

特集【日本人研究者が進めるトレーニング研究】

血流制限トレーニング

安田 智洋*

I. はじめに

骨格筋のサイズや最大筋力の増加には、レジスタンス・トレーニングが有効であり、さまざまな場面で利用されてきた。また、これまでの研究によって、レジスタンス・トレーニングによる効果は、アスリートや健常若年者だけではなく、高齢者や低体力者を対象とした場合でも期待できることがわかっている。

一般に、骨格筋肥大および筋力増加のためには、最大挙上重量（1RM）の70%を超える高い重量負荷でのレジスタンス・トレーニングが必要と考えられていた⁵⁾。

しかし、このような高重量負荷は、ヒトの運動器や循環器に障害をもたらす危険性が高いことから¹³⁾、生体に強い負荷をかけずに骨格筋のサイズや機能を改善するトレーニング法の開発が求められてきた。

血流制限トレーニングは、この20年ほどで数多くの研究成果が発表されているトレーニング法である²¹⁾。この手法を

用いると、日常生活レベルの低重量負荷でも著しい筋肥大や筋力増加を示すことから、新たなトレーニング法として国内外で注目されてきた。本稿では、血流制限トレーニングに関して、著者の研究グループが実施してきた研究成果を中心に紹介したい。

II. 血流制限トレーニングとは

血流制限トレーニングは、四肢の基部を専用のベルトで外部圧迫し、主に活動筋への動脈血および活動筋からの静脈還流を制限した状態（筋組織の低酸素状態）で行うトレーニングである（図1）。レジスタンス・トレ

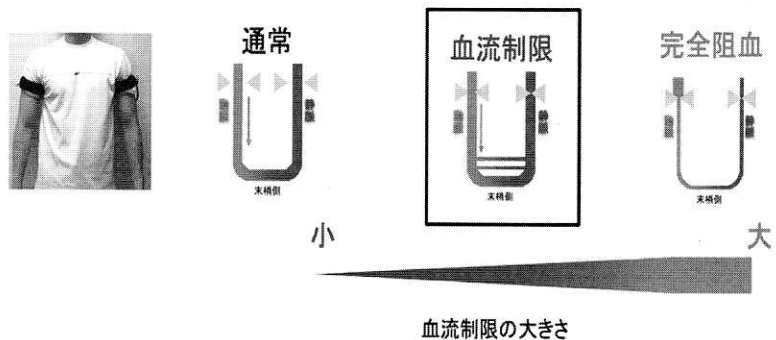


図1 上腕の基部を空圧式の専用ベルトで外部圧迫し、血流制限した様子（左）と血流制限と動脈・静脈の模式図（右）（文献26）より著者改変

* 聖隷クリストファー大学 看護学部
〒433-8558 静岡県浜松市北区三方原町3453
TEL: 053-439-1417 053-439-1406
E-mail: tomohiro-y@seirei.ac.jp

ニングとして実施する場合には、運動の開始直前から終了直後までの5-10分間程度、外部圧迫を維持する場合が多い²⁰⁾。このトレーニングの大きな特徴の一つは、20% 1RM という極めて低い重量負荷でも、著しい筋肥大・筋力増加をもたらすことにある^{4,23,20,34)}。

Ⅲ. 血流制限運動と神経-筋機構

いまから約15年前まで、血流制限トレーニングの効果は、どのようなトレーニング条件において最も有効に作用するか十分には解明されていなかった。特に、どの程度の外部圧迫によって、どの程度の血流制限が起こり、その結果として神経-筋機構にどのような影響を与えるのかについてはほとんど明らかにされていなかった。

そこで、著者らは血流制限の条件に着目し、空圧式の

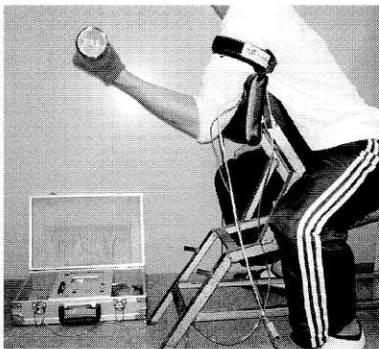
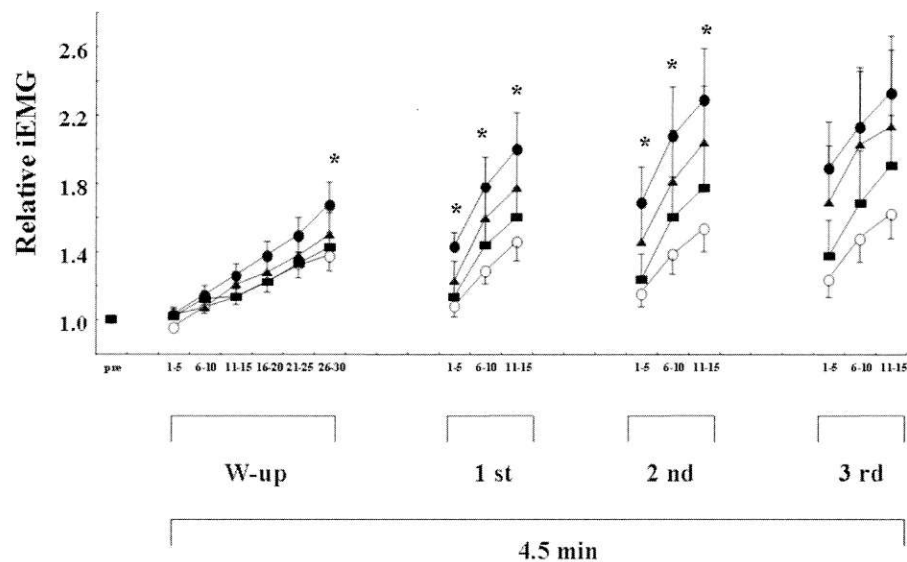


図2 血流制限下でアームカール運動を実施している様子

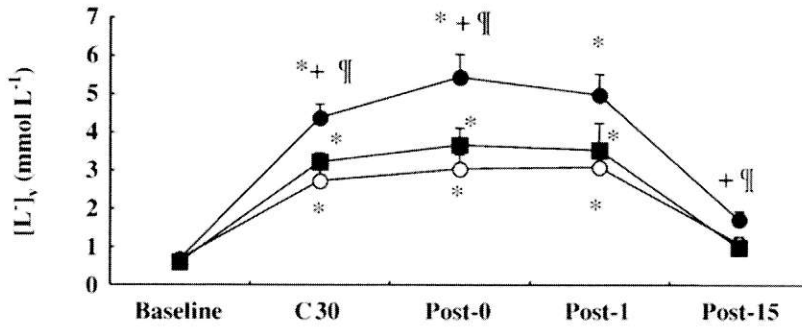
専用ベルトを用いて、外部圧迫100 mmHg（安静時動脈血流量が約40%減少）および160 mmHg（安静時動脈血流量が約60%減少）条件下でアームカール運動（20% 1RM）を実施した（図2）。筋活動量はセット数を重ねることで顕著に増加し、最終4セット目では推定の運動強度がそれぞれ35~45%および50~60%まで上昇した^{30,31)}（図3）。外部圧迫100 mmHgでは、静脈血の酸素分圧は低いものの血中乳酸の顕著な増加はみられないことから、活動筋では動脈血からの酸素取り込み量を高めることで運動を維持していると考えられた。一方、外部圧迫160 mmHgでは、静脈血酸素分圧の低下と血中乳酸の顕著な増加がみられ、活動筋での動脈血からの酸素取り込みでは不十分となり、この運動を維持するために順次動員閾値の高い速筋線維を動員せざるを得ない状態に至っているものと考えられた²⁸⁾（図4）。この現象をサポートする結果として、強い外部圧迫を伴う低強度負荷トレーニングによる、速筋線維の顕著な肥大を観察している²⁹⁾。したがって、強い外部圧迫を伴う血流制限下では、通常は速筋線維が動員されない低重量負荷の（20% 1RM）運動でも、筋の活動量は上昇し、筋サイズの増加、特に速筋線維の肥大というトレーニング効果を引き起こすことが明らかとなった。

このように、完全阻血ではない血流制限下でも、低重量負荷のレジスタンス運動時には血液の供給が低下して動員閾値の高い速筋線維の動員が起こり、それらが骨格



(回数・セット数の増加とともに増加し、外部圧迫の強度が高いほど筋活動量が高い。○：非血流制限、■：血流制限 [98 mmHg]、▲：血流制限 [121 mmHg]、●：血流制限 [147 mmHg]、* $p < 0.05$, vs. 非血流制限) (文献30)より引用)

図3 アームカール運動中の筋活動量 (iEMG)



(外部圧迫強度が高いほど乳酸値も増加する。Baseline: 運動前, C30: 運動30回直後, Post-0: 4セット(運動75回)直後, Post-1: 4セット終了1分後, Post-15: 4セット終了15分後, ○: 非血流制限, ■: 血流制限 [100 mmHg], ●: 血流制限 [160 mmHg], *p<0.05, vs. Baseline, +p<0.05, vs. 非血流制限, #p<0.05, vs. 血流制限 [100 mmHg]) (文献28)より引用

図4 アームカール運動に伴う活動筋の静脈血における乳酸([L⁻v])の値

筋の肥大および機能の改善に重要な影響を与えているものと考えられた。

IV. 血流制限トレーニングと神経-筋の適応

A. 体幹筋群 (非血流制限部位)

体幹は全身骨格筋量の40%を超える筋量を有し²⁾、日常生活動作において重要となる筋も多く存在する部位である。しかし、血流制限トレーニングの研究報告は四肢の筋群(血流制限部位)に限定されており、体幹の筋群に及ぼす影響は明らかにされていなかった。そこで、著者らは血流制限部位(上肢)と非血流制限部位(大胸筋など)が主働筋の役割を担うベンチプレス運動に着目し、血流制限トレーニングが体幹部筋群の筋サイズ・筋力に及ぼす影響を調べた(図5)。

血流制限下でベンチプレス・トレーニング(30% 1RM)を行うと、毎回のトレーニングで観察される筋厚変化は上腕だけでなく、非血流制限部位の大胸筋でも観察され、血流制限下のベンチプレス・トレーニング(合計24回)後には上腕三頭筋と大胸筋の両方の筋断面積が増加することが確認された³⁸⁾(図6)。また、スクワットやレッグプレスによって血流制限トレーニング(合計24回)を実施した場合は、大臀筋も肥大することが明らかになっている^{4,34)}。したがって、非血流制限部位が主働筋として大きく関与するトレーニング種目では、体幹筋群も顕著な筋肥大を示す。

血流制限トレーニングによる体幹筋肥大の要因としては、運動中に上腕三頭筋(血流制限部位)とともに大胸筋(非血流制限部位)でも顕著な筋活動量の増加が観察

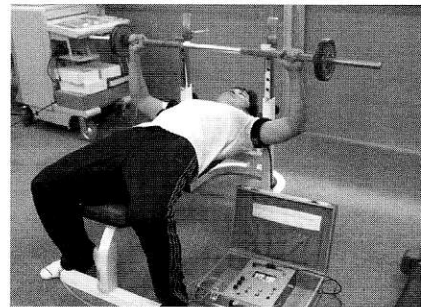
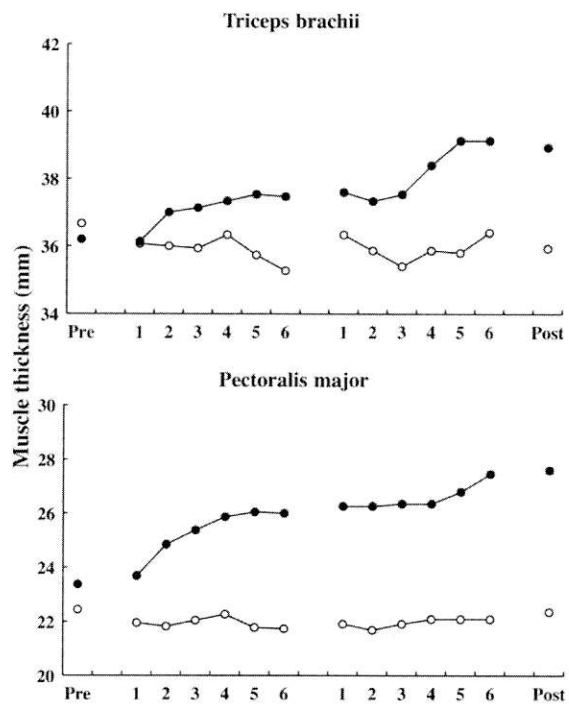


図5 血流制限下でベンチプレス・トレーニングを実施している様子(文献27)より引用



(○: 非血流制限群, ●: 血流制限群)(文献38)より引用

図6 トレーニング期間中における上腕三頭筋と大胸筋の筋厚

されること³⁹⁾や、筋のタンパク合成に重要となるホルモンが血液循環によって非血流制限部位などの全身にも作用する¹²⁾ことの影響が大きいと考えられている。

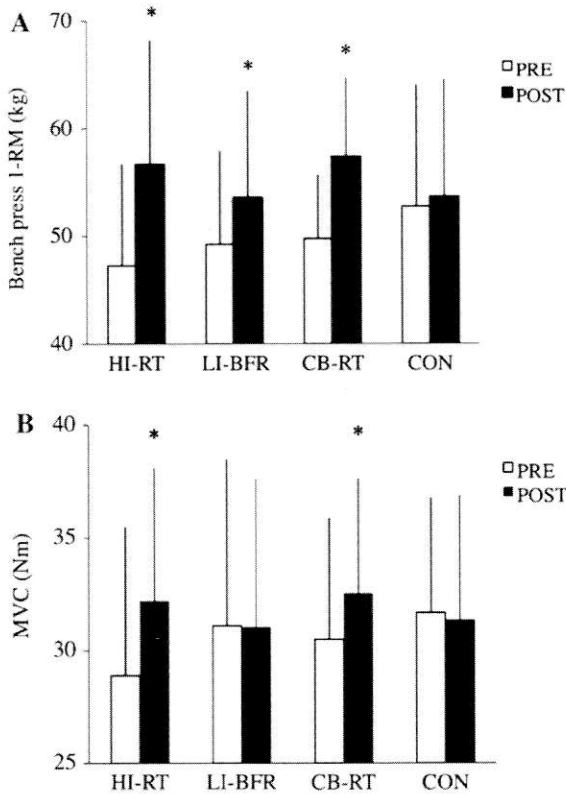
B. 神経系の適応

血流制限トレーニングは、低重量負荷で実施することが大きな特徴だが、筋力増加の重要な要因である神経系の適応が不十分である可能性が指摘されていた^{11,38)}。そのため、神経系の適応を十分に引き起こすためには、高

重量負荷によるメカニカルストレスが重要ではないかとの仮説を立て、同時期に血流制限トレーニングと高強度の筋力トレーニングを併用するトレーニングプログラムを設定した。6週間のベンチプレス・トレーニング後、トレーニングを実施した3群（高重量群（75% 1RM、週3回）、血流制限群（30% 1RM、週3回）、併用群（75% 1RMを週1回と30% 1RMを週2回）ではベンチプレス最大筋力、上腕三頭筋と大胸筋の筋サイズが増加を示した。一方、相対的筋力（力/サイズ）は高重量群と併用群で増加したが、血流制限群では変化がみられなかった。したがって、低重量負荷で実施する血流制限トレーニングは、それだけでは十分な神経系の適応を引き出すことは難しく、高重量負荷の刺激を併用することで顕著な神経系の適応を促す可能性が高い⁴⁴⁾（図7）。

C. 短縮性・伸張性運動

トレーニング運動の直後に起こる筋細胞の膨張（Muscle cell swelling）は、筋タンパク合成を刺激し、筋タンパク分解を抑制するため、筋肥大を引き起こす重要な刺激のひとつと考えられている¹⁰⁾。血流制限トレーニングでは顕著な Muscle cell swelling が確認されている^{8,30,31)}が、特に短縮性運動による影響は伸張性運動よりも高いことが報告されていた²⁵⁾。そのため、血流制限下では、短縮性トレーニングの方が骨格筋肥大に対する肥大効果が高いのではないかと仮説を立て、短縮性と伸張性の血流制限下トレーニングが筋サイズと筋力に及ぼす影響を比較した。アームカールを利用したトレーニング運動中の上腕二頭筋の筋活動量は、短縮性が伸張性より有意な高値を示しており、トレーニング6週間後（合計18回）には、上腕二頭筋の筋体積は、短縮性（13%）が伸張性（3%）より大きな増加を示した（図8）。



1RM (A) と等尺性最大筋力 (MVC) (B) (HI-RT: 高重量トレーニング群, LI-BFR: 血流制限トレーニング群, CB-RT: 併用群 (高重量トレーニング + 血流制限トレーニング), CON: 非トレーニング群, *p<0.05, vs. PRE) (文献44)より引用)

図7 トレーニング前後のベンチプレス

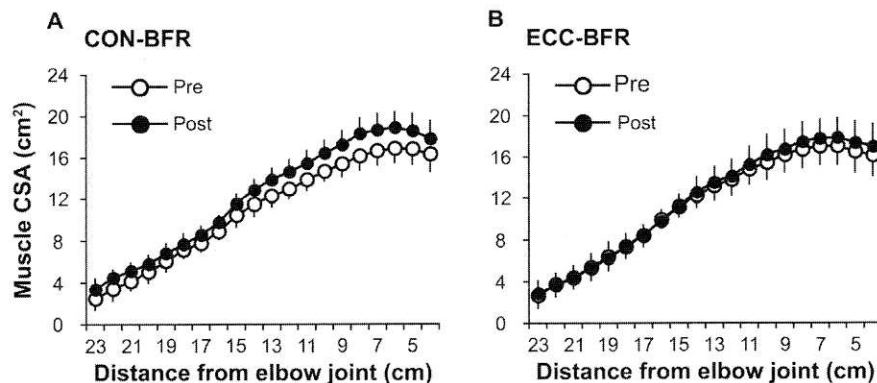


図8 トレーニング前後の肘屈曲筋群における横断面積の分布 (文献41)より引用)

また、等尺性最大肘屈曲筋力は、短縮性（9%）では有意な増加を示したが、伸張性では変化がみられなかった⁴¹⁾。

高重量負荷による伸張性トレーニングは、筋肥大効果が高い一方で筋損傷と遅発性筋痛を誘発し、日常生活動作に支障をきたす可能性が高いことから、転倒などへの注意も必要であった。しかし、血流制限トレーニングでは、短縮性運動による筋肉痛は極めて低く抑えられ²⁴⁾、さらに短縮性トレーニングによって顕著な筋肥大・筋力増加が誘発されることから⁴¹⁾、このようなリスクは回避されやすいと考えられる。

D. 脱トレーニング

筋力トレーニングの中止（脱トレーニング：DT）は筋力・筋サイズの低下を招くが、血流制限トレーニングがDTに及ぼす影響は知られていなかった。著者らが実施したこれまでの研究では、若年者を対象とした血流制限トレーニング（ベンチプレス、週3回、6週間）では、DT3週間後に筋サイズはトレーニング開始前の水準に戻ったが筋力は維持され、神経系の適応が大きいこと⁴⁰⁾、高齢者を対象とした血流制限トレーニング（レッグプレスと膝伸展運動、週2回、12週間）では、下肢筋力の増加はDT24週間後も残存し、これは主に神経系の適応によること³⁵⁾などを明らかにしている。また、若年者を対象とした血流制限トレーニング（アームカール、週3回、6週間）では、短縮性トレーニングによって増加した筋力はDT6週間後も維持され、それは主に筋肥大の関与と考えられた⁴²⁾。

血流制限トレーニングにおいて、DTによる特徴を結論づけるにはまだ多くの研究成果を要するが、血流制限トレーニングによって得られた筋肥大・筋力増加は、高重量レジスタンス・トレーニングを実施した場合と同様

に、トレーニング終了後も一定期間は残存する可能性が高い。

V. 血流制限トレーニングと高齢者・リハビリ患者

A. 高齢者（トレーニングマシン）

健常高齢者（61-84歳）を対象とし、トレーニングマシンを利用した週2回のトレーニング実験（膝伸展運動：20% 1RM、レッグプレス：30% 1RM）を実施した。血流制限トレーニングを12週間（合計24回）実施すると、大腿四頭筋、内転筋群と大臀筋の筋横断面積が増加し（図9）、トレーニング種目である2種目の最大筋力も大きな改善を示した。一方、脈派伝播速度（CAVI）、足関節上腕血圧比（ABI）は変化がみられなかったが、血流依存性血管拡張反応検査（FMD）は血流制限トレーニング群で改善傾向を示した³⁴⁾。したがって、トレーニングマシンを利用した血流制限トレーニングは、血管機能を維持しながら筋サイズと筋力を改善するため、高齢者に対して有用なトレーニングであると考えられる。

B. 高齢者（弾性バンド負荷）

弾性バンドを用いたレジスタンス・トレーニングが近年注目されているが、一般に負荷は低・中強度で実施されるため、十分な筋肥大はほとんど期待できない。しかし、著者らは、弾性バンドによる負荷抵抗を利用して低強度の血流制限運動を実施すると、低強度の血流制限運動中の筋活動量が、高強度運動と同等レベルまで十分に高まることを確認していた³³⁾。そこで、健常高齢女性（61-86歳）を対象とし、セラバンドを利用した週2回のトレーニング実験（スクワットと膝伸展運動）を実施し、十分な骨格筋肥大が誘発できるかを調べた（図10）。

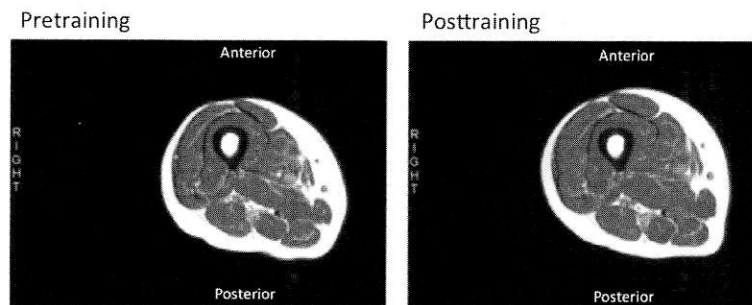


図9 トレーニング前後の大腿中央部におけるMRI横断画像（文献34）より引用）

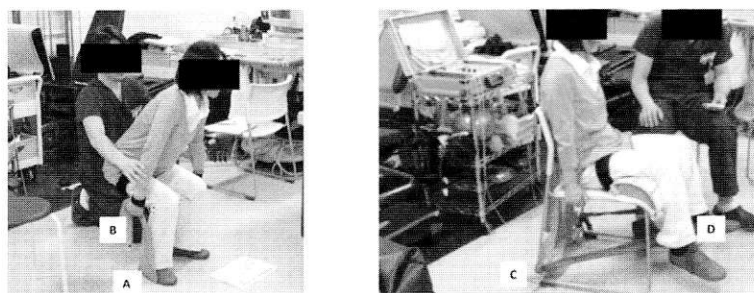
12週間後、非血流制限トレーニング（中強度負荷）では骨格筋の肥大は観察されなかったが、血流制限群トレーニング（低強度負荷）では、CAVI・ABIなどを一定に保ちつつ骨格筋肥大を誘発できると判明した³⁶⁾。また、弾性バンドを利用した血流制限トレーニングによる骨格筋の肥大効果や安全性は、上肢を対象とした高齢者のトレーニング実験でも確認している³⁷⁾。

C. リハビリ患者（膝半月板損傷）

膝半月板損傷患者（57歳、女性）を対象とし、血流制限トレーニング（レジスタンス運動7種目と有酸素運動1種目）を約3年間（計125回）実施した（図11）。骨格筋のサイズにはCT画像を利用し、トレーニング実

施前（0週）、実施後63と152週後に健側（右）と患側（左）の大腿部中央を評価した。トレーニング開始から63週間後、大腿部筋横断面積は両側で増加し、特に患側で顕著な増加を示した。また、152週間後では、患側の筋横断面積は健側の筋横断面積と同等レベルの数値に達していた。このように、膝半月板損傷後の患者に対し、長期間の血流制限トレーニングは非常に安全で効果的なトレーニング方法であるとわかった⁴⁵⁾。

このほかにも、医療従事者（医師、理学療法士など）との共同研究を多数実施しており、虚血性心疾患患者¹⁶⁾、認知症患者⁹⁾、大腿骨頭壊死患者¹⁷⁾を対象とした研究では、筋サイズ、最大筋力、疼痛、関節可動域、歩行能力、日常生活動作などが改善することを確認している。



（負荷抵抗として弾性バンドを利用）（文献26,36）より引用

図10 血流制限下でスクワットと膝伸展運動を実施している様子

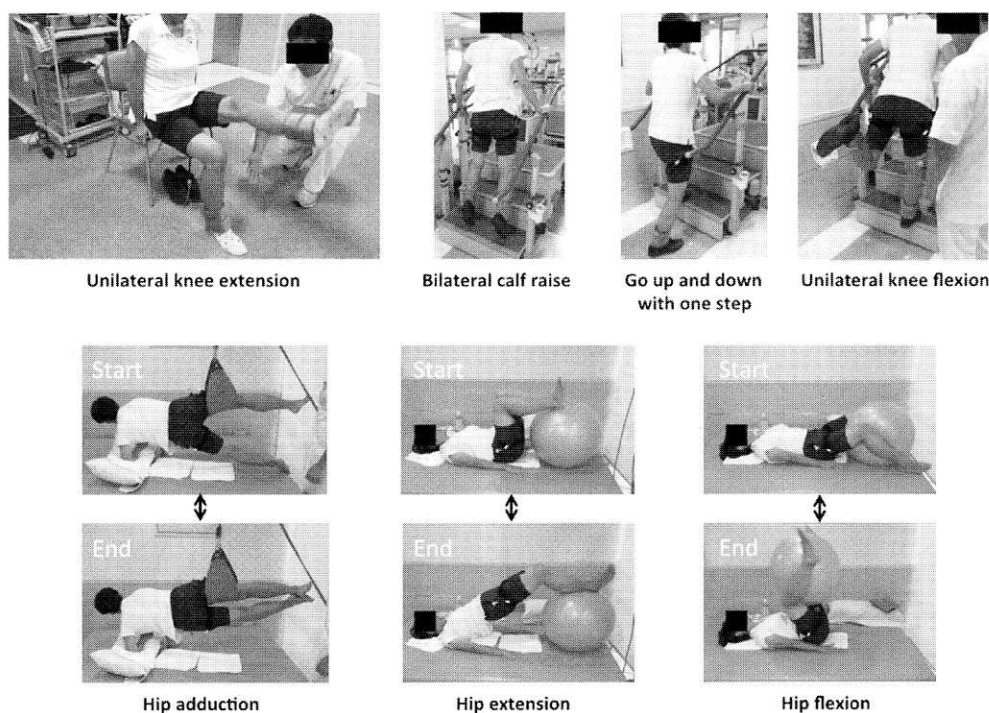


図11 膝半月板損傷患者に対する7種類の血流制限トレーニング（文献45）より引用

D. 血流制限ラットモデルと骨格筋肥大の機序

著者らは、血流制限ラットモデル (図 12) を作成し、加圧除圧の反復性低酸素刺激が骨格筋に及ぼす影響を検討した。その結果、血流制限刺激は随意運動を併用しなくても、筋肥大のメカニズムとして重要な骨格筋のタンパク合成系 (mTOR) を活性化させることなどを明らかにした¹⁴⁾。

その後、廃用性症候群に対する骨格筋肥大の可能性を検討するため、不随意運動 (電気刺激) を利用し、血流制限トレーニングがラットの骨格筋各種蛋白質発現に及ぼす影響について検討した。この研究では、ラットを電気刺激群、併用 (電気刺激+血流制限) 群、血流制限群、対照群の 4 群に分類し、電気刺激群と併用群では、低強度電気刺激によるトレーニング (前脛骨筋にアイソメト



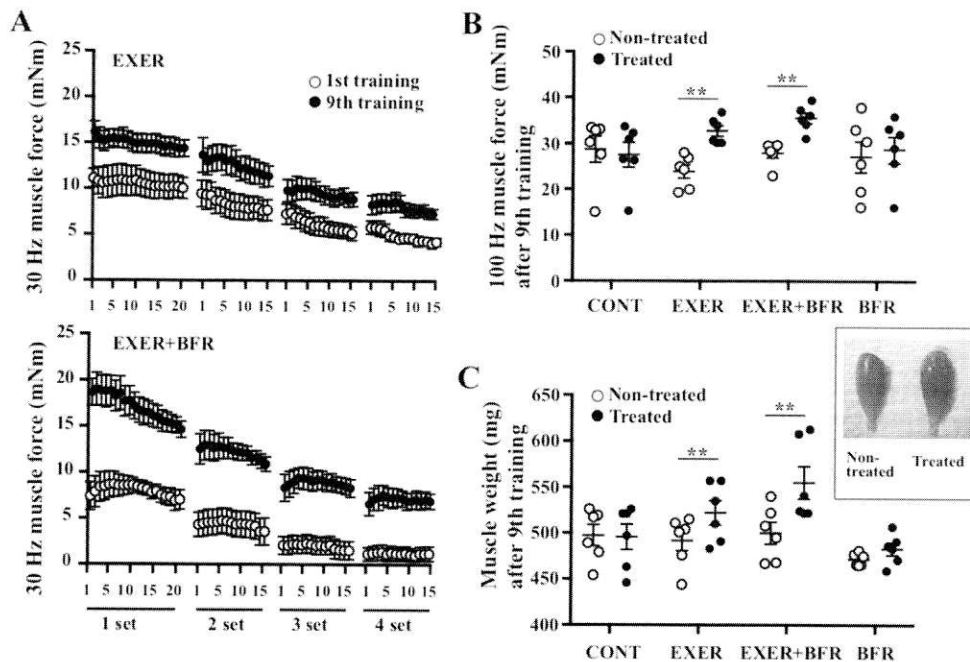
図 12 ラットの下肢を外圧圧迫した血流制限ラットモデル (文献 14)より引用)

リック収縮) を 3 週間 (合計 9 回) 実施した。その結果、血流制限トレーニングでは、低強度刺激でも高強度刺激に似た骨格筋酸素分圧の低下が誘発されることや mTOR を含む細胞内シグナル伝達経路を活性化されること、そして顕著な骨格筋肥大が引き起こされることを明らかにした¹⁴⁾ (図 13)。

VI. 血流制限トレーニングと安全性

著者らは、高齢者を対象とした血流制限トレーニングの研究を何度か実施してきたが、12 週間のトレーニング前後で血行動態、動脈スティフネス、血管内皮機能、凝固線溶マーカーなどには変化がみられなかった^{34,36,37)}。また、12 週間の脱トレーニングでも、これらの指標には変化がなかったことを確認している³²⁾。したがって、血流制限トレーニングは、体力レベルの低い高齢者であっても運動器系・循環器系に対する安全性を確保することができ、生体へのリスクは極めて低いと考えられる。

また、血流制限 (加圧) トレーニングに関する全国規模での安全性に関しては、Nakajima らが全国の加圧トレーニング施設 (105 施設) を対象としたアンケート調査をもとに 2006 年に報告している¹⁵⁾。その結果、血流制限トレーニングは様々な現場で幅広く実施されている



(A: 急性運動中におけるトルクの変化, B: 等尺性最大筋力, C: 筋重量の変化。CONT: 対照群, EXERC: 電気刺激群, EXERC+BFR: 併用 (血流制限 + 電気刺激) 群, BFR: 血流制限群) (文献 14)より引用)

図 13 ラットを用いた血流制限トレーニングの影響

が、重篤な合併症などの副作用を誘発する可能性は極めて低いと報告している。

その後も、国内外において血流制限トレーニングを実施する研究機関・施設が増加していたため、著者らが中心となり2016年に血流制限トレーニングに関する実態調査を実施した⁴³⁾。対象者は日本加圧トレーニング学会に所属する施設のリーダーや指導者とし、実施状況と安全性を検討した(有効回答232施設)。調査の結果、血流制限トレーニングを実施する際、特に注意すべき重篤な症状(脳出血・脳梗塞・血栓症・横紋筋融解症など)に関しては回答がなかった。したがって、血流制限(加圧)トレーニングに熟知した指導者が実施する場合は、重篤な副作用を誘発することが極めて少なく(図14)、様々な用途に応じた有用な効果が期待できると考えられる(図15)。しかしながら、血流制限トレーニングが横紋筋融解症の危険性につながると報告し、利用に関して注意を促す研究論文が存在する²²⁾。この研究では、トレーニング方法に関する詳細な記述がないが、血流制限トレーニングを実施する際は、常に対象者の安全性に細心の注意を払う必要があるだろう。

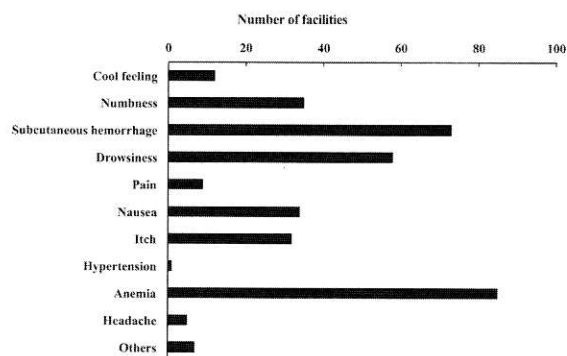


図14 血流制限トレーニングにおける副作用の症状(文献43)より引用)

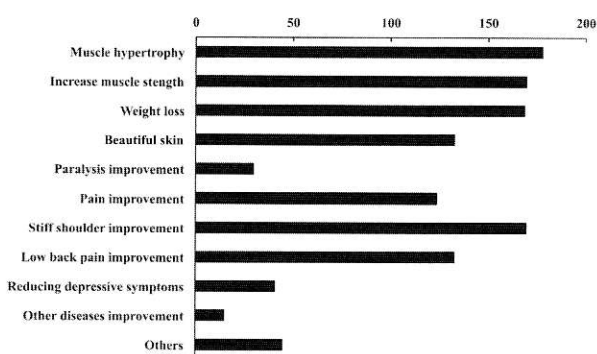


図15 血流制限トレーニングの効果・改善の内容(文献43)より引用)

VII. おわりに

血流制限トレーニングは、レジスタンス運動だけではなく、歩行運動^{3,6,19)}や自転車運動^{1,7)}でも筋肥大・筋力増加が可能である。さらに、これらの運動では、筋肥大・筋力増加だけではなく、同時に有酸素能力や動脈ステイフネスが改善することも報告されている。このように、血流制限トレーニングは、様々な利用方法や適応効果を期待することが可能であり、臨床現場での高い利用価値につながっている。事実、アスリートを対象とした競技力向上や、各種疾患患者を対象とした急性期・回復期における治療法など、多岐にわたる効果が多数報告されている^{15,43)}。一方で、血流制限トレーニングにはまだ解明されていない分子制御機構や適応効果も多く、今後も画期的な研究成果が数多く出ることを期待したい。

本稿が、血流制限トレーニングに興味をもつ方々の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) Abe, T., Fujita, S., Nakajima, T., Sakamaki, M., Ozaki, H., Ogasawara, R., Sugaya, M., Kudo, M., Kurano, M., Yasuda, T., Sato, Y., Ohshima, H., Mukai, C., Ishii, N: Effects of low-intensity cycle training with restricted leg blood flow on thigh muscle volume and vo2max in young men, *J. Sports Sci. Med.*, 9: 452-8, 2010.
- 2) Abe, T., Kearns, C. F., Fukunaga, T: Sex differences in whole body skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging and its distribution in young Japanese adults, *Br. J. Sports Med.*, 37: 436-440, 2003.
- 3) Abe, T., Kearns, C. F., Sato, Y: Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, *Kaatsu-walk training*, *J. Appl. Physiol.*, 100: 1460-1466, 2006.
- 4) Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T, Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., Koizumi, K., Ishii, N: 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, 2005.
- 5) American College of Sports Medicine: American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 41: 687-708, 2009.
- 6) Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., König, D: Effects of blood flow restriction training on muscular strength and hypertrophy in older individuals: A systematic review and meta-analysis, *Sports Med.*, 49: 95-108, 2019.
- 7) de Oliveira, M. F., Caputo, F., Corvino, R. B., Denadai, B. S: Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aerobic fitness and muscle

- strength, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 26: 1017-1025, 2016.
- 8) Fry, C. S., Glynn, E. L., Drummond, M. J., Timmerman, K. L., Fujita, S., Abe, T., Dhanani, S., Volpi, E., Rasmussen, B. B: Blood flow restriction exercise stimulates mTORC1 signaling and muscle protein synthesis in older men, *J. Appl. Physiol.*, 108: 1199-209, 2010.
 - 9) Fukuda, T., Fukumura, K., Uchida, Y., Ootsuka, T., Yasuda, T., Iida, H., Morita, T., Nagata, T., Sato, Y., Nakajima, T: A case of dementia presenting remarkable improvement in activities of daily living through KAATSU training, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 7: 13-17, 2015.
 - 10) Häussinger, D., Roth, E., Lang, F., Gerok, W: Cellular hydration state: an important determinant of protein catabolism in health and disease, *Lancet*, 22: 1330-1332, 1993.
 - 11) Kubo, K., Komuro, T., Ishiguro, N., Tsunoda, N., Sato, Y., Ishii, N., Kanehisa, H., Fukunaga, T: Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon, *J. Appl. Biomech.*, 22: 112-119, 2006.
 - 12) Madarame, H., Neya, M., Ochi, E., Nakazato, K., Sato, Y., Ishii N: Cross-transfer effects of resistance training with blood flow restriction, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 40: 258-263, 2008.
 - 13) Miyachi, M., Kawano, H., Sugawara, J., Takahashi, K., Hayashi, K., Yamazaki, K., Tabata, I., Tanaka, H: Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study, *Circulation*, 110: 2858-2863, 2004.
 - 14) Nakajima, T., Koide, S., Yasuda, T., Hasegawa, T., Yamasoba, T., Obi, S., Toyoda, S., Nakamura, F., Inoue, T., Poole, D. C., Kano, Y: Muscle hypertrophy following blood flow-restricted, low-force isometric electrical stimulation in rat tibialis anterior: role for muscle hypoxia, *J. Appl. Physiol.*, 125: 134-145, 2018.
 - 15) Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., Meguro, K., Sato, Y., Nagata, T., KAATSU Training Group: Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 2: 5-13, 2006.
 - 16) Nakajima, T., Kurano, M., Sakagami, F., Iida, H., Fukumura, K., Fukuda, T., Takano, H., Madarame, H., Yasuda, T., Nagata, T., Sato, Y., Yamasoba, T., Morita, T: Effects of low-intensity KAATSU resistance training on skeletal muscle size/strength and endurance capacity in patients with ischemic heart disease, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 6: 1-7, 2010.
 - 17) Nakajima, T., Yasuda, T., Fukumura, K., Kurano, M., Imanishi, T., Morita, T., Sato, Y., Hiraizumi, Y: KAATSU training® as a new exercise therapy for femoral head avascular necrosis: A case study, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 11: 1-6, 2015.
 - 18) Nakajima, T., Yasuda, T., Koide, S., Yamasoba, T., Obi, S., Toyoda, S., Sato, Y., Inoue, T., Kano, Y: Repetitive restriction of muscle blood flow enhances mTOR signaling pathways in a rat model, *Heart Vessels*, 31: 1685-1695, 2016.
 - 19) Ozaki, H., Sakamaki, M., Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sugaya, M., Nakajima, T., Abe, T: Increases in thigh muscle volume and strength by walk training with leg blood flow reduction in older participants, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, 66: 257-263, 2011.
 - 20) Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., Abe, T., Nielsen, J. L., Libardi, C. A., Laurentino, G., Neto, G. R., Brandner, C., Martin-Hernandez, J., Loenneke, J. P: Blood flow restriction exercise position stand: considerations of methodology, application, and safety, *Front. Physiol.*, 10: 533, 2019.
 - 21) Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., Fukunaga, T: Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance, *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 77: 189-191, 1998.
 - 22) Tabata, S., Suzuki, Y., Azuma, K., Matsumoto, H: rhabdomyolysis after performing blood flow restriction training: A case report, *J. Strength Cond. Res.*, 30: 2064-2068, 2016.
 - 23) Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., Ishii, N: Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion, *J. Appl. Physiol.*, 88: 61-65, 2000.
 - 24) Thiebaud, R. S., Yasuda, T., Loenneke, J. P., Abe, T: Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage, *Interv. Med. Appl. Sci.*, 5: 53-59, 2013.
 - 25) Umbel, J. D., Hoffman, R. L., Dearth, D. J., Chleboun, G. S., Manini, T. M., Clark, B. C: Delayed-onset muscle soreness induced by low-load blood flow-restricted exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 107: 687-695, 2009.
 - 26) 安田智洋: サルコペニアに対する血流制限下トレーニング, 月刊「細胞」, 2018年10月臨時増刊号, 北隆館, 東京, pp. 658-661, 2018.
 - 27) Yasuda, T: Development of prevention and treatment of sarcopenia by strength training with blood flow restriction, *Impact*, 6: 52-54, 2019.
 - 28) Yasuda, T., Abe, T., Brechue, W. F., Iida, H., Takano, H., Meguro, K., Kurano, M., Fujita, S., Nakajima, T: Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression, *Metabolism*, 59: 1510-1519, 2010.
 - 29) Yasuda, T., Abe, T., Sato, Y., Midorikawa, T., Kearns, C. F., Inoue, K., Ryushi, T., Ishii, N: Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 1: 65-70, 2005.
 - 30) Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Sato, Y., Abe, T: Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training, *J. Sports Sci. Med.*, 7: 467-474, 2008.
 - 31) Yasuda, T., Brechue, W. F., Fujita, T., Shirakawa, J., Sato, Y., Abe, T: Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow, *J. Sports Sci.*, 27: 479-489, 2009.
 - 32) Yasuda, T., Fukumura, K., Iida, H., Nakajima, T: Effects of detraining after blood flow-restricted low-load elastic band training on muscle size and arterial stiffness in older

- women, Springerplus, 4 : 348, 2015.
- 33) Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Iida, H., Imuta, H., Sato, Y., Yamasoba, T., Nakajima, T : Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 24 : 55-61, 2014.
 - 34) Yasuda, T., Fukumura, K., Fukuda, T., Uchida, Y., Iida, H., Meguro, M., Sato, Y., Yamasoba, T., Nakajima, T : Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults, *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 24 : 799-806, 2014.
 - 35) Yasuda, T., Fukumura, K., Sato, Y., Yamasoba, T., Nakajima, T : Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity training on muscle size and strength in older adults, *Aging Clin. Exp. Res.*, 26 : 561-564, 2014.
 - 36) Yasuda, T., Fukumura, K., Tomaru, T., Nakajima, T : Thigh muscle size and vascular function after blood flow-restricted elastic band training in older women, *Oncotarget*, 7 : 33595-33607, 2016.
 - 37) Yasuda, T., Fukumura, K., Uchida, Y., Koshi, H., Iida, H., Masamune, K., Yamasoba, T., Sato, Y., Nakajima, T : Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults, *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*, 70 : 950-958, 2015.
 - 38) Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sato, Y., Abe, T : Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy : a pilot study, *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 30 : 338-343, 2010.
 - 39) Yasuda, T., Fujita, T., Miyagi, Y., Kubota, Y., Sato, Y., Nakajima, T., Bembem, M. G., Abe, T : Electromyographic responses of arm and chest muscle during bench press exercise with and without KAATSU, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 2 : 15-18, 2006.
 - 40) Yasuda, T., Loenneke, J. P., Ogasawara, R., Abe, T : Effects of short-term detraining following blood flow restricted low-intensity training on muscle size and strength, *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 35 : 71-75, 2015.
 - 41) Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Abe, T : Effects of low-intensity blood flow restricted concentric or eccentric training on muscle size and strength, *PLoS One*, 7 : e52843, 2012.
 - 42) Yasuda, T., Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Abe, T : Effects of detraining after blood flow-restricted low-intensity concentric or eccentric training on muscle size and strength, *J. Physiol. Sci.*, 65 : 139-144, 2015.
 - 43) Yasuda, T., Meguro, M., Sato, Y., Nakajima, T : Use and safety of KAATSU training : Results of a national survey in 2016, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 1 : 1-9, 2017.
 - 44) Yasuda, T., Ogasawara, R., Sakamaki, M., Ozaki, H., Sato, Y., Abe, T : Combined effects of low-intensity blood flow restriction training and high-intensity resistance training on muscle strength and size, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111 : 2525-2533, 2011.
 - 45) Yasuda, T., Oosumi, S., Sugimoto, S., Morita, T., Sato, Y., Ishii, M., Nakajima, T : Effect of KAATSU training on thigh muscle size and safety for a patient with knee meniscectomy over 3 years, *Int. J. KAATSU Training Res.*, 13 : 11-14, 2017.