

論文の内容の要旨

論文題目 **Cross-transfer of muscle hypertrophy in resistance training with blood flow restriction**

(血流制限下のレジスタンストレーニングにおける筋肥大効果の転移)

氏 名 班目 春彦

【緒言】

レジスタンストレーニングを行うことで、トレーニングを行った筋群だけでなく、トレーニングを行わなかった筋群にも筋力増加が生じること(筋力増加の効果転移)は良く知られている。この筋力増加の効果転移は、神経系の適応のみによって生じ、筋肥大の効果転移は生じないものと考えられてきた。しかし、蛋白同化作用を持つ内分泌因子の血中濃度を上昇させるようなトレーニングを行うことで、内分泌因子の全身的な作用による筋肥大の効果転移を生じる可能性が考えられる。

近年の研究から、血流制限下でレジスタンストレーニングを行うこと(血流制限トレーニング)で、低負荷のトレーニングでも筋肥大を生じることが明らかとなっている。この血流制限トレーニングによる筋肥大の要因の一つとして、内分泌活性の亢進による一過的な血中ホルモン濃度の上昇が考えられている。そこで、本博士論文では、血流制限トレーニングが、血流制限下でトレーニングを行った筋群以外の筋群に与える影響を検討し、そのメカニズムを探ることを目的として研究を行った。

【研究 1】血流制限トレーニングに対する内分泌応答: 上肢運動と下肢運動の比較

血流制限下で運動を行うことで内分泌活性が亢進し、血中ホルモン濃度の一過的な上昇が生じることは明らかとなっている。しかし、運動に参加した筋群の違いが内分泌応答へ与える影響は明らかとなっていない。そこで、研究 1 では、長期的なトレーニング実験のプロトコルを作成する際の参考にするために、血流制限トレーニングに対する一過的な内分泌応答を上肢の運動と下肢の運動で比較する実験を行った。

若年男性 9 名を被験者として、1 週間の間隔を空けて上肢の運動と下肢の運動を 1 回ずつ行った。上肢の運動はダンベルカールとプレスダウン、下肢の運動はレッグエクステンションとレッグカールとした。上肢の運動の際は両上腕基部に、下肢の運動の際は両大腿基部にベルトで適度に圧迫を加えて血流を制限した。採血を運動開始前、運動終了直後、15 分後、30 分後の計 4 回行い、乳酸、ノルアドレナリン、成長ホルモン、テストステロン、コルチゾール、及びインスリン様成長因子の血中濃度を測定した。その結果、乳酸、ノルアドレナリン、テストステロン、及びインスリン様成長因子の血中濃度は、上肢の運動と下肢の運動で同程度上昇したが、成長ホルモンの血中濃度-時間曲線下面積(AUC)は、上肢の運動に比べて下肢の運動で有意に高値を示した(図 1)。

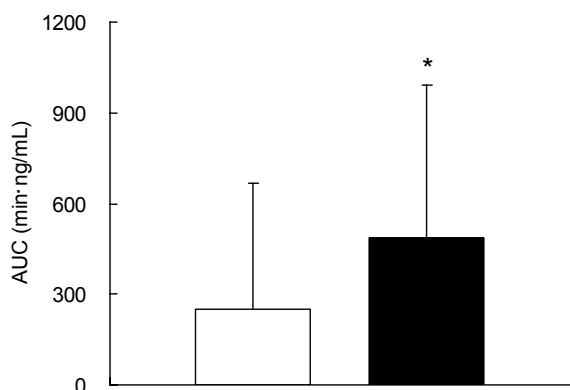


図1 成長ホルモンの血中濃度-時間曲線下面積 (AUC)
上肢の運動 (□) に比べて下肢の運動 (■) で有意に高値を示した ($P < 0.05$).

【研究 2】下肢の血流制限トレーニングが上肢の筋群に与える影響

研究 1 の結果から、上肢の運動に比べて下肢の運動で、より大きな内分泌応答を生じることが示唆された。そこで、研究 2 では、下肢の血流制限トレーニングが、全くトレーニング行わなかった上肢の筋群、及び血流を制限せずに低負荷のトレーニングを行った上肢の筋群に与える影響を調べることを目的として長期トレーニング実験を行った。

15 名の若年男性を下肢血流制限トレーニング群(OCC)と下肢通常トレーニング群(NOR)の 2 群に分け、週に 2 回のトレーニングを 10 週間実施した。トレーニング種目は、上肢はダンベルカール、下肢はレッグエクステンション及びレッグカールとした。上肢のトレーニングは、両群とも血流を制限せずに片側のみ最大挙上重量(1RM)の 50%の負荷強度で行い(OCC-T, NOR-T)、対側肢はトレーニングを行わなかった(OCC-C, NOR-C)。下肢のトレーニングは、30%1RM の負荷強度を用いて、OCC は両大腿基部に圧迫を加え血流制限下で行い、NOR は血流を制限せずに行った。トレーニング期間の前後で筋力及び筋断面積を測定した。その結果、上肢では OCC-T においてのみ筋力及び筋断面積の有意な増加が生じ(図 2)、筋断面積の増加率は他群に比して有意に高値を示した。この結果から、血流制限トレーニングによる内分泌活性の亢進が、全身的な作用によって、血流を制限せずに低負荷のトレーニングを行った筋群の肥大を増強することが示唆された。そこで、筋肥大を生じた内分泌因子を調べるために、10 名の被験者を対象として、1 回当たりのトレーニングと同じ条件で一過的な血中ホルモン濃度の変動を測定した。その結果、成長ホルモンとテストステロンでは群間差が認められなかったが、ノルアドレナリンではトレーニング後に OCC が NOR に比して有意に高値を示した。この結果から、先行研究において筋肥大への貢献が示唆されていた成長ホルモンは主要因ではない可能性が示された。また、その作用機序は未解明であるが、ノルアドレナリンの筋肥大への関与が示唆された。

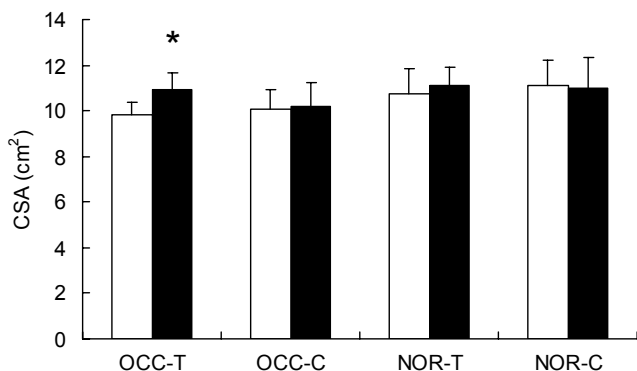


図2 肘屈筋の横断面積 (CSA)
下肢血流制限トレーニング群のトレーニング側 (OCC-T) のみトレーニング前 (□) に比べてトレーニング後 (■) で有意に高値を示した ($P < 0.05$).

【研究 3】下肢の血流制限トレーニングが高負荷トレーニングを行った上肢の筋群に与える影響

研究 2 の結果から、血流制限トレーニングによる内分泌活性の亢進が、全身的な作用によって、血流を制限せずに低負荷のトレーニングを行った筋群の肥大を増強することが示唆された。しかし、血流制限トレーニングが、血流を制限せずに高負荷のトレーニングを行った筋群に対しても同様に筋肥大の増強効果を生じるか否かは明らかとなっていない。そこで、研究 3 では、下肢の血流制限トレーニングが、血流を制限せずに高負荷のトレーニングを行った上肢の筋群に与える影響を調べることを目的としてトレーニング実験を行った。

17 名の若年男性を下肢血流制限トレーニング群(OCC)と下肢通常トレーニング群(NOR)の 2 群に分け、週に 2 回のトレーニングを 10 週間実施した。トレーニング種目は、上肢はマシンベンチプレス、下肢はマシンスクワットとした。上肢のトレーニングは、両群とも血流を制限せずに 3RM の負荷強度で行った。下肢のトレーニングは、30%1RM の負荷強度を用いて、OCC は両大腿基部に圧迫を加え血流制限下で行い、NOR は血流を制限せずに行った。トレーニング期間の前後で筋力及び筋断面積を測定した。その結果、上肢では OCC と NOR の両群において筋力及び筋断面積が有意に増加し(図 3)、その増加率に群間差は認められなかった。また、5 名の被験者を対象に、1 回当たりのトレーニングと同じ条件で一過的な血中ホルモン濃度の変動を測定した。その結果、成長ホルモンでは群間差が認められなかったが、ノルアドレナリンとテストステロンではトレーニング後に OCC が NOR に比して有意に高値を示した。これらの結果から、血流制限トレーニングによる内分泌活性の亢進は、血流を制限せずに高負荷のトレーニングを行った筋群の肥大を増強しないことが示唆された。

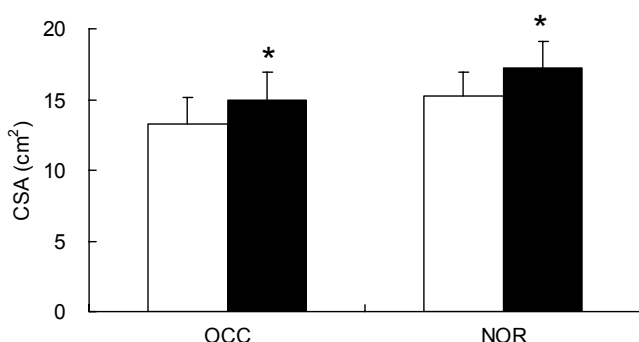


図3 肘伸筋の横断面積 (CSA)
両群ともトレーニング前 (□) に比べてトレーニング後 (■) で有意に高値を示したが ($P < 0.05$), 群間差は認められなかった。

【まとめ】

本研究により、血流制限トレーニングは、(1)血流を制限せずに低負荷のトレーニングを行った筋群の肥大を増強すること、(2)全くトレーニングを行わなかった筋群には筋肥大の効果転移を生じないこと、(3)血流を制限せずに高負荷のトレーニングを行った筋群の肥大を増強しないこと、が示された。これらの結果から、筋肥大における第一要因は筋に対する局所的刺激であるが、局所的刺激の強度が低く、単独では筋肥大を生じない場合でも、内分泌因子などの全身的な作用が加味されることにより筋肥大を生じることが示唆された。また、筋肥大を生じた内分泌因子については、先行研究において筋肥大への貢献が示唆されてきた成長ホルモンでは血流制限の有無による差が見られず、主要因ではない可能性が示された。一方、その作用機序は未解明であるが、ノルアドレナリンの筋肥大への関与が示唆された。

本研究により得られた知見は、骨格筋肥大のメカニズム解明の一助となるものである。また、四肢の血流制限トレーニングを行うことで、体幹部の筋群等、血流制限を適用できない部位のトレーニング効果が増強される可能性が考えられ、リハビリテーションや高齢者の筋萎縮予防のための効果的なトレーニング処方の開発に寄与するものであると考えられる。