

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：20101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870574

研究課題名(和文)心室動脈整合関係からみたレジスタンストレーニングの至適運動負荷条件の探究

研究課題名(英文) Research for the optimal exercise loading condition during resistance training with respect to ventricular arterial coupling

研究代表者

片野 俊敏 (Katano, Satoshi)

札幌医科大学・オホーツク医療環境研究講座・助教

研究者番号：50438040

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)：レジスタンストレーニングは心臓リハビリテーションにおける主要な運動療法プログラムの1つであるが、中等症以上の心疾患では安全性や有効性の高いレジスタンストレーニングの方法が確立されていない。本研究では、レジスタンストレーニングの血行力学的特性の詳細を明らかにし、トレーニング効果を最大限に維持しつつ、心負荷が最小限となる安全なレジスタンストレーニングの運動負荷条件を見いだすことを目的とした。本研究により、後負荷を上昇させやすい運動である IHG であっても、反復性に行われる運動負荷条件下であれば、後負荷の上昇が緩徐であり、心室動脈整合関係を悪化させにくい可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：Resistance training is one of the important exercise programs in cardiac rehabilitation. However, safety and efficacy of resistance training in severe heart disease has not been established. In this study, we investigated the details of the hemodynamic characteristics during resistance exercise, and intended to find the resistance exercise load to maximize exercise effect while maintaining the heart load within an acceptable range. We found that if isometric handgrip exercise, which was exercise type to increase the after load, was performed in the repetitive manner, the increase of after load was more mild and ventricular arterial coupling was less likely to be exacerbated.

研究分野：総合領域

キーワード：レジスタンストレーニング 心室動脈整合関係 収縮期末エラストランス 実効動脈エラストランス ハンドグリップ運動

1. 研究開始当初の背景

レジスタンストレーニングは筋力、筋重量の増加が得られるばかりではなく、骨密度の増加や耐糖能異常の改善が期待できるトレーニング様式である。近年の心臓リハビリテーションでは、比較的軽症な冠動脈疾患患者に対して、レジスタンストレーニングの安全性や有効性が証明されてきた。しかしながら、慢性心不全を含む中等症以上の心疾患では有効なレジスタンストレーニングの方法が確立されていないのが現状である。こうした症例のなかには、心臓悪液質やサルコペニアを認める症例が多いことから、レジスタンストレーニングの導入が効果的であると考えられるが、その反面、レジスタンストレーニングの実施によって心血管系の異常を惹起する可能性が極めて高いのが事実である。したがって、様々な重症度の心疾患に対しても適応可能な安全で有効性の高いレジスタンストレーニングの方法が望まれている。

トレーニングの効果に関する原則の第一は、個々の身体機能に見合った適切な刺激を負荷することである。レジスタンストレーニングにおいて骨格筋に対し刺激を負荷するためには、抵抗荷重の強さ、筋の収縮・弛緩時間および反復回数、実施頻度などの運動負荷条件を適度に組み合わせる必要がある。とりわけ、抵抗荷重を強くすることは筋力増強効果を得るうえで最も重要である。ところが、加える運動負荷が強すぎる場合には、過剰な循環調節を介して前負荷や後負荷による心負荷の著明な増大が起こる。その結果、心機能低下や心筋リモデリングの促進、さらには心血管イベントを惹起するリスクが高まる。したがって、心疾患に対するレジスタンストレーニングでは、トレーニング効果を最大限に維持しつつ、心負荷を最小限とする運動負荷条件を設定することが重要となる。

心負荷を考えるうえで、心機能の評価は必要不可欠である。心臓リハビリテーションにおける臨床場面では、レジスタンストレーニングに対する心機能評価の間接的指標として血圧が用いられるが、血圧は心収縮性以外にも、前負荷や後負荷といった機械的負荷の影響を強く受けるため、血圧の変化から心機能そのものを判断するには限界がある。また、現在、心機能の評価する上で一般的に用いられている左室駆出率や左室一回拍出量も同様に、心臓自体の収縮特性と機械的負荷因子が互いに干渉しあう運動環境下では、心臓そのものの機能を評価することはできない。したがって、レジスタンストレーニングの運動負荷条件と心機能との関係性を明らかにするためには、心臓への機械的負荷に依存しない指標を用いる必要がある。

Sunagawa らが発展させた心室-動脈整合関係(Ees/Ea)は、心収縮特性の指標である収縮期末エラストランス(Ees)と、後負荷指標である実効動脈エラストランス(Ea)の比率であり、心収縮時の機械効率を非常に良く反映する

指標である(Sunagawa et al Am J Physiol. 1983)。Ees/Ea は心筋ストレスホルモンの分泌量と関係性が強い(Sahlen et al. Eur J Appl Physiol, 2012) ことから、レジスタンストレーニングが及ぼす心負荷の影響を知るうえで Ees/Ea は有用な指標であると言える。さらに、Ees/Ea の構成成分を解析することにより、運動負荷によって生じた Ees/Ea の変化が、左室への機械的負荷である後負荷と心筋自体の収縮特性のいずれに由来するかを見極めることができる点で、Ees/Ea は従来の心機能指標と比較して優れている。

身体運動負荷を加えた際の Ees/Ea の挙動を調べた過去の研究では、等尺性運動のように後負荷が著明に増大する運動様式では、左室機械効率の悪化を反映して Ees/Ea が低下することが明らかとなっている(Osranek et al. Hypertension. 2008, Rinder et al. Am Heart J. 1999)。また、有酸素性運動時には、左室機械効率の向上を反映して Ees/Ea が上昇することが示されている(Chantler et al. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2008, Asanoi et al. Int J Cardiol. 1992)。これらの先行研究から、レジスタンストレーニング中の Ees/Ea を解析することにより、レジスタンストレーニングによる左室機械効率の変化が観察でき、心負荷の程度を客観的に捉えることが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、レジスタンストレーニングの血行力学的特性の詳細を明らかにし、トレーニング効果を最大限に維持しつつ、心負荷が最小限となるレジスタンストレーニングの運動負荷条件を見いだすことによって、様々な重症度の心疾患に対しても適応可能なレジスタンストレーニングの方法を確立するために、以下の2つの課題を達成することを研究目的とする。

(1) 心室-動脈整合関係からみたレジスタンストレーニング時の血行力学特性の解析と至適運動負荷条件の探究

レジスタンストレーニングの刺激負荷である抵抗荷重、収縮/弛緩時間、運動時間、運動肢をそれぞれ選択的に変化させた場合に起こる血行力学的变化を Ees/Ea を用いて解析し、Ees/Ea が最も良好に成立するための運動負荷条件を同定する。

(2) 至適運動負荷条件下でのレジスタンストレーニング効果の検証

上記で明らかとなった至適運動条件下にてレジスタンストレーニングを行い、トレーニングが及ぼす筋骨格系への機能的構造的な影響、および心臓・血管系における血行力学的影響を検証する。

3. 研究の方法

左室駆出率や1回拍出量は、心室の機械特

性や機械的負荷因子(前負荷, 後負荷)による影響を受けるため, 血行力学的特性の詳細な解析には不向きである. 心室-動脈整合関係(Ees/Ea)を用いることにより, 心室の収縮特性, 機械的負荷因子との関係が同じ圧-容積関係上で一元的に表されることから, 血行力学的特性の詳細な解析が可能となる.

一方, 従来, Ees/Eaを求めるにはEes, Eaを個別に測定しなければならなかったことに加え, Eesの測定には侵襲的操作により前負荷または後負荷を瞬時に増減させて複数の収縮期末圧容積点を得る必要があった. こうした計測手法の侵襲性や煩雑性は, 血行動態のダイナミックな変動や体動が伴う運動時には計測の実施が困難であった. こうした問題を解消するために, 本研究ではHayashiraが開発した手法(Hayashi et al. Anesthesiology, 2000)を用いることにより, 負荷条件を操作することなく, 左室の1心拍の心収縮期時間(等容性収縮時間, 駆出時間)および動脈圧(拡張期圧, 収縮期末圧)の情報を併せて解析することにより, レジスタンストレーニング中のEes/Eaの変化を非侵襲的かつ経時的に計測した.

被験者へ装着した心音マイクロフォン, 圧トノメータ, 心電計からの信号をコンピュータへ同時に取り込み, 得られた心音図波形, 橈骨動脈圧波形, 心電図波形と, 容積補償法により計測した連続指血圧値から心収縮期時間, および動脈圧を一拍毎に連続的に算出する. また, これと同時に, 超音波法により左室容積, および心拍出量を連続計測する. ここで得られた各指標を基にHayashiraが開発した手法(Hayashi et al. Anesthesiology, 2000)に準じて一拍毎のEes/Ea, Ea, Eesを算出する.

レジスタンストレーニングにおける抵抗荷重の強さ, 筋収縮/弛緩時間, 運動時間のうち単独条件あるいは複数条件を選択的に変更し, 張力時間係数を一定とした各運動負荷条件下での血行力学的特性をEes/Ea, Ea, Ees, 左室容積および動脈圧の変化から明らかにする. レジスタンストレーニングの運動様式はハンドグリップ運動および膝伸展運動とする. これらの運動負荷条件でEes/Eaが最も良好に成立する条件を至適運動負荷条件として同定する.

上記で同定した至適運動負荷条件によるレジスタンストレーニングの効果を検証する. 被験者は健康な成人男性とし, 本研究の趣旨を説明, 研究の参加の同意を得た者とする. 至適運動負荷条件にて一定期間のレジスタンストレーニングを行い, トレーニングによる筋骨格系, 心血管系への影響を各々検証する.

4. 研究成果

抵抗荷重によるEes/Eaへの影響を検証するために, 健康な成人男性を対象に, 運動仕事量(筋出力と運動時間の積)を一定とした運動

負荷条件下において, 等尺性ハンドグリップ運動(IHG)の抵抗荷重がEes/Ea, Ees, Eaへ及ぼす影響を観察した. 抵抗荷重を最大随意収縮力(MVC)の15%(15%MVC), 30%(30%MVC), 40%(40%MVC)に設定した. いずれの抵抗荷重においても, Ees, EaはIGH中に安静時よりも有意に高く($p<0.01$), Ees/Eaは有意に低値となった($p<0.01$). 15%MVCと30%MVCによる抵抗荷重間の比較では, Ees/Ea, Ees, Eaに有意差を認めなかったが, 40%MVCの抵抗荷重では, 15%MVC, 30%MVCの抵抗荷重と比べてIGH中のEes, Eaが有意に高く, Ees/Eaが有意に低値となった.

次に, 運動様式によるEes/Eaへの影響を検証するために, IHGを持続的に行う負荷条件(持続性IHG)と反復性に行う負荷条件(反復性IHG)の2条件間でEes/Ea, Ees, Eaを比較した. 抵抗荷重は30%MVC, 40%MVCとした. その結果, いずれの抵抗荷重においても持続性IHGと比べて反復性IHGの条件ではEaの上昇とEes/Eaの低下が緩徐であった($p<0.05$). さらに, 反復性IHG中のEes/Ea, Eaの値は, 抵抗荷重間に有意差を認めなかった. 以上の結果から, 後負荷を上昇させやすい運動であるIGHであっても, 反復性に行われる運動負荷条件下であれば, 後負荷の上昇が緩徐であり, 心室動脈整合関係を悪化させにくい可能性が示唆された.

また, Ees/Eaの変化に関係する生理学的因子を検討するために, Ees/Eaの変化における筋代謝受容器反射の影響を検討した. 持続性IHG, 反復性IHGを40%MVCの抵抗荷重にて施行し, 運動後阻血(PEMI)によって筋代謝受容器反射の活性化の程度を両条件間で比較した. その結果, 反復性IHGでは持続性IHGと比較してPEMI中の平均血圧, Eaは低く, また, Ees/Eaは高値で推移した. 以上より, 心室動脈整合関係の変化には筋代謝受容器反射が関与すると考えられた.

本研究では, 等尺性ハンドグリップ運動を用いたが, 心収縮性や後負荷は運動部位, 活動筋の大きさ, 運動の様式など様々な因子に影響を受けるため, 今後は運動負荷条件を変更したさらなる検討が必要である. 研究実施に関わる今後の方向性として, 1. 下肢の伸展運動時を対象に, 後負荷の上昇や心室動脈整合関係の悪化を抑制するための至適運動負荷条件を検討すること, 2. 至適運動負荷条件下でのレジスタンストレーニングによる心血管系および筋骨格系への影響を検討すること, の2点を行う.

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

片野俊敏, 塚田貴紀, 片寄正樹, 他.

左心不全における肺高血圧症合併の有無と心配運動負荷試験中の呼気ガス指標との関係．第 65 回北海道理学療法士学術大会，2014 年 10 月 25 日-26 日，帯広市民文化ホール(帯広市)

Katano S., Tsukada T., Saito R., Fujito T., Neki T., Katayose M., Hashimoto A., The difference in cardiopulmonary response to exercise between heart failure with and without pulmonary hypertension. World Confederation for Physical Therapy Congress 2015, 2015 年 05 月 01 日-04 日，シンガポール (シンガポール)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片野峻敏 (KATANO SATOSHI)

札幌医科大学オホーツク医療環境研究講座・特任助教・

研究者番号：50438040

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：