

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：33501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12803

研究課題名（和文）臥位エルゴメータ運動機器を用いた慢性心不全患者の身体機能と運動プログラムの開発

研究課題名（英文）Development of physical function and exercise program for patients with chronic heart failure using supine ergometer exercise equipment

研究代表者

廣瀬 昇 (Hirose, Noboru)

帝京科学大学・医療科学部・准教授

研究者番号：60460391

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題は、臥位エルゴメータ運動機器を活用した運動において、慢性心不全患者の運動負荷量の違いが呼吸循環応答、筋活動量、自律神経活動および下肢骨格筋の末梢血行動態などの身体機能を網羅的に解析し運動プログラムを検討することであった。その結果、慢性心不全患者では、座位エルゴメータ運動と比較して、足背動脈の血流速度、前脛骨筋の筋活動量、交感神経活性に違いが認められた。さらに、二重積、自覚的運動強度は座位エルゴメータ運動と同等の運動負荷応答を示したため、臥位エルゴメータ運動の心負荷量が同等の運動様式であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、臥位エルゴメータ運動機器を活用した運動が、自律神経調整の破綻が生じやすい慢性心不全患者において、積極的な運動負荷を処方する前段階として取り組む運動様式としての有用性が示唆された。そのため、さらに運動の介入期間や慢性心不全の重症度分類の適応性を明らかにすることで、臥位エルゴメータ運動を臨床的に実用できる手がかりになると推察できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project was to comprehensively analyze the physical functions of patients with chronic heart failure, such as cardiorespiratory response, muscle activity, autonomic nerve activity, and peripheral hemodynamics of lower limb skeletal muscles, when exercising on a supine ergometer exercise machine, and to consider exercise programs based on the differences in exercise load in patients with chronic heart failure. As a result, differences were found in the blood flow velocity of the dorsalis pedis artery, muscle activity of the tibialis anterior muscle, and sympathetic nerve activity in patients with chronic heart failure compared to seated ergometer exercise. Furthermore, double products and perceived exertion showed exercise load responses equivalent to those of seated ergometer exercise, suggesting that supine ergometer exercise is an exercise style with a similar cardiac load.

研究分野：応用健康科学

キーワード：臥位エルゴメータ運動 運動療法 慢性心不全 運動負荷

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 虚弱高齢者や慢性心不全患者における運動処方は、交感神経亢進の機序に加えて、中枢神経系への求心性刺激の増加や圧受容体反射の感受性低下などを考慮するものの、運動処方に難渋する症例を多く経験する。臥位運動は除重力肢位であり、すべての疾患群において除重力肢位から抗重力肢位へのスムーズな身体環境の変換が安全で安楽に実施できることが予測され、早期からの運動介入が可能で早期回復に繋がると考えた。

(2) 臥位における運動様式は、半臥位の自転車エルゴメーターを用いたプログラムの検討、臥位での自転車エルゴメーターを用いた運動の呼吸・循環器系への影響などが以前より検討され、現在、腎臓リハビリテーションなどにも活用されて始めている。特に、臥位でのエルゴメーター運動は左房容量増分と肺動脈楔入圧増分が有用な非観血的前負荷指標となることや動脈圧受容器反射の影響を受けないことなどの安全性や負荷量増加と筋活動%MVCが正相関することなど、臥位エルゴメーター運動による生体反応の一部明らかになってきた。しかし、慢性心不全患者に対する適応性について検証している報告は少なく、十分に検証されていない。

(3) 臨床場面における実用化に向け、至適運動の基準範囲を検討することが重要であり、追求すべき内容である。さらに、臥位運動の活用は、現在までの報告から、呼吸循環反応、自律神経活動、ストレス反応などの指標により早期リハビリなどの運動特異性の活用が重要と考え、慢性心不全患者への適応を検討できると仮説を立てた。

## 2. 研究の目的

研究の目的は、臥位エルゴメーター運動機器を活用した運動において、慢性心不全患者の運動負荷量の違いが呼吸循環応答、筋活動量、自律神経活動および下肢骨格筋の末梢血行動態などの身体機能を同時計測し網羅的に解析することであった。さらに、解析結果を基に、高齢者に多い心不全患者を対象に、臥位エルゴメーター運動を多段階に設定された運動処方の手段を検討することであった。

## 3. 研究の方法

### (1) 運動負荷設定

研究デザインは慢性心不全患者を対象に分析的観察研究として、座位エルゴメーター運動 (Sit Ex 群) と臥位エルゴメーター運動 (Sup Ex 群) のそれぞれについて実施した。実施にあたり、被験者毎に運動強度を設定するために座位用自転車エルゴメーター使用し、心肺運動負荷試験の結果エルゴメーター取量(以下、Peak VO<sub>2</sub>)を算出した。実施方法は、ACSM'sの運動処方ガイドラインに準じて、負荷様式は ramp 負荷とし、4 分間の安静の後、3 分間の warmup を 10watts で行い、毎分 20watts 漸増させた。回転数は 50~55 回/分とし、回転数が保てなくなった時点で終了とした。得られた結果から各運動肢位別の運動強度の設定を行った。ACSM'sの運動処方ガイドラインにより、中強度 (VO<sub>2</sub> max の 40~60%) での運動が推奨されていることから、Sit Ex 群の運動強度を Peak VO<sub>2</sub> の 50%時の仕事率(50%peak load)とした。Sup Ex 群の運

動強度は臥位運動時の最大酸素摂取量は坐位運動に比べて 14%有意に低値を示すことから、50%peak load に加えて 14%低値 (50%-14%peak load) とした。

## (2) 実施プロトコール

座位運動では 4 分間の安静 (R) を取り、その後 20W3 分間の warmup(Wu)を行い、50%peak load にて 10 分の定常負荷(Ex)を実施し、運動後 3 分間の cool down(Cd)とした。臥位運動も同様に 4 分間の R を取り、その後 20W 3 分間の Wu を行い、50%peak load にて 10 分の Ex を実施し、運動後 3 分間の Cd とした。

## (3) 測定項目

### ①下肢血流測定

超音波画像診断装置 (LOGIQe: GE ヘルスケア・ジャパン株式会社) を用いて右足背動脈の位置を同定し、レーザ血流計 (ALF21R: 株式会社アドメデック) を用いて、右足背動脈の直上にプローブを貼り付け、運動中の血流量 (Flow) と血流速度 (Velocity) の測定を行った。

### ②表面筋電図測定

筋活動の測定には表面筋電計 (ノラクソン筋電計ウルティウム: 酒井医療株式会社) を用い、双極誘導にて導出することによって行った。被検筋は右側の大腿直筋 (RF)、大腿二頭筋外側頭 (BF)、前脛骨筋 (TA)、腓腹筋外側頭 (LG)、ヒラメ筋 (SO) の計 5 筋とした。

### ③自律神経活動測定

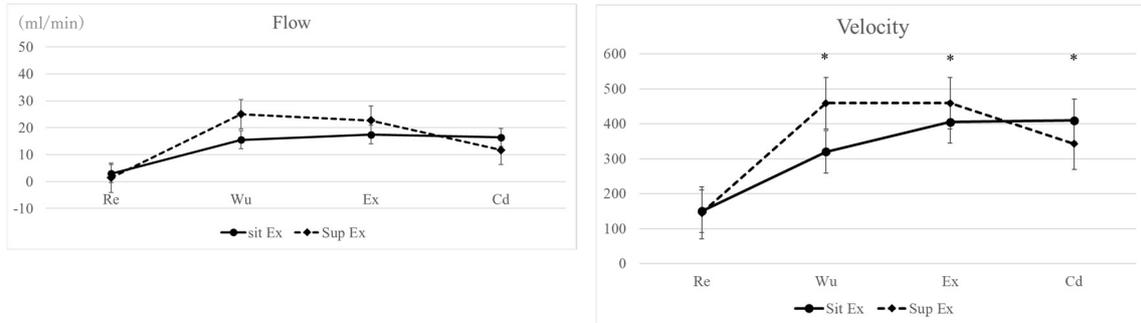
自律神経活動の測定にはメムカルク解析法 (Bonaly Light RF-ECG: EMG 社製) を用いた。RR 間隔を周波数解析し、0.15-0.4Hz を高周波成分(以下 HF 成分)、0.04-0.15Hz を低周波成分(以下 LH 成分)と定義し、LF 成分と HF 成分の比である LF/HF を計測した。

### ④生理学的検査

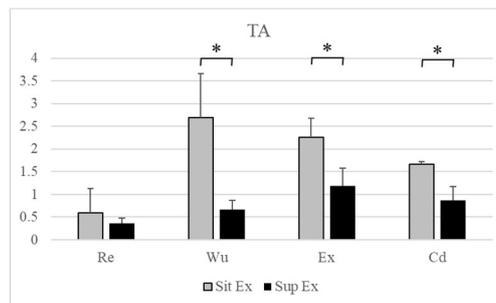
HR 測定は心電図 (ダイナスコープ 7000 シリーズ DS-7100 システム: フクダ電子株式会社)、収縮期血圧(systolic blood pressure: 以下、SBP)の測定は聴診法を用い、得られた HR と SBP の積から DP を算出し、Sit Ex 群と Sup Ex 群の各相での平均値を運動中の心負荷の指標として用いた。下肢疲労 (lower limbs) と呼吸疲労 (Body) の RPE を測定では、心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン) が推奨している旧 Borg Scale 表を用いた。

#### 4. 研究成果

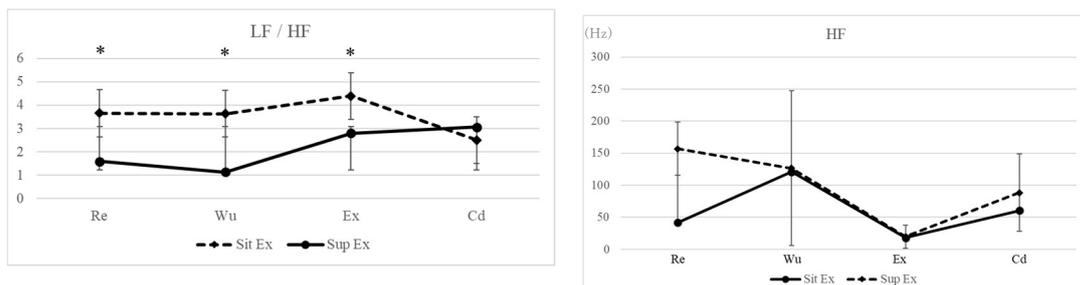
(1) 下肢血流において、Flow では Sit Ex 群と Sup Ex 群の間で有意差は認められなかった。Velocity では Sit Ex 群と比べ Sup Ex 群の Wu, Ex, Cd は有意な高値を示した (\*  $p < 0.05$ )。



(2) 下肢筋活動において、RF, BF, LG, SO では Sit Ex 群と Sup Ex 群の間で有意差は認められなかった。TA では Sit Ex 群と比べ Sup Ex 群の Wu, Ex, Cd は有意な低値を示した (\*  $p < 0.05$ )。また、Sit Ex 群と比べ Sup Ex 群の RF, LG, TA, SO では筋活動量が低値を示した。



(3) 自律神経活動において、HF では Sit Ex 群と Sup Ex 群の間で有意差は認められなかった。LF/HF では Sit Ex 群と比べ Sup Ex 群の Re, Wu, Ex は有意な高値を示した (\*  $p < 0.05$ )。



(4) 二重積 (DP), 自覚的運動強度 (RPE) において、Sit Ex 群と Sup Ex 群の間で有意差は認められなかった。

#### (5) 経過の位置づけとインパクト, 今後の展望

本研究課題の結果をまとめると,

①臥位エルゴメーター運動機器を活用した運動において、慢性心不全患者の運動負荷量の違いが呼吸循環

応答、筋活動量、自律神経活動および下肢骨格筋の末梢血行動態などの身体機能を同時計測し網羅的に解析することで、座位エルゴメーター運動に比べ臥位エルゴメーター運動中において、足背動脈の血流速度、前脛骨筋の筋活動量、交感神経活性に違いが認められた。

②交感神経活動は、本来、運動により交感神経活動と動脈圧は上昇するため、運動強度に比例して増加し、その結果動脈圧も運動強度に比例して上昇するが、慢性心不全患者を対象とした本研究課題において臥位エルゴメーター運動では過剰な交感神経活動を抑え、末梢循環を保つ可能性が示唆された。

③また、下肢筋活動は、臥位エルゴメーター運動において前脛骨筋では有意な低値を示し、その他筋群も有意差は認めないものの低値を示し、強い筋活動を必要としない運動様式であることが示唆された。

④さらに、心負荷量を示す二重積 (DP)、自覚的に疲労度を示す自覚的運動強度 (RPE) は、座位エルゴメーター運動と同等の運動負荷反応を示し、心負荷量が保たれた運動様式であることが示唆された。

⑤したがって、自律神経調整の破綻が生じやすい慢性心不全患者において、積極的な運動負荷を処方する前段階として取り組む運動様式として臥位エルゴメーターの有用性を示唆された。そのため、今後は実際の介入期間や対象となる慢性心不全患者の重症度分類での適応性を明らかにすることで、臨床的にも有用な手がかりになること考える。

#### <引用文献>

1. American College of Sports Medicine .ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Lippincott Williams & Wilkins (11th):2021.
2. Rowell LB. Human Circulation Regulation During Physical Stress. Oxford University Press: New York: 1986.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 岩崎 孝俊, 望月 純二, 二階堂 暁, 幡 芳樹, 廣瀬 昇	4. 巻 27
2. 論文標題 心臓リハビリテーションによる心不全の運動耐容能改善と心外膜脂肪減少の関連性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 心臓リハビリテーション	6. 最初と最後の頁 152-157
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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩崎孝俊, 小林琢, 倉田裕子, 林大二郎, 二階堂暁, 幡芳樹, 廣瀬昇
2. 発表標題 心不全ステージAにおける心不全入院予防に必要な身体機能水準の検討
3. 学会等名 第26回日本心不全学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本 直樹, 廣瀬 昇, 鈴木 佑奈, 山崎 茉林, 望月 優人, 鈴木 文太, 若林 秀隆.
2. 発表標題 運動肢位の違いによる循環動態と下肢筋活動および心負荷
3. 学会等名 第42回関東甲信越ブロック理学療法士学会
4. 発表年 2023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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------