

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350704

研究課題名(和文)立位時の血圧調節における抗重力筋の役割

研究課題名(英文)Role of antigravity muscles in blood pressure regulation during upright standing

研究代表者

井福 裕俊 (IFUKU, Hirotoishi)

熊本大学・教育学部・教授

研究者番号：70193638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：児童生徒の起立性低血圧は学校現場にとって重要な課題である。本研究は立位時の抗重力筋の働きによる血圧調節機構(静的な筋ポンプ作用と筋機械受容器反射)を明らかにし、抗重力筋の働きによる血圧調節を臨床応用し、児童生徒の起立性低血圧を改善することを目的とした。その結果、立位時の下肢の抗重力筋による筋機械受容器反射は心拍数と心臓収縮性の両方を増加させること、下肢の抗重力筋の発達が小さい水泳競技者は筋機械受容器反射の作用が弱いこと、下肢のレジスタンストレーニングによって起立性低血圧を改善できることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Orthostatic hypotension of students is an important problem in schools. The purposes of the present study were to clarify mechanisms of blood pressure regulation by actions of antigravity muscles in the lower legs during upright standing, i.e., static muscle pump and muscle mechanoreflex, and to apply those to clinical practice in order to improve orthostatic hypotension of students. As a result, it was suggested that muscle mechanoreflex elicited by actions of antigravity muscles during upright standing increases both heart rate and cardiac contractility, that the mechanoreflex is smaller in competitive swimmers than in track and field athletes, and that resistance training of lower limbs is able to improve orthostatic hypotension.

研究分野：運動生理学

キーワード：抗重力筋 静的な筋ポンプ作用 筋機械受容器反射 起立性低血圧

1. 研究開始当初の背景

立位時には重力に抗して姿勢を保持する抗重力筋が収縮するため、その働きが血圧の維持に深く関与すると考えられる(図1)。立位時の血圧調節に及ぼす抗重力筋の働きは、

静的な筋ポンプ作用による静脈還流量の促進

筋機械受容器を介した運動性昇圧反射(筋機械受容器反射)

の2つがあげられる。筋ポンプ作用とは、運動時、骨格筋の動的な収縮により多くの静脈血を心臓に戻す作用であり、筋機械受容器反射とは、骨格筋内にある機械受容器が筋の形状や張力などの機械刺激に反応し、心臓循環中枢を刺激して反射的に血圧が高まる現象である。申請者は先に、無重力に近い水中環境下でトレーニングを行っている水泳競技者は、重力下で行っている陸上競技者よりも立位時の静脈還流量が少ないことから、立位時の血圧調節に及ぼす抗重力筋の静的な筋ポンプ作用が弱いことを見出した(Ifuku and Shiraishi, Med Sci Sports Exerc, 2004)。しかし、筋機械受容器反射の関わりや同反射と静的な筋ポンプ作用との相互作用については未解明のままである。

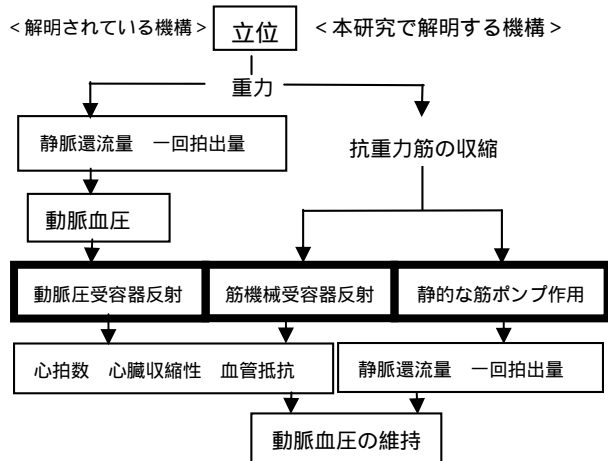


図1 立位時の血圧調節機構

一方、児童生徒の起立性低血圧は学校

現場で解決すべき重要な課題である。欧米では、起立性低血圧は起立不耐性と同義として捉えられており、近年、宇宙開発と相まって航空医学の分野で詳細な研究がなされている。しかし、これらの分野では宇宙空間をシミュレートするために、Head-down tilt 試験(頭部を -5° ~ -7° 下げた臥位姿勢)や下半身陰圧負荷試験など抗重力筋が働かない特殊な条件下での研究がほとんどであり、起立不耐性と抗重力筋を関連づけた研究はみられない。もし起立性低血圧者の抗重力筋の働きが明らかになり、運動トレーニングによってその働きが増強されるならば、起立性低血圧の改善につながる事が期待される。

2. 研究の目的

これらの背景をもとに、本研究では立位姿勢における抗重力筋の働きによる血圧調節機構を明らかにし、抗重力筋の働きを利用した新たな起立性低血圧の改善への臨床応用に展開するための基盤となる研究を行った。具体的には、

- (1) 健常な若年成人を対象に、抗重力筋の働きを静的な筋ポンプ作用と筋機械受容器反射に分けて評価し、これらの働きによる立位時の血圧調節機構を明らかにした。
- (2) アスリート(特に水泳競技者と陸上競技者)や起立性低血圧者を対象に、立位時の血圧調節に及ぼす抗重力筋の働きを調べ、被験者群に特徴的な働きがみられるかどうかを明らかにした。
- (3) 起立性低血圧者を対象に、下肢の自重負荷レジスタンストレーニングを行わせ、起立性低血圧の改善効果を観察した。

3. 研究の方法

(1) 抗重力筋の働きによる立位時の血圧調節機構

21~23歳の健常な男性9名に、以下の4種類の体位変換を行った(表1)。「Head-up tilt」、「Head-up suspension」、「Head-up tilt+静脈阻血」、「Head-up suspension+静脈阻血」である。「tilt」は通常の体位変換で、立位時に身体を支持するため抗重力筋が収縮するが、「suspension」はチルトテーブルにサドルを取り付けて行うため、立位時に抗重力筋が収縮しない。これらの違いは、静的な筋ポンプ作用と筋機械受容器反射の両方が関与するかどうかである。「tilt+静脈阻血」と「suspension+静脈阻血」では、立位時に大腿を80 mmHgで圧迫して、静脈阻血を行った。これらの違いは、筋機械受容器反射が関与するかどうかである。測定項目は、血圧、心拍数、一回拍出量、心拍出量、心臓収縮性、総末梢血管抵抗、および大動脈脈波速度であった。

表1 体位変換に関わる循環調節機構

	動脈圧 受容器 反射	筋機械 受容器 反射	筋ポ ンプ 作用
Head-up tilt			
Head-up suspension		×	×
Head-up tilt +静脈 occlusion			×
Head-up suspension +静脈 occlusion		×	×

#### (2) アスリートや起立性低血圧者における立位時の抗重力筋の働き

18~23歳の男性水泳競技者7名と男性陸上競技者7名、および18~20歳の女性起立性低血圧者11名を対象に、立位時に下肢の抗重力筋が収縮する「Head-up tilt」と抗重力筋が収縮しない「Head-up suspension」を実施した。起立性低血圧者は、3分間の起立試験で最高血圧が20 mmHg以上、または最低血圧が10 mmHg以上低下する者とした(American Autonomic Society, 1996)。測定項目は、前述した(1)と同様であっ

た。

#### (3) 下肢のレジスタンストレーニングによる起立性低血圧の改善

19~22歳の女性起立性低血圧者3名を対象に、下肢のレジスタンストレーニングを約2か月間行わせた。トレーニング種目は、ヒップリフト(12レップ×2セット)、エアプレイン(左右各8レップ)、スプリットスクワット(左右各12レップ)、カーフレイズ(15レップ×2セット)であった。トレーニング後にもう一度起立試験を行い、起立性低血圧が改善されたかを観察した。

### 4. 研究成果

#### (1) 抗重力筋の働きによる立位時の血圧調節機構

「Head-up tilt」では「suspension」より一回拍出量の減少が少なかったが、「tilt+静脈阻血」と「suspension+静脈阻血」で一回拍出量の減少に差は見られなかった。また「tilt」と「suspension」で異なる応答を示したのは心臓収縮性のみであり、「tilt」で有意な上昇を示した。さらに心拍数の上昇は「tilt」が有意に大きかった。これら心臓収縮性と心拍数の上昇は、静脈阻血を行った場合も同様にみられた。以上のことから、立位時に抗重力筋の収縮によって生じる静的な筋ポンプ作用は静脈還流量の増加を促し、筋機械受容器反射は心拍数の増加と心臓収縮性の増強を引き起こすことが示唆された。

#### (2) アスリートや起立性低血圧者における立位時の抗重力筋の働き

立位時の抗重力筋の収縮による筋機械受容器反射は、心拍数の上昇と心臓収縮性の増強に反映される(宮村ら, 2014)。

陸上競技者は、「Head-up tilt」において、心拍数の上昇と心臓収縮性の有意な増加が

みられた。「suspension」では、心拍数に有意な上昇がみられたものの、心臓収縮性に増加がみられなかった。これらのことから、陸上競技者は立位時の循環調節に筋機械受容器反射が関与していることが示唆された。一方、水泳競技者は、「tilt」時に心拍数の有意な上昇は見られたものの、心臓収縮性の増加がみられず、「suspension」においても同様の応答であった。これらのことから、水泳競技者は立位時の循環調節に筋機械受容器反射があまり関与しないことが示唆された。

起立性低血圧者は、両体位変換とも心拍数、心臓収縮性、脈波速度の有意な増加にもかかわらず、平均血圧を維持できなかった。抗重力筋の収縮による静的な筋ポンプ作用は、1回拍出量の減少が両体位変換で変わらなかったことから、ほとんど関与しなかったと思われる。抗重力筋の収縮による筋機械受容器反射は、心拍数の上昇と心臓収縮性の増強に反映されるが、心臓収縮性の増強はみられなかった。しかし、被験者を鍛錬者（7名）と非鍛錬者（4名）に分類すると、鍛錬者のみ心拍数の上昇が「suspension」に比べ「tilt」で大きかった。以上より、起立性低血圧者における立位時の抗重力筋の作用は、鍛錬者にのみ筋機械受容器反射による心拍数の上昇が観察された。

### （3）下肢のレジスタンストレーニングによる起立性低血圧の改善

被験者3名のトレーニングの平均実施日数は $37 \pm 14$ 日/2か月であった。トレーニングにより、被験者全員に起立性低血圧の改善が見られた。また、トレーニング前では平均血圧に有意な減少が見られたが、トレーニング後では見られなかった。起立性低血圧が改善した要因として、動脈圧受容器反射の感受性が高まったことと筋機械受

容器反射が増強したことが考えられた。以上のことから、自重負荷を用いた約2か月の下肢のレジスタンストレーニングは、起立性低血圧に改善効果を及ぼすことが示された。

## 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）

〔学会発表〕（計3件）

中山貴文、宮村直幸、坂本将基、井福裕俊、水泳競技者における体位変換時の循環応答、第70回日本体力医学会大会、2015年09月18日~20日、和歌山県民文化会館（和歌山市）

宮村直幸、井福裕俊、坂本将基、下肢の抗重力筋の働きによる立位時の血圧調節、第69回日本体力医学会大会、2014年09月19日~21日、長崎大学文教キャンパス（長崎市）

宮村直幸、井福裕俊、坂本将基、Head-up suspension に対する女性非持久性陸上競技者の循環応答、第68回日本体力医学会大会、2013年09月21日~23日、日本教育会館・学術総合センター・共立講堂（東京都）

## 6. 研究組織

（1）研究代表者

井福 裕俊（IFUKU, Hirotooshi）

熊本大学・教育学部・教授

研究者番号：70193638