

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：34415

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11166

研究課題名（和文）加圧トレーニングを応用した新規心臓リハビリテーションの開発

研究課題名（英文）Development of a novel cardiac rehabilitation method based on the KAATSU training

研究代表者

植松 梓（UEMATSU, Azusa）

追手門学院大学・社会学部・准教授

研究者番号：60613453

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、加圧トレーニングを応用した有酸素運動による心疾患患者のリハビリテーションに期待される効果と安全性に関する科学的基礎資料を得るために、下肢近位部加圧が健常者の自転車エルゴメータ運動中における大腿直筋活動動態と呼吸循環動態を検討した。主な結果として、両下肢近位端の加圧によって、加圧なし条件よりも自転車エルゴメータ運動中の換気性作業閾値に至る運動負荷が低下すること、心拍数と酸素摂取量が低下すること、大腿直筋活動は低下しないことが明らかとなった。これらの結果と先行研究から、加圧自転車エルゴメータ運動は身体的負荷を抑えながら筋力・筋量と最大酸素摂取量を向上させられる可能性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加圧トレーニングを応用した心臓リハビリテーションは、臨床現場から期待が寄せられているものの安全性に関する科学的検討が十分に進んでいるとは言えなかった。本研究結果に依って、我々は、加圧レジスタンス運動だけでなく、加圧有酸素運動も心臓リハビリテーションの安全かつ有用な選択肢になる可能性を示すことが出来たと考えている。

研究成果の概要（英文）：This project was a pilot study to examine the possibility that low-intensity aerobic exercise with blood flow restriction (BFR) can be an adjuvant for cardiac rehabilitation. We examined rectus femoris muscle activation and cardiorespiratory responses during cycling at the ventilatory threshold with or without BFR in healthy males. BFR decreased exercise intensity at ventilatory threshold, heart rate, oxygen consumption, but did not decrease rectus femoris muscle activation. Based on the previous study, these results suggest that aerobic exercise with BFR at ventilatory threshold intensity has the potential to be an effective option for cardiac rehabilitation.

研究分野：リハビリテーション科学，スポーツ科学，健康科学

キーワード：加圧トレーニング 有酸素運動 低強度運動

1. 研究開始当初の背景

心疾患患者のリハビリテーションでは、心肺能力向上を目的とする有酸素運動の処方が一般的である。そして、実際の心臓リハビリテーションでは、無酸素性作業閾値 (AT) 未満の強度での有酸素運動が勧められている (Makita et al., 2022)。心疾患患者は長期入院等に起因した筋力低下が大きいため筋力向上も必要であるが、心臓リハビリテーションに用いられる運動強度では筋力向上や筋肥大は期待できない。また、心臓リハビリテーションで高強度の運動は不整脈や心不全の誘発リスクがある (Atkins et al., 1976)。これらを踏まえると、心肺能力と筋力を向上させる低強度運動プログラムがあれば、心疾患患者のリハビリテーションを促進させると考えられる。そこで申請者は、低強度運動で筋肥大および筋力向上させられる加圧トレーニングに着目した。

臨床研究では、虚血性心疾患患者における軽負荷の加圧トレーニングにより筋肥大が起き筋力が向上したことが報告されている (Nakajima et al., 2010)。この報告を裏付けるエビデンスとして、申請者らは最大挙上量の 10% という軽負荷において心疾患患者の下肢筋活動が増大することを明らかにした (Ishizaka et al., 2019)。しかし、これらの研究は全て筋力向上を目的としたレジスタンス運動であり、心臓リハビリテーションの主運動である有酸素運動については不明な点が多い。実際、加圧トレーニングに関するレジスタンス運動の効果とその機序については活発に研究されているが、有酸素トレーニングの効果・機序については研究が十分に進んでいるとは言えず、有酸素運動に対する加圧条件の標準的ガイドラインも確立されていない (Patterson et al., 2019)。

心疾患患者の加圧トレーニングにおける安全性は、アンケート調査による安全の確認 (Yasuda et al., 2017)、1000 例以上の臨床データから重篤な副作用および血液凝固系への悪影響がないこと (Nakajima et al., 2006) が報告されている。一方、加圧トレーニング中の循環動態調査は乏しく、心疾患患者へ臨床応用するには心血管反応への科学的安全性が不十分という懸念もあり (Spranger et al., 2015)、実施施設が少ない状況であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、加圧トレーニングを応用した有酸素運動による心疾患患者のリハビリテーションに期待される効果と安全性に関する科学的基礎資料を得るために、下肢近位部加圧が健常者の自転車エルゴメータ運動中における下肢筋活動動態と循環動態を明らかにすることであった。

3. 研究の方法

研究計画では、換気性作業閾値レベルを加圧なし条件で決定し加圧あり条件で運動を行わせる予定であったが、その後の議論の結果、換気性作業閾値に至る運動負荷が加圧の有無によって変わる可能性が考えられた。そのため、まずは予備的実験として、健常成人男性 (23 歳) を対象とした両下肢近位端の加圧あり・なし条件での運動負荷試験を行い、大腿直筋活動、心拍数、主観的運動強度、呼吸苦がどのように変化するか検討した (2020 年度)。

次に、健常成人男性 11 名 (26.3 ± 4.6 歳) を被験者とし、両下肢近位端の加圧あり・なし条件での運動負荷試験を行い、大腿直筋活動、心拍数、酸素消費量、主観的運動強度、呼吸苦、血圧を測定した。当初はこれらの測定を速やかに実施する計画であったが、新型コロナウイルス禍によって実験を計画通りに組めず、2 年かけて実施することになった (2021, 2022 年度)。2023 年度は、得られた研究成果を学術論文にまとめ発表した。

4. 研究成果

健常成人男性 1 名を対象とした予備的実験の結果、両下肢近位端の加圧により換気性作業閾値に至る運動負荷が大きく低下することが明らかになった (表 1, Mizushima et al., 2020 より引用)。このことから、同一の運動負荷における加圧あり・なし条件での比較ではなく、呼吸循環応答に基づいて決定される換気性作業閾値レベル間で比較することが重要であると考えられた。この予備的実験においても大腿直筋活動、心拍数、主観的運動強度、呼吸苦を測定し、結果をケースレポートとして報告している (Mizushima et al., 2020) が、これらは次の研究成果に含めて報告する。

Table 1. Exercise intensity just below AT with and without KAATSU

	With KAATSU	Without KAATSU
Exercise intensity (W)	70	120

AT, anaerobic threshold

健康成人男性 11 名を対象とした実験によって、換気性作業閾値に到達する運動負荷が加圧なし条件 ($104.2 \pm 30.3W$) よりも加圧あり条件 ($70.0 \pm 26.1W$, $P < 0.001$, $d = 1.21$) の方が低くなる事が統計的に示された。このとき、心拍数と酸素摂取量は加圧あり条件の方が低かった(図 1, Uematsu et al., 2023 より引用)。

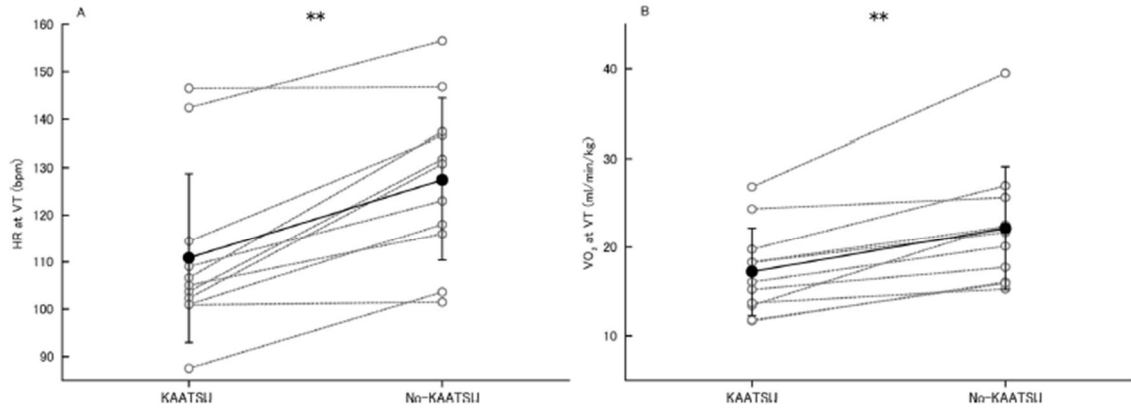


Fig 1. HR (A) and VO_2 (B) at VT in KAATSU and no-KAATSU. Open gray circles connected by gray dotted line: Individual data, filled black circles connected by black line: Mean data with SD, HR: Heart rate, KAATSU: Exercise with blood flow restriction, no-KAATSU: Exercise without blood flow restriction, VT: Ventilatory threshold, **: Significant difference at $P < 0.001$.

主観的運動強度は変わらないが呼吸苦は加圧あり条件の方が低く(図 2, Uematsu et al., 2023 より引用), 二重積は加圧ありの方が低かった。(表 1, Uematsu et al., 2023 より引用),

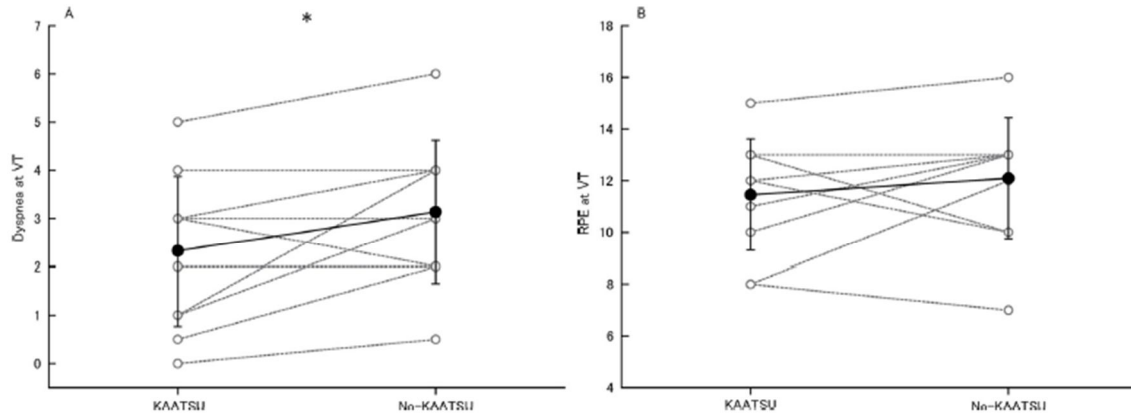


Fig 2. Dyspnea (A) and RPE (B) at VT in KAATSU and no-KAATSU. Open gray circles connected by gray dotted line: Individual data, filled black circles connected by black line: Mean data with SD, HR: Heart rate, KAATSU: Exercise with blood flow restriction, no-KAATSU: Exercise without blood flow restriction, VT: Ventilatory threshold, *: Significant difference at $P < 0.05$.

Table 1. BP and DP at VT in KAATSU and no-KAATSU.

Variables	KAATSU	No-KAATSU
sBP	138.1 ± 25.2	150.5 ± 25.0
dBp	74.2 ± 14.6	74.3 ± 15.6
DP	15583.2 ± 5265.8 **	19428.8 ± 5471.2

Data are represented as mean \pm SD.

** : Lower than no-KAATSU at $P < 0.01$.

BP: Blood pressure, mmHg.

sBP: Systolic blood pressure, mmHg.

dBp: Diastolic blood pressure, mmHg.

DP: Double product, mmHg \times bpm.

KAATSU: Exercise with thigh blood flow restriction.

No-KAATSU: Exercise without thigh blood flow restriction.

VT: Ventilatory threshold.

大腿直筋活動は両条件間で変わらなかった(図 3, Uematsu et al., 2023 より引用)。

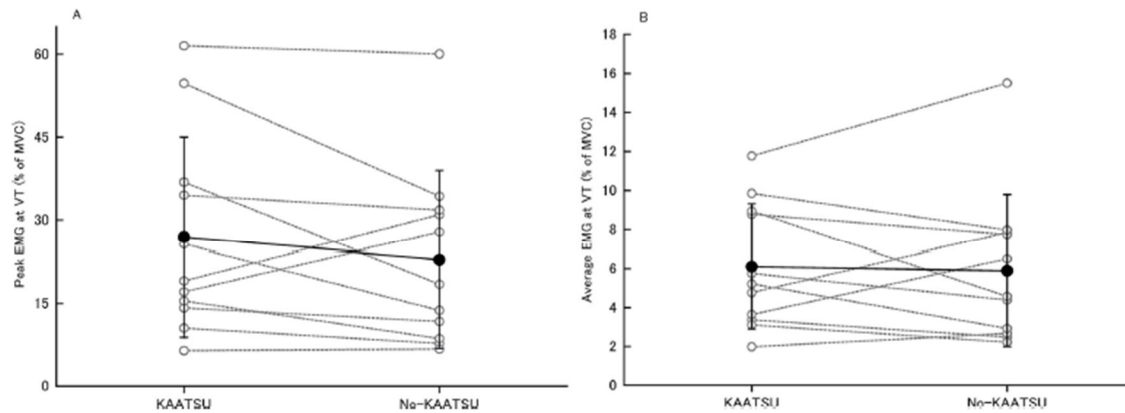


Fig 3. Peak (A) and average (B) EMG activity of right rectus femoris during knee extension phase at VT in KAATSU and no-KAATSU. Open gray circles connected by gray dotted line: Individual data, filled black circles connected by black line: Mean data with SE, HR: Heart rate, KAATSU: Exercise with blood flow restriction, no-KAATSU: Exercise without blood flow restriction, VT: Ventilatory threshold.

これらの結果から、両下肢近位端の加圧によって換気性作業閾値に至る運動負荷が低下するため、実際の心臓リハビリテーションに加圧トレーニングを応用する場合は加圧なしよりもやや低めに運動負荷を設定しなければ換気性作業閾値を超えてしまう可能性が考えられた。しかし、呼吸循環動態をモニターしながら換気性作業閾値の運動負荷を適切に設定できれば、加圧なし条件よりも生理学的負荷が低くなることが示唆された。

先行研究によって、最大酸素摂取量の40%の運動負荷を用いた加圧トレーニングが筋力、筋量、最大酸素摂取量を増大させることが報告されている (Abe et al., 2010, Conceicao et al., 2019)。本実験で着目した加圧あり条件における換気性作業閾値レベルの運動負荷は、加圧なし条件における最大酸素摂取量の46.6%に相当していた。したがって、換気性作業閾値レベルでの加圧自転車エルゴメータ運動は心臓リハビリテーションにおいて有用な効果をもたらす可能性が高いと考える。

本研究成果の限界は、健常成人男性を被験者とした結果であり実際の心疾患患者のデータではないという点である。Ishizaka et al. (2022) は加圧レジスタンス運動中の呼吸循環動態は健常成人と心疾患患者間で有意な差がないことを報告しているが、加圧有酸素運動でも同様であるかは検討課題である。また、1分毎に負荷を漸増させていく実験プロトコルであったが、実際の心臓リハビリテーションでは少なくとも10分間の有酸素運動が処方されるため、運動時間が長くなった場合の呼吸循環動態を調べることも検討課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Uematsu A, Mizushima Y, Ishizaka H, Hortobagyi T, Mizushima T, Toyoda S, Nakajima T	4. 巻 18 (12)
2. 論文標題 Blood flow restriction reduces the increases in cardiorespiratory responses and subjective burden without inhibiting muscular activity during cycling at ventilatory threshold in healthy males	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0294524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0294524	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Ishizaka H, Mizushima Y, Uematsu A, Fukuda T, Mizushima T, Toyoda S, Nakajima T	4. 巻 1 (4)
2. 論文標題 Respiratory and circulatory responses during low-intensity resistance exercise training using a KAASTU device in male patients with cardiovascular disease	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dokkyo Journal of Medical Sciences	6. 最初と最後の頁 317-326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.51040/dkmj.2022-032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ishizaka Hayato, Mizushima Yuta, Uematsu Azusa, Hirota Mitsuki, Sato Yoshiaki, Mizushima Takashi, Toyoda Shigeru, Nakajima Toshiaki	4. 巻 17
2. 論文標題 Effects of low-intensity resistance KAATSU training on respiratory and circulatory dynamics in healthy young men	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of KAATSU Training Research	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3806/ijktr.17.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 石坂勇人, 水嶋優太, 植松 梓, 廣田美槻, 佐藤義昭, 美津島隆, 豊田 茂, 中島敏明	4. 巻 11
2. 論文標題 健康若年者における軽負荷加圧トレーニング中の呼吸循環動態に及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本加圧トレーニング学会雑誌	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mizushima Yuta, Uematsu Azusa, Ishizaka Hayato, Toyoda Shigeru, Mizushima Takashi, Inoue Teruo, Sato Yoshiaki, Hortobagyi Tibor, Nakajima Toshiaki	4. 巻 16
2. 論文標題 The effects of moderate blood flow restriction induced by KAATSU on muscle activation, heart rate, and rate of perceived exertion during low-intensity aerobic exercise: A pilot study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of KAATSU Training Research	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3806/ijktr.16.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石坂勇人, 水嶋優太, 植松 梓, 山口すおみ, 八木 博, 中島敏明
2. 発表標題 健康若年者に対する加圧レッグエクステンション運動中の呼吸循環動態
3. 学会等名 第6回日本心臓リハビリテーション学会関東甲信越支部地方会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	中島 敏明 (Nakajima Toshiaki) (50227790)	獨協医科大学・医学部・特任教授 (32203)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------