日おきにトレーニングを継続すると増加が観察されなくなった。一方、12 回のトレーニングの後に 12 日間の脱トレーニングを行った場合、運動を行うと（再トレーニング時に対応）、再び rpS6 のリン酸化の増加が観察された。mTOR シグナル経路の下流にある p70S6K と 4E-BP1 の一過性反応においては、トレーニングの継続や脱トレーニングに伴う明らかな変化は観察されなかったが、rpS6 と同様な傾向が ERK シグナル経路の下流にある p90RSK のリン酸化反応においても観察された。

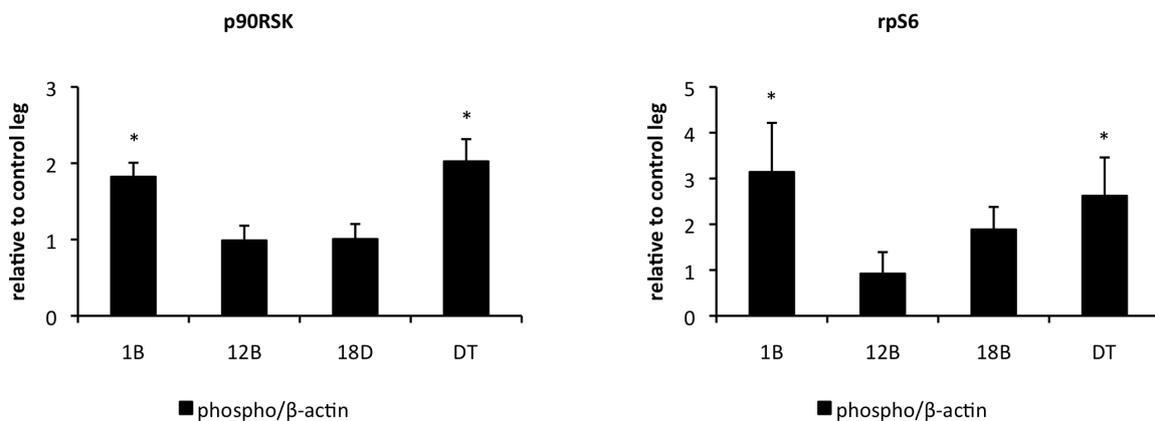


図3 p90RSKとrpS6の急性リン酸化反応の経時変化

初回運動時(1B)に観察されたrpS6とp90RSKのリン酸化の増加は、トレーニングの継続に伴い観察されなくなった(12Bと18B)。しかし、脱トレーニング後にはリン酸化の増加が再び観察された(DT)。

【まとめ】

本研究により、(1) レジスタンストレーニングの継続によって筋肥大反応が停滞してくる一方で、筋サイズへの影響が少ない短期間の脱トレーニング後の再トレーニング時には初期応答に匹敵する大きな筋肥大が再び起こること、(2) そのような変化の一要因として、筋サイズの調節に関与する細胞内シグナル伝達物質のレジスタンス運動に対する感受性の変化が関与していること、(3) レジスタンストレーニングを短期間の脱トレーニング期間を挟んで断続的に行い、再トレーニング時のトレーニング効果を繰り返し利用することで、最も一般的に行われている漸進的なレ

ジスタンストレーニングを継続するよりも少ないトレーニング総時間および総容量で同等の筋肥大・筋機能改善が可能であること、が示された。

これらの結果は、脱トレーニングは単にトレーニング効果を逆戻りさせるネガティブな側面を持ったマイナス要因であるというのではなく、トレーニングの継続による骨格筋適応の停滞を避け、効果的に骨格筋量を増加させていくための一つの有効な手段となりうることを示唆する。