

新しい機器を用いた血流制限トレーニングの基礎研究

著者	河鱒 一彦, 廣田 音奏, 長谷川 健人, 天野 勝弘
雑誌名	Human Welfare : HW
巻	14
号	1
ページ	41-47
発行年	2022-03-10
URL	http://hdl.handle.net/10236/00030126

[論 文]

新しい機器を用いた血流制限トレーニングの基礎研究

河 緒 一 彦*¹、廣 田 音 奏*²
長谷川 健 人*³、天 野 勝 弘*⁴

要約：

国民医療費の増大するなか予防医学への期待が大きくなっている。予防医学は多岐にわたるが、身体運動を対象者に賦活し「ロコモティブシンドローム」「サルコペニア」「フレイル」などの運動器に関係する疾患を予防・改善することは予防医学の重大な課題である。近年、加圧や電気刺激、振動を身体運動中の身体に課すことで、これまで運動成果が現れないと言われてきた低強度短時間運動でも筋力増加や筋肥大がみられるとする報告が多くある。これらのうち身体各分節、特に四肢と体幹の接合部（腋下、鼠径部）をベルトで加圧した血流制限（BFR：Blood Flow Restriction）状況下で筋力トレーニングをすると低強度短時間で筋機能や形態が改善するとして「加圧トレーニング」が著名である。本研究においては加圧トレーニングで用いられた BFR から導かれる RIC（Regional & Remote Ischemic conditioning）を新しい機器を用いて被験者に賦活し3回行われた短時間激運動の運動成果に対する効果を検証した。上記手順から得られた新しい知見を報告する。

キーワード：マルチカフ、加圧、BFR、RIC、ペダリング、疲労

緒言

国民医療費増大への対応を考えることは、超高齢社会を突入した我が国において国家的課題である。国民医療費に占める後期高齢者医療給付分は、平成30年度ベースで全体の34.7%となっている¹⁾。高齢者が増加していく社会では、医療費増加は避けられないことである。もちろん、医療費の増加の因子は「高齢者の増加」だけではなく、「医学・医療の進歩、新技術の導入」「疾病構造・対照変化」もあげられる。けれども、人口の高齢化に伴う「高齢者の増加」が国民医療費増大傾向の重要な因子であることは明らかである。近年、治療医学の重要性を前提にして「予防医学」

の重要性が指摘され続けている。予防医学とは「preventive medicine 治療医学に対応して用いられるが、わが国では公衆衛生と同義語に用いられがちである－南山道医学大事典第19版－」とされる。2019年8月28日 東洋経済 ONLINE に「予防医学の重要性を述べるとともに予防医学の医療費削減効果があるか否かを検証するべきである」とする記事が掲載された²⁾。この記事においては予防医学の重要性とともに、予防医学の玉石混交状態が指摘されていた。ここで予防医学を俯瞰すると医学・医療を背景とした予防医学の潮流がある。一方、1986年に開催された第1回ヘルスプロモーションに関する国際会議において、世界保健機関によって提唱されオタワ憲章に掲載された「人々に健康づくりの能力を付与するととも

*1 関西学院大学人間福祉学部教授

*2 兵庫県立大学大学院環境人間学研究所博士後期課程

*3 関西学院大学大学院人間福祉研究科博士課程前期課程

*4 環太平洋大学スポーツ科学センター客員教授

1) 厚生労働省ホームページ平成30年国民医療の動向 政策統括参事官付保健統計室令和2年11月30日 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-iryohi/18/dl/data.pdf>

2) 日本人は医療費増大の本質をわかっていない 抑制狙うなら効果的な予防を推進すべきだ. 東洋経済 ONLINE.2019/08/28

に、医療や保健ばかりでなく、あらゆる社会的環境を巻き込んで、(疾病対策を超えた)生活・人生に関わる良好な状態の積極的な実現をめざす公衆衛生である」とする「より包括的な潮流」があげられる³⁾。筆者らが所属する日本スポーツ体育健康学術連合の分野においても、医学者・医師以外の研究者が予防医学に応用可能なテーマに対して積極的に参加している事実がある。近年、健康に関する医学、健康科学の分野において「ロコモティブシンドローム(加齢に伴う筋力の低下や関節や脊椎の病気、骨粗しょう症などにより運動器の機能が衰えて、要介護や寝たきりになること、またそのリスクの高い状態)」「サルコペニア(加齢による筋肉量の減少および筋力)」「フレイル(加齢により心身が老い衰えた状態)」という言葉聞くことが多い。これらの言語は「骨や骨格筋」いわゆる「運動器」が加齢により退行する、あるいは運動器の退行が加齢現象を促進し各種疾病が顕在化することを表現していると言える。ここで述べられている「加齢に関する運動器問題」に対して、電気刺激や振動刺激を骨格筋に賦活することにより低強度負荷で安全に、しかも高齢者を対象にしても「筋機能改善が見込まれる」とする機器がメディアに登場している⁴⁾⁵⁾。あるいはストレッチ体操を充分に行えば「血圧状態が改善される」とする学術研究もある⁶⁾。これら「予防医学的トレーニング」の特徴は、これまでかなり高強度長時間トレーニング行わないと改善しないとされた運動器機能が機器の補助や新たな視点からのトレーニング方法を行うことで従来提唱されていたものよりも「低強度短時間」で改善されるとする点である。

本研究の血流制限(Blood Flow Restriction)トレーニングとは上肢あるいは下肢と体幹の間に特殊なベルトを装着した後、加圧し血流制限を行いながら筋力トレーニングをおこなうと、これまで

トレーニング効果が起きないとされる低負荷でも筋力増加などの効果が得られるとするものである⁷⁾。巷間言われる「加圧トレーニング」が代表的なものである。本研究においてはこの「加圧トレーニング」から発展改良されたMCC(Multi Cuff Care)法をもちいる。MCC機器は安全に低強度でトレーニング効果が発現することや高強度激運動からの運動機能回復に効果があるとされている。本研究においては高度に鍛錬された競技者に高強度運動を賦活しMCC機器の介入により運動機能の改善(いわゆる疲労回復)が導かれるかを検証する。

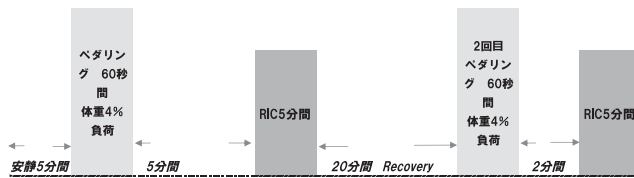
方法

本研究の被験者はK学院大学体育会陸上部に所属する12名であった。実験に先立ち被験者に本研究の目的・意義、背景、方法、予想される危険性、拘束時間等に関する説明を文章と口頭で行い、本研究に参加する同意を得た。その後、被験者は同意文書に署名捺印した。被験者の特徴は身長 $173.9\text{ cm} \pm 4.8\text{ cm}$ 、体重 $65.5\text{ kg} \pm 7.5\text{ kg}$ 、体脂肪率 $10.3\% \pm 1.8\%$ 、年齢 $20.4\text{ 歳} \pm 1.0\text{ 歳}$ であった。図1に実験手順を示している。被験者を無作為に1グループ6人、2グループに分け本実験班とコントロール班に分けた。1日目の本実験班は実験室到着の後、5分間の椅座位安静5分、パワーマックスV(コンビ社製 本研究用にカスタマイズされている)を用いて体重の4%の負荷、60秒間の全力ペダリングを行った。全力ペダリング後、直ちに椅子座位に移行し5分間の安静後、MCC II(愛知電子工業株式会社製)を用いてRIC(Regional Ischemic Conditioning:局所的虚血コンディショニング)とRemote Ischemic Conditioning:遠隔虚血コンディショニングの2つの意味を持つ)状態に直ちに導き、この状態を5分

- 3) 石井敏広. ヘルスプロモーションの新しさと公衆衛生従事者の教育研修. 保健医療科学 48(3), pp 199-209, 1999.
- 4) 浜田拓, 林達也, 森谷敏夫. 筋電気刺激(EMS)を利用した生活習慣病改善の可能性. 生体医工学 18(11), pp 35-41, 2002.
- 5) 神里巖, 城野靖朋, 粕渕賢志. 振動刺激による運動錯覚が固有感覚機能に及ぼす影響. 理学療法科学 33(3), pp 385-388, 2018.
- 6) 斎藤辰哉, 高原皓全, 吉岡哲, 小野寺昇. 継続的な水中でのストレッチングが動脈ステイフネスに及ぼす影響. 川崎医療福祉学会誌 20(2), pp 513-517, 2011.
- 7) 安田智洋. 血流制限トレーニング, トレーニング科学 31(4), pp 169-178, 2020.

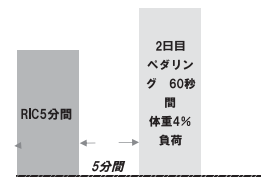
1日目

本実験班プロトコル

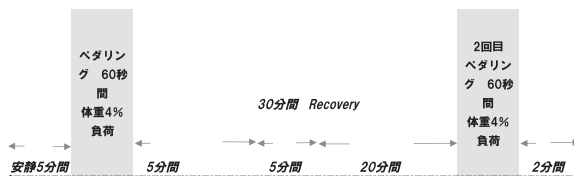


2日目

本実験班プロトコル



コントロール班プロトコル



コントロール班プロトコル

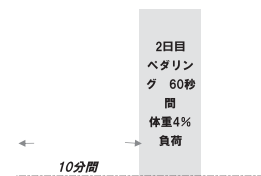


図1 本研究の実験プロトコル

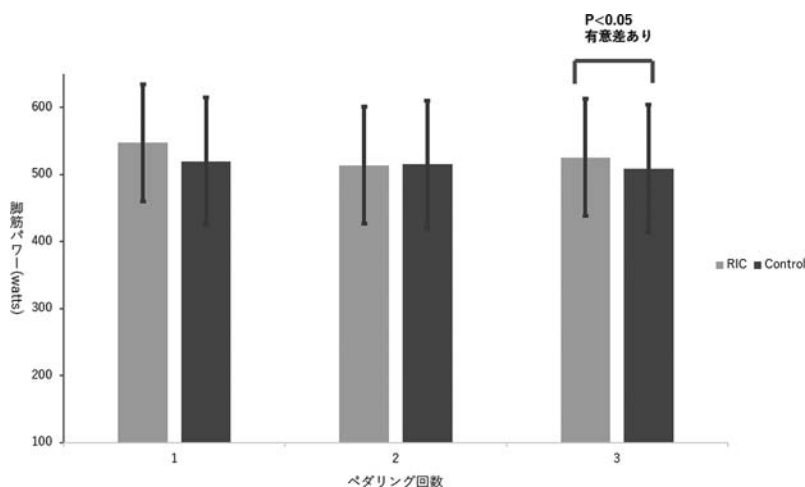


図2 RICを課した本実験班とコントロール班から得られたピークパワー値の比較

間維持した。MMC IIの加圧モードはオートとし10秒以内には250 mmHgまで加圧し、この状態を維持することができた。加圧部位はペダリング運動の主動筋が集まる左右大腿部とした。RIC状態を5分間維持したのち20分間の椅子座位安静後、再び同じ条件で2回目のペダリングを行った。2回目の全力ペダリング2分後に再びMMC IIを用いて大腿部のRIC状態を5分間維持した。本実験班プロトコルに対してコントロール班の1日目のプロトコルは以下である。実験室到着後、椅子座位安静5分の後、パワーマックス V用いて体重の4%の負荷、60秒間の全力ペダリング

を行った。全力ペダリング後直ちに椅子座位に移行し30分間椅子座位安静の後、2回目ペダリングを同じ負荷で行った。その後2分間の安静のち実験終了とした。つまり、コントロール班は全力ペダリングを30分間隔で2回のみ行ったことになる。本実験班は2回の全力ペダリングの間と2回目のペダリング後にRIC状態を課したことになる。2日目の本実験班は実験室到着後直ちにRIC状態がMMC IIにより5分間課された後、5分間の椅子座位安静後、1日目と同負荷・同時間条件を用いて全力ペダリングを行った。コントロール班の2日目実験プロトコルは以下である。被

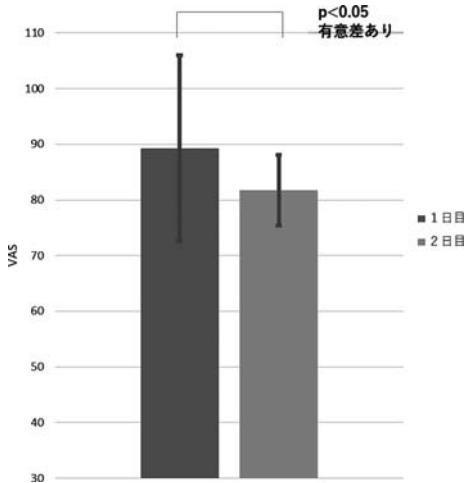


図 3 VAS 用いて測定した「きつさ」の結果
RIC 使用時 1 日目と 2 日目の比較

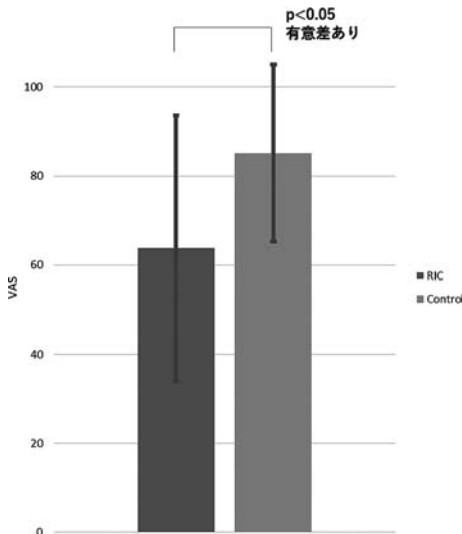


図 4 VAS 用いて測定した「疲労度」の結果
1 日目 RIC 使用時とコントロールの比較

験者は実験室到着後 10 分間椅子座位安静したのち同じ負荷・時間条件の設定下で全力ペダリングを行った。1 日目と 2 日目の実験後、各被験者に主観的な「きつさ」「疲労度」を VAS (Visual Analog Scale) を用いて測定した。1 回目の実験の 12 日後、本実験班とコントロール班をそのまま入れ替え同じプロトコルの実験を行った。結果、本実験班、コントロール班とも実験参加人数は、のべ 12 名となった。全力ペダリング測定か

ら得られた資料はペダリング回転数と負荷の積から得られるサンプリングタイム 0.1 秒の瞬時パワーの最高値を「ピークパワー値」とした。瞬時パワーの 60 秒間積算値を「総仕事量」とした。更にピークパワー値とペダリング 60 秒後終了時の瞬時パワー値の割合を「パワー低下率」とした。統計処理は t 検定を用い、危険率 5% 以下で処理をした。

結果

実験の結果、「総仕事量」「パワー低下率」には RIC を課した本実験班と RIC を課さなかったコントロール班には有意差がみられなかった。「ピークパワー値」に関しては 1 回目 (1 日目の 1 回目ペダリング)、2 回目 (1 日目の 2 回目ペダリング) に関して本実験班とコントロール班の間に有意差はみられなかった。しかし、3 回目ペダリング (2 日目のペダリング) には 5% 水準で有意差がみられた (図 2)。ピークパワー値の発現時間は全被験者の全試行とも 10 秒以内であった。VAS を用いた被験者から得られたペダリング後の「きつさ」と「疲労度」に関する主観的評価は以下であった。「きつさ」に関しては RIC を課した本実験班において 1 日目より 2 日目の主観的評価値が有意に低くなっていることが明らかになった。「疲労度」に関しては 1 日目実験終了後に測定した値が RIC を課した本実験班の値がコントロール班より有意に低い値となった。

議論

本研究は新しい視点で開発された MMC II を用いて RIC を行い、その効果が激運動ペダリングを 2 日間に 3 回行うことの、運動成果への影響を検証した研究になる。そもそも MMC 法発想の原点になった「加圧トレーニング」は佐藤義昭氏によって提唱され、1994 年にこれまでトレーニングの分野では、トレーニング機器や装置に与えられていた特許が「加圧トレーニング方法」について与えられ当時話題になった⁸⁾。佐藤氏が提唱

8) KAATSU Global Inc <https://www.kaatsu.com/>

した加圧トレーニングは「法事に参加した際、正座を行ったときに筋力トレーニングと同じ感覚があった」ことからの発想であると述べている⁹⁾。その後、特許権が切れたことにより多くの類似的トレーニング・コンディショニングが登場している。本研究で用いられている MMC 法は「加圧トレーニング」のような一本のベルトではなく数本のベルトを組み合わせたマルチマフを作成し、より BFR の作用を強めていると考えることができる。マルチマフを発明し特許を取得したのは福田博司医学博士・医師と山崎由久医学博士であった。当初、加圧トレーニングを実施していたが、その後、それぞれ独自の路線を歩みマルチマフを開発した¹⁰⁾。MCC 法は Murry ら¹¹⁾が「イヌを対象とした虚血プレコンディショニング (Ischemic Preconditioning) が心臓の 40 分間冠動脈閉塞モデルに対して 5 分間の冠動脈閉塞と再灌流を繰り返すことにより予後の成績が上がった」とする報告に基づいている。さらに Przyklenk, k. ら¹²⁾が心臓の梗塞発生箇所以外の虚血状態をつくることで予後が良いことが報告された。上述した 2 種類の R (Regional: 局所と Remote: 遠隔) + IC (Ischemic Conditioning: 虚血コンディショニング) の意味を持つ RIC が今回、新しい発想で開発された MMC 法の理論的根幹である。加圧トレーニングは現象論から理論背景となるエビデンスを積み上げていった¹³⁾¹⁴⁾。これに対して MMC 法は「基礎研究で得られたエビデンスを持った事象を応用科学の現場に持ち込んでいく」といったアプロー

チの差があることは興味深い事実である。本研究の「きつさ」「疲労度」に関する主観的評価は MMC 法でおこなった RIC の効果を示唆するものであった。しかし、本研究においては被験者が実験に参加する事前説明において「MMC を用いての RIC 効果の検証の実施とその理論的背景」について説明しており心理的バイアスがかかっていることは否定できない。本研究においては「MMC 法を用いた RIC 効果が被験者の主観的評価について影響を与えた」とする示唆の精度は限定的であると考えられる。全力ペダリングの運動成果に「MMC を用いた RIC 効果」はピークパワー値のみにみられた。2 日目の 3 回目全力ペダリングに RIC を課した本実験班が RIC の課されていないコントロール班より有意に高い値を得ることができた。ピークパワー値の発現が運動時間 10 秒以内であることから動員されるエネルギー供給系は主に ATP-PC 系であると考えられる (ATP-PC 系を動員するのは筋の速筋単位でありピークパワー値の構成要素の主たるものも速筋単位であると考えられている)。Yasuda ら¹⁵⁾¹⁶⁾は加圧トレーニングの方式を用いた実験構成から血流制限下の筋収縮は速筋線維を多く動員している可能性を示唆している。これまで加圧トレーニングについては現象論だけでなく加圧トレーニングを賦活した際の生化学的資料の分析が精緻になされている¹⁷⁾。本研究の結果から MMC II を用いた BFR 状態が速筋線維に何らかの影響を与え、3 回目全力ペダリングの高い値を導いた可能性を示唆

9) 佐藤義明, 石井直方, 中島敏明, 安部孝. 加圧トレーニングの理論と実践, KS スポーツ医学書, 2007.

10) 一般社団法人 MCA 学会, MCA 学会認定 MCC 講習会テキスト pp 12-15

11) Murry C E, R B Jennings and K A Reimer. Preconditioning with ischemia: a delay of lethal cell injury in ischemic myocardium. *Circulation* 74(5), pp 1124-1136, 1986.

12) Przyklenk K, Bauer B, Ovize M, Kloner RA, Whittaker P. Regional ischemic 'preconditioning' protects remote virgin myocardium from subsequent sustained coronary occlusion. *Circulation* 87(3), pp 893-899, 1993.

13) Takarada, Yudai, Haruo Takazawa, Yoshiaki Sato, Shigeo Takebayashi, Yasuhiro Tanaka, and Naokata Ishii. Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 88: pp 2097-2106, 2000.

14) Takarada, Yudai, Haruo Takazawa, Naokata Ishii. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, pp 2035-2039, 2000.

15) T. Yasuda, T. Abe, Y. Sato, T. Midorikawa, C. F. Kearns K. Inoue, T. Ryushi, N. Ishii. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *J. KAATSU Training Res.* 2005(1), pp.65-70, 2005.

16) T. Yasuda, T. Abe et al Venous blood gas and metabolite response to low-intensity muscle contractions with external limb compression. *Metabolism* 59(10), pp 1510-1519, 2010.

17) Takarada Yudai, Yutaka Nakamura, Seji Aruga, Tetuya Onoda, Seiji Miyazaki, Naotaka Ishii, Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion, *J Appl. Physiol* 88, pp 61-65, 2000.

される。しかし、MMC 法を用いて RIC や BFR 導くことの有用性を示すためには先行研究があまりに少ないと考えられる¹⁸⁾。今後は MMC 法の

更なる有効性を導くためには多くの研究者が参加する学術コミュニティの構築が重要になることを提言する。

18) 野田哲由, 上岡尚代, 高齢者における MC 加圧トレーニング (マルチカフ加圧トレーニング) の影響について, 了徳寺大学紀要 14, pp 99-104, 2020.

Basic Research on Blood Flow Restriction Training Using New Experimental Equipment

Kazuhiko Kawabata*¹, Okana Hirota*²
Kento Hasegawa*³, Katuhiro Amano*⁴

ABSTRACT

While preventive medicine covers a wide range of fields, the prevention and improvement of motor system-related diseases and conditions such as “locomotive syndrome,” “sarcopenia” and “frailty” by stimulating physical exercise in patients is an important issue. Recent years have seen many reports of increased muscle strength and muscle hypertrophy by subjecting the body to stimuli such as pressurization, electrical stimulation, or vibration, even with short-duration low-intensity training, a method that has so far been said to have little effect in terms of physical enhancement. Among these, “Kaatsu training” is well known as a method that has been said to improve muscle function and morphology through short-duration low-intensity muscle training with the blood flow restricted (BDR : Blood Flow Restriction) by a pressurizing belt fastened around articulations in the body, particularly the joints between the limbs and trunk of the body (armpit and groin regions). This study reports on knowledge acquired through verification of the results of vigorous exercise performed three times with the test subject stimulated by RIC (Regional and Remote Ischemic Conditioning) using a new device, a method based on BFR used in Kaatsu training.

Key words : Multi-cuff, pressurization, BFR, RIC, pedaling, fatigue

* 1 Professor, School of Human Welfare Studies, Kwansei Gakuin University

* 2 Student of Doctor course, Graduate School of Human Science and Environment, University of Hyogo

* 3 Student of Master course, Graduate School of Human Welfare Studies, Kwansei Gakuin University

* 4 Visiting Professor, Institute of Sports Sciences, Internatinal Pacific University