

血流制限を併用したレジスタンストレーニング： 低酸素環境との比較および相乗効果の検討

北 翔 大 学 沖 田 孝 一
(共同研究者) 北海道教育大学 森 田 憲 輝

Blood Flow Restriction Exercise : Comparison with Hypoxic Training and Examination of Synergistic Effect

by

Koichi Okita

Department of Sport Education, Hokusho University

Noriteru Morita

Sports Education, Hokkaido University of Education

ABSTRACT

It has been clarified that the combined use of blood flow restriction enhances the training load on skeletal muscle and provides additive hypertrophy and strength gain. Similarly, it has also been reported that the muscle hypertrophy could be enhanced in training in a hypoxic environment. In the present study, in order to compare the effects of exercise with blood flow restriction and exercise under hypoxia, and to examine the synergistic effect, resistance training in the right calf using an ultra-low intensity load was performed for 4 weeks using 4 conditions of control, blood flow restriction, hypoxia, and a combination of both, and the difference in their effects was examined by the response of growth hormone and changes in muscle strength and muscle mass. The growth hormone response before and after a single exercise before the training showed an increasing tendency but was not statistically significant, and after the training period, it tended to become even blunt, and there was no difference among the conditions. On the other hand, muscle strength increased significantly after training, and no difference

among the conditions was observed. The results shows that there is no additional effect due to blood flow restriction or hypoxic environment, and combination of both in the training results.

要 旨

血流制限を併用することにより、骨格筋へのトレーニング負荷が増強することが明らかにされているが、低酸素環境下のトレーニングにおいても筋肥大効果が増強することも報告されている。本研究では、血流制限を併用した運動と低酸素下の運動の効果を比較し、さらに相乗効果を調べるため、超低強度負荷を用いた右下腿三頭筋におけるレジスタンストレーニングを、コントロール、血流制限、低酸素および両者併用の4条件を用いて4週間施行し、それらの効果の差異について、成長ホルモンの応答および筋力・筋量の変化から検討した。トレーニング期間前における単回の運動前後の成長ホルモンの応答には、増加傾向は見られたが有意ではなく、トレーニング後には、さらに鈍くなる傾向が認められ、条件間の差はみられなかった。一方、筋力は、トレーニング後に顕著に増加し、条件間の差異は認められなかった。本研究プロトコルでは、トレーニング効果において、血流制限や低酸素環境の上乗せ効果および併用効果がないことが示された。

緒 言

血流制限による骨格筋の虚血と運動の併用により、トレーニング効果が増強することが多くの研究で報告され、競技トレーニングやリハビリテーションに幅広く応用されている^{1,2)}。我々も先行研究において、基礎的及び臨床的検討から、効果のメカニズム³⁾および至適プロトコルについての提言してきた⁴⁻⁷⁾。最近では、複数セットのレジスタンストレーニングにおいて、運動時のみならず、非運動時の血流制限も有効であることを報告した⁸⁾。

一方、カフを用いた局所的な虚血ではなく、低酸素環境におけるトレーニングにおいても、筋肥大効果が増強することが報告されている⁹⁾。また、両トレーニング方法を用いた効果のメカニズムとして、血流制限および低酸素環境のいずれにおいても成長ホルモン分泌が促進することが示唆されている¹⁰⁻¹³⁾。血流制限および低酸素環境におけるトレーニングの研究は、それぞれ複数みられるが、それらを比較あるいは併用した相乗効果を検討した報告はこれまでにみられない。

本研究では、血流制限、低酸素環境および併用における単回の低強度レジスタンス運動における成長ホルモンを含めた内分泌的応答を検討し、また、それぞれの条件における4週間のトレーニング効果およびで内分泌的応答の変化について調べることを目的とした。

1. 方 法

被験者は、研究への参加を希望した健常男子大学生 (21 ± 1才) とし、研究に先立ち、口頭および書類による実験内容の説明を行い、書面による研究参加への同意を得た。なお、本調査研究は、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (平成26年文部科学省・厚生労働省告示第3号)」、「ヘルシンキ宣言」を遵守し、北翔大学研究倫理委員会の承認を受けて実施された。

被験者34名を常酸素(コントロール)群(9名)、常酸素血流制限群(9名)、低酸素群(8名)、低酸素血流制限併用群(8名)の4群に無作為に割付け、各条件下で低強度レジスタンス運動を行った。常



図1 低酸素室(左)と研究用に作成した 仰臥位足関節底屈運動装置(右)
大腿部に空気圧式カフを巻き, 収縮期血圧の1.3倍で血流制限を行なった。

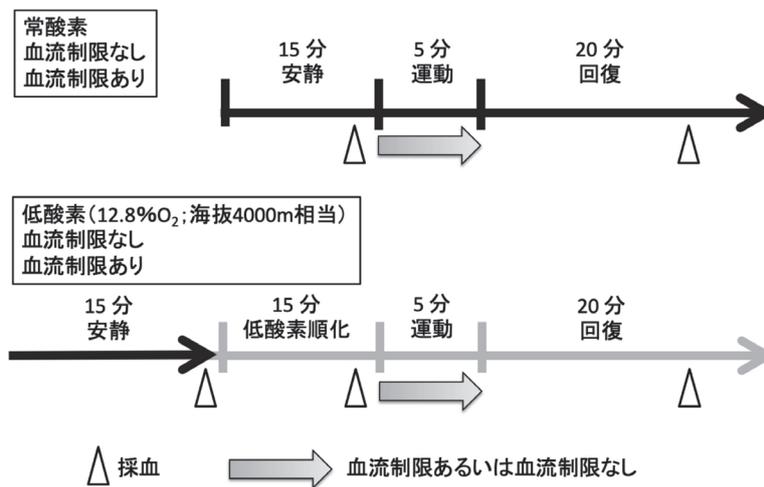


図2 採血に際しての運動プロトコールとタイミング

酸素環境の酸素濃度は約20.8%, 低酸素室(図1左)における低酸素環境は約12.8%とした。運動方法は, 研究用に作成したオリジナル装置を用い(図1右), 仰臥位右足関節底屈運動とした。同運動における最大挙上重量を測定し, 運動強度は, その20%とした。図2に成長ホルモンの測定方法を示した。採血に際しての運動プロトコールは, 同運動を30回/分, 5分間継続し, 前後にて正中静脈より血液検体を採取した。採血はトレーニング開始前と完了後20分に施行した。

トレーニング方法は, 前述の最大挙上重量の20%強度の右足関節底屈運動を30回/分で2分間

を1セット, 1分間の休息をはさみ2セットとした。血流制限は, 運動肢の大腿部にカフを巻き, 座位安静時の上腕収縮期血圧の1.3倍の圧で施行した。このトレーニングを1日2回, 週3日(隔日)とし, 4週間継続した。トレーニング前後の筋力の評価には, 右足関節底屈運動における最大挙上重量を, 筋肥大の評価には, 右下腿周囲径を用いた。

各4群における効果の差異は, 反復測定分散分析およびpost-hoc testにて検定した(SPSS, SAS institute Japan)。各データは, 平均±標準偏差にて表示し, 各グラフにおけるエラーバーも標準偏差とし, 統計学的検定の有意水準は5%とした。

2. 結果

全被験者は特記すべき支障なく4週間のトレーニングを完了できた。4週間のトレーニング前後における安静時の血中成長ホルモン濃度を図3に示した。トレーニング前および後においても個体差・バラツキが大きく、条件間の有意差は認められなかった。各条件群のトレーニング前後においても、トレーニング後において平均値が高いように見えるが有意差は認められなかった。

図4に4週間のトレーニング前後における単回

の運動前後の成長ホルモン応答の変化を示した。トレーニング前においては、各4条件とも単回運動後に成長ホルモンの増加傾向が認められ、条件間の差異はみられなかった。4週間のトレーニング後には、各4条件とも、その反応は減衰する傾向がみられた。

図5に4週間のトレーニング前後における最大挙上重量の変化を示した。いずれの条件においても最大挙上重量の明らかな増加が認められ、予想外に条件間の差異は認められなかった。一方、下腿周囲径の有意な増加みられなかった。

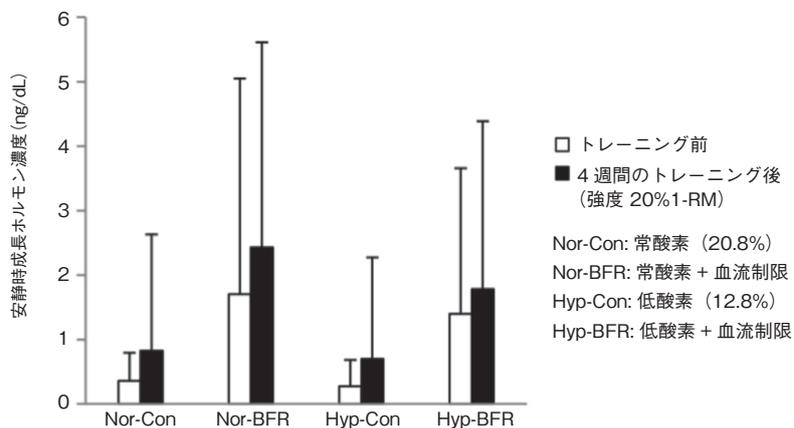


図3 安静時の血中成長ホルモン濃度(各条件における4週間のトレーニング前と後)
エラーバーは標準偏差, RM, repetition maximum

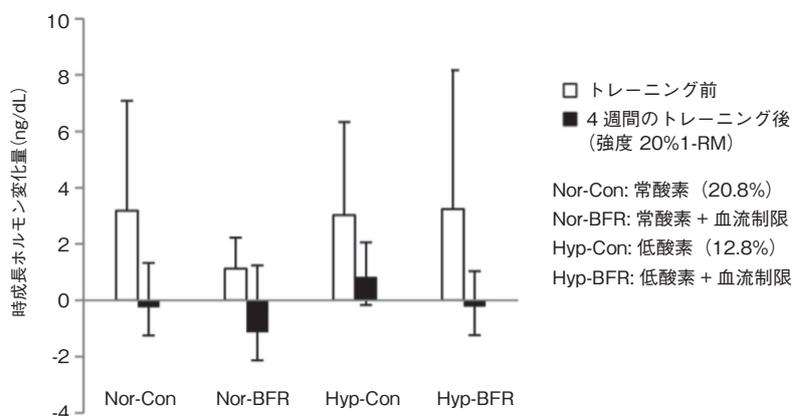


図4 各条件における運動前後の血中成長ホルモン応答(4週間のトレーニング前と後)
エラーバーは標準偏差, RM, repetition maximum

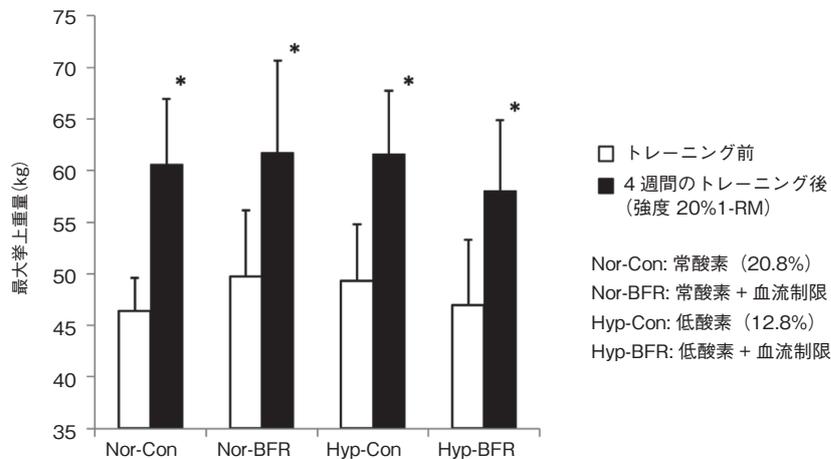


図5 各条件における4週間のトレーニング前後の筋力の変化
エラーバーは標準偏差. RM, repetition maximum. *p<0.05

3. 考 察

我々は、本研究において、血流制限を併用したレジスタンス運動と低酸素環境の運動の効果の比較および併用効果の有無を成長ホルモン応答と筋量・筋力の変化から検討したが、両運動方法間に効果の差異はなく、また併用効果もみられなかった。さらに、予想に反して、コントロールとして設定した通常では筋力増強効果が得られないとされる単独の低強度レジスタンス運動においても同様の筋力増加が認められた。

3. 1 成長ホルモンの応答

本研究においては、4週間のコントロール、血流制限、低酸素、低酸素血流制限、いずれの条件の低強度レジスタンストレーニングにおいても、安静時成長ホルモンの分泌亢進を認めることはできなかった。各条件の単回運動前後の成長ホルモンの応答においても、トレーニング前では、やや増加傾向があるも、4週間のトレーニング後では、その応答が鈍くなる傾向が認められる結果となった。レジスタンス運動後における成長ホルモンの応答に関しては、多数の先行報告があり^{14,15)}、増加を示す研究や低酸素がその応答を助長するな

ど¹¹⁾、肯定的な報告が目立つが必ずしもそうではなく、その意義については未だに明確にされていないとされる¹⁶⁾。今回の研究結果では、運動後の成長ホルモンの有意な増加はみられなかったが、主要な原因として個体差が大きかったことが考えられる。また、トレーニングの対象筋が一側の下腿三頭筋であり、動員筋量が少なかったことも一因かもしれない。さらに運動強度が最大筋力の20%と低強度であったことも理由としてあげられる。Konらの研究では¹²⁾、酸素濃度12%環境下、最大筋力の50%のベンチプレスとレンジプレスにおいて(14回1セット, 5セット)、明らかな成長ホルモンの増加がみられたことを報告している。一方、Hoらは¹⁷⁾、最大筋力(最大挙上重量)の30%のスクワット運動において(15回1セット, 5セット)、常酸素と低酸素条件(15%)を比較し、両条件とも運動後に有意な成長ホルモンの増加があり、条件間の差はなかったことを報告している。一般的に、運動による成長ホルモンの分泌増加は、運動筋群の量および運動強度に関連すると推測されている^{15,18)}。運動筋への負荷は低酸素環境により増加すると考えられるが、一定強度以上の運動であれば筋内圧の増加により、酸素濃度に関わらず筋血流は十分に低下すると推

測される。

3. 2 筋力の増加

本研究では、測定手技の限界からか、筋量の有意な増加をみることができなかったが、最大筋力には明らかな増加がみられ、注目すべきことに、その増加は条件にかかわらず認められた。筋力増加と筋肥大に必要な最小限の運動強度は、教科書的には、少なくとも最大筋力の40%以上とされているが¹⁹⁾、実際には、フィットネスレベルなど対象者の個別の特性や個体内においても対象筋群によって異なってくる。また、同一強度を用いても方法によって効果が異なることも十分に考えられる。低強度の捉え方も様々であるが、最大筋力の40%未満とすれば、20%強度の膝伸展および屈曲トレーニング(4週間)では、筋力の増加はみられず²⁰⁾、一方、30%強度の前腕屈曲・伸展トレーニング(4週間)では、筋力も筋量も増加することが示されている²¹⁾。我々と同様に下腿三頭筋のトレーニングを行なった研究では、運動方法は異なるが(最大挙上重量の30%強度のスタンディング・カーフ・レイズを6週間)、明らかな筋力および筋量の増加を認めている²²⁾。これらの研究間の結果の相違は、対象とした筋群の違いが一因と考えられる。膝伸展・屈曲の主動筋は、大腿筋群であり、歩行、走行、階段昇降および自転車運動など日常的に使われやすい筋群である。一方、下腿三頭筋は歩行などで動員されるとはいえ、体重支持・固定が主作用である。また上腕二頭筋による前腕屈曲・伸展も日常的動作とは考えにくい。おそらく、日常的な使われ方の差が、結果に影響したのではないかと推察される。つまり大腿に比べて、使い慣れていない筋群では、神経系適応の適応予備能が高く、それが筋力の明らかな増加として現れたと考えられる。このことを裏付けるように、本研究では、筋量の明らかな増加は検出できなかった一方で、顕著な筋力の増加

を観察することができた。

4. 総括

本研究では、超低強度(最大挙上重量の20%)の負荷を用いた一側下腿三頭筋におけるレジスタンストレーニングを4週間施行し、コントロール、血流制限、低酸素および両者併用の効果の比較を成長ホルモンの応答と筋力・筋量の変化から検討した。運動前後の成長ホルモンの応答は、本運動においては有意ではなく、4週間のトレーニング後に応答が鈍くなる傾向が認められた。また条件間の差は見られなかった。4週間のトレーニング後の有意な筋量の変化は捉えられなかったが、顕著な筋力増加がいずれの条件でも程度の差はなく認められた。結果として、本研究のトレーニング・プロトコルでは、血流制限や低酸素の上乗せ効果および併用効果が得られないことが示された。

謝辞

本研究は、令和2年度公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団の助成を受けて実施された。

文献

- 1) Takarada Y., Takazawa H., Sato Y. et al.: Effect of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in human., *J. Appl. Physiol.*, **88**:2097-2106(2008)
- 2) Abe T., Yasuda T., Midorikawa T. et al.: Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily KAATSU resistance training., *Int. J. KAATSU Training Res.*, **1**:6-12(2008)
- 3) Takada S., Okita K., Suga T. et al.: Low-intensity exercise can increase muscle mass and strength proportionally to enhanced metabolic stress under ischemic conditions., *J. Appl. Physiol.*, **113**:199-205(2012)
- 4) Suga T., Okita K., Morita N. et al.: Intramuscular Metabolism during Low-Intensity Resistance Exercise with Blood Flow Restriction., *J. Appl. Physiol.*, **106**:1119-24(2009)

- 5) Suga T., Okita K., Morita N. et al.: Dose Effect on Intramuscular Metabolic Stress during Low-Intensity Resistance Exercise with Blood Flow Restriction., *J. Appl. Physiol.*, **108**:1563-1567 (2010)
- 6) Suga T., Okita K., Takada S. et al.: Effect of multiple set on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **108**:1563-7 (2012)
- 7) Takada S., Okita K., Suga T. et al.: Blood Flow Restriction Exercise in Sprinters and Endurance Runners., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **44**:413-9 (2012)
- 8) Okita K., Takada S., Morita N. et al.: Resistance training with interval blood flow restriction effectively enhances intramuscular metabolic stress with less ischemic duration and discomfort., *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, **44**:759-764 (2019)
- 9) Kurobe K., Huang Z., Nishiwaki M. et al.: Effects of resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength., *Clin. Physiol. Funct. Imaging.*, **35**:197-202 (2015)
- 10) Pearson S.J., Hussain S.R., A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy., *Sports Med.*, **45**:187-200 (2015)
- 11) Filopoulos D., Cormack S.J., Whyte D.G., Normobaric hypoxia increases the growth hormone response to maximal resistance exercise in trained men., *Eur. J. Sport Sci.*, **17**:821-829 (2017)
- 12) Kon M., Ikeda T., Homma T. et al.: Effects of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses., *J. Strength Cond. Res.*, **26**:611-7 (2012)
- 13) Yan B., Lai X., Yi L. et al.: Effects of Five-Week Resistance Training in Hypoxia on Hormones and Muscle Strength., *J. Strength Cond. Res.*, **30**:184-93 (2016)
- 14) Gharahdaghi N., Phillips B.E., Szewczyk N.J. et al.: Atherton P.J. Links Between Testosterone, Oestrogen, and the Growth Hormone/Insulin-Like Growth Factor Axis and Resistance Exercise Muscle Adaptations., *Front Physiol.*, **11**:621226 (2021)
- 15) Kraemer W.J., Ratamess N.A., Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training., *Sports Med.*, **35**:339-61 (2005)
- 16) Kraemer W.J., Ratamess N.A., Nindl B.C., Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise., *J. Appl. Physiol.*, **122**:549-558 (2017)
- 17) Ho J.Y., Huang T.Y., Chien Y.C. et al.: Effects of acute exposure to mild simulated hypoxia on hormonal responses to low-intensity resistance exercise in untrained men., *Res. Sports Med.*, **22**:240-52 (2014)
- 18) Hansen S., Kvorning T., Kjaer M. et al.: The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels., *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **11**:347-54 (2001)
- 19) Kraemer W.J., Ratamess N.A., Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **3**:674-88 (2004)
- 20) Shimizu R., Hotta K., Yamamoto S. et al.: Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **116**:749-57 (2016)
- 21) Hill E.C., Housh T.J., Keller J.L. et al.: Low-load blood flow restriction elicits greater concentric strength than non-blood flow restriction resistance training but similar isometric strength and muscle size., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **120**:425-441 (2020)
- 22) Gavanda S., Isenmann E., Schlöder Y. et al.: Low-intensity blood flow restriction calf muscle training leads to similar functional and structural adaptations than conventional low-load strength training: A randomized controlled trial., *PLoS One*, **15**:e0235377 (2020)