

平成 21年 5月 28日現在

研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2006～2008
課題番号：18300230
研究課題名（和文） 機能的電気刺激による肥満症及び糖尿病の予防・改善
研究課題名（英文） Prevention and improvement of obesity and diabetes by means of functional electrical stimulation
研究代表者 森谷 敏夫 (Moritani Toshio) 京都大学大学院人間・環境学研究科・教授 研究者番号：90175638

研究成果の概要：本研究は骨格筋への最適筋収縮パターン（筋肥大モード、血流促進モード、エネルギー代謝促進モード）が可能な機能的電気刺激装置を開発し、糖尿病、肥満症、その他の慢性的疾患患者の他動的運動（電気刺激による）でのエネルギー消費や糖代謝改善効果の可能性を実験的に検証するものである。得られた研究成果から、機能的電気刺激による肥満症、糖尿病の運動療法の開発が可能になり、現在、京都大学附属病院及び通信病院ですでに臨床応用が開始され、2型糖尿病患者の食後血糖のコントロール、十字靭帯再建術後の筋トレ、及び閉塞性肺疾患患者のリハビリに利用されている。この研究で開発・検証された骨格筋の機能的電気刺激は今後、寝たきり患者や骨粗しょう症、あるいは腰痛や膝痛など整形外科的疾患をもつ「運動弱者」への他動的運動処方に成り得る可能もある。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
年度			
総計	11,500,000	3,450,000	14,950,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・応用健康科学

キーワード：骨格筋、糖代謝、運動療法

1. 研究開始当初の背景

運動は、糖尿病、肥満症や高血圧症など生活習慣病の病態改善や予防に重要な役割を担っており、「生活習慣改善」の大きな柱となっている。しかしながら、超高齢化社会を迎えた今日、寝たきり患者や慢性的な運動不足者、体力の低下した人々、あるいは過度の肥

満や整形外科的疾患などのために、有酸素運動を十分に行えない人々が多数存在する。さらに、糖尿病性合併症や心血管系合併症などの臓器障害により、運動制限を必要とする患者も多く認められる。このような人々は、身体の不活動がもたらす不利益を甘んじて受けなければならない状況にあり、有酸素運動

やレジスタンス運動の代償となる運動方法の開発が早急に望まれる。

2. 研究の目的

通常の随意運動時における運動単位の動員様式は、収縮張力が低く、疲労しにくい筋線維を支配している遅筋線維から順次動員される。対照的に、電気刺激では太い神経線維で支配される速筋線維から動員が始まる。ヒトの大腿四頭筋部に電気刺激を誘発させた場合、刺激後の筋内のグリコーゲン枯渇は速筋線維で著しく高いこと (Sinacore et al. 1990) や解糖系によるエネルギー利用率が遅筋線維の二倍も高いことが報告されており (Greenhaff et al. 1993, Hultman et al. 1986)、電気刺激による選択的な速筋線維の動員によって随意収縮とは異なるエネルギー代謝特性の存在が示唆されている (Kim et al. 1995; Kjaer et al. 1996; Saltin et al. 1990)。このように中高強度運動を要求することなく、電気刺激ではグリコーゲンを含めた糖質エネルギーの利用が高いものと考えられることから、糖尿病の代謝改善効果も期待できる。更に、速筋線維の選択的刺激は高齢者の廃用性萎縮の予防のみならず、筋肥大をも惹起させうる可能性を秘めている。

3. 研究の方法

機能的電気刺激は随意筋収縮とは異なる運動神経・筋線維の動員順序を惹起できるので、比較的軽い筋収縮で速筋線維の動員が可能になる。更に、選択的な速筋線維の動員は筋グリコーゲンの消費に直結するので、糖代謝亢進、それに伴うインスリン感受性の亢進など、抗糖尿病効果やエネルギー消費効果による隠れ肥満の防止に極めて有効であると考えられる。

本研究は、これらを実験的に検証するために、男子大学生10名を対象に1) 筋トレ (筋肥大) モード、2) 血流促進モード、3) エネルギー代謝促進モードの開発を試みた。研究では下腿筋群を含めた多くの筋群を動員させる低周波治療用の表皮電極パッドを両側の下腿部 (前頸骨筋と腓腹筋) 及び大腿部 (大腿四頭筋と大腿二頭筋) にそれぞれ装着した後、低周波電気刺激を20及び4 Hzで実施した。筋収縮様式は、両側下腿部を同時収縮させた0.5秒後に大腿部を同時収縮させ、これを交互に繰り返すことで有酸素運動に類似した運動を他動的に誘発させた。刺激強度は、刺激に対する痛みが伴わない強度で行い、被検者の症状や自覚症状に応じて適宜修正した。

次に、実験で確認された最もエネルギー代謝が増加する筋刺激周波数、パルス幅、極性、持続時間を用い、肥満の人々における食後の一過性の筋電気刺激が、エネルギー代謝や糖

代謝に及ぼす影響や、食後血糖値・中性脂肪値の上昇抑制に及ぼす影響を検討した。被験者は、8名の中老年男性とした (年齢: 45.0 ± 3.8 歳、BMI: 27.0 ± 0.6)。被験者の中で糖尿病 (空腹時血糖値 $> 126 \text{mg/dl}$) や心臓に異常を有する者はいなかった。各被験者は、1週間以上の間隔をあけて2つの試行をランダムな順序で実施した。1つは、食後に安静にする試行 (コントロール群) であり、もうひとつは食後10分から筋電気刺激を20分間する試行 (筋電気刺激群) であった。呼気ガスデータと乳酸データは、食前と食後20分に行った。採血は食前と、食後30分、60分、90分、120分に行った。

4. 研究成果

本研究は骨格筋への最適筋収縮パターン (筋肥大モード、血流促進モード、エネルギー代謝促進モード) が可能な機能的電気刺激装置を開発し、糖尿病、肥満症、その他の慢性的疾患患者の他動的運動 (電気刺激による) でのエネルギー消費や糖代謝改善効果の可能性を実験的に検証するものである。

その結果、健常大学生を対象とした我々の基礎実験から、最も高い酸素摂取量が得られたパラメーターは、両極性パルスの1秒:1秒の刺激・弛緩サイクルで、20 Hzであったが、最近の報告では4 Hzの低周波刺激でより大きな代謝改善効果が認められることが明らかになっている。そこでこの先行研究の追試実験も行った。新たに導入した4 Hzの低刺激頻度において酸素摂取量が有意に増大し、安静時代謝の約5~8倍 (8 MET S) にも亢進することが明らかとなった。また、主観的運動強度を独自開発したビジュアル・アナログスケールで検証したところ、骨格筋電気刺激中に軽い随意収縮を行った場合、呼吸循環系へのストレスが軽減することも明らかとなった。

肥満者を対象にした実験では、コントロール群と比べて筋電気刺激群は、酸素摂取量は約2倍に有意に増加し ($P < 0.05$)、呼吸商・乳酸・糖質消費量も有意に高かった ($P < 0.05$)。コントロール群と比べて筋電気刺激群の食後血糖値は、食後60分及び食後120分に減少有意傾向が認められた ($P < 0.1$)。コントロール群と比べて筋電気刺激群の食後インスリン値は、食後90分に減少有意傾向にあり ($P < 0.1$)、食後120分に有意な減少が見られた ($P < 0.05$)。

この結果より、重度の糖尿病等で運動できない人々にとって、食後の一過性の筋電気刺激がエネルギー代謝や糖代謝を高め、食後血糖値・インスリン値の上昇抑制をもたらす重要な運動療法であることが示唆された。個人ごとに最適なプロトコルで刺激するために、筋電気刺激に関するさらなる研究が望まれ

る。

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 6 件)

- ① 森谷敏夫. 電気刺激による運動療法とは? Q & Aでわかる「肥満と糖尿病」5(1):143-145, 2006 査読無
- ② 森谷敏夫. 生活習慣病における運動療法の役割日本整形外科学会スポーツ医学会雑誌25(4): 361-368, 2007. 査読有
- ③ 森谷敏夫. 運動療法のエビデンス. 日本臨床 67(2):368-372, 2008. 査読無
- ④ 森谷敏夫. 生活習慣病の予防に対する運動処方. 日本ストレングス&コンディショニング15(9): 10-13, 2008 査読無
- ⑤ Kimura T, Fujibayashi M, Tanaka S, Moritani T. Mechanomyographic responses in quadriceps muscles during fatigue by continuous cycle exercise. Eur J Appl Physiol 104(4):651-656, 2008. 査読有
- ⑥ Kimura T, Kameda N, Satake Y, Matsumoto K, Kiyohara N, Moritani T. Effective activation of cardiovascular system during low frequency electrical muscle stimulation therapy. Eur J Appl Physiol, in print, 2009 査読有

[学会発表] (計 14 件)

- ① Moritani T. Invited Lecture: EMG and MMG Evaluation of Neuro-muscular Responses to Acute Exercise. The 16th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology. Torino, Italy, June 29-30 and July 1, 2006
- ② 木村哲也, 松本幸治, 田中崇博, 大島秀武, 森谷敏夫. 低周波を用いた骨格筋電気刺激療法における形態学的・神経生理学的適応. 第9回日本電気生理運動学会. 茨城, 2006
- ③ 松本幸治, 木村哲也, 大島秀武, 森谷敏夫. 表面筋電気刺激における刺激周波数が筋収縮に及ぼす影響. 第9回日本電気生理運動学会. 筑波, 2006
- ④ 木村哲也, 森谷敏夫. 高強度持続的運動時における筋音図の応答. 第21回日本体力医学会近畿地方会. 大阪, 2007
- ⑤ Moritani T: Invited Lecture: Electrophysiology for Health and Disease. Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, Australia, April 1-4, 2008

- ⑥ 木村哲也, 森谷敏夫. 四肢の動きを伴わない低周波骨格筋電気刺激運動療法における心臓循環応答. 第59回日本体育学会大会. 東京, 2008.
- ⑦ 木村哲也, 亀田菜央子, 藤林真美, 森谷敏夫. 表面筋電気刺激における筋線維活動様式の呼吸循環生理学的検証. 第23回日本体力医学会近畿地方会, 大阪, 2009
- ⑧ 森谷敏夫. 特別講演「肥満・糖尿病における運動療法の役割」, 第3回中濃地区糖尿病チーム医療カンファレンス, 岐阜, 2008
- ⑨ 森谷敏夫. 基調講演「生活習慣病の予防に対する運動処方」, 日本ストレングス&コンディショニング協会第8回総会, 東京, 2008
- ⑩ 森谷敏夫. 特別講演「メタボリック症候群における運動・栄養の役割」, 第81回新潟動脈硬化性疾患研究会, 新潟, 2008
- ⑪ 森谷敏夫. 教育研修講演「運動弱者への筋電気刺激トレーニングの開発と展望」, 第20回日本運動器リハビリテーション学会, 東京, 2008
- ⑫ 森谷敏夫. 「肥満・メタボリック症候群の予防改善のための運動と食事」, 第16回日本運動生理学会大会, 奈良, 2008
- ⑬ 森谷敏夫. 特別講演「メタボリックシンドロームにおける筋力トレーニングについて」, 平成20年度愛媛県医師会健康スポーツ医部会総会, 愛媛, 2008
- ⑭ 森谷敏夫. 「生活習慣病における運動の役割」, 日本医師会認定健康スポーツ医再研修会, 福井, 2008

[図書] (計 7 件)

- ① 森谷敏夫, 永井成美. 「運動と食品」 **運動と栄養と食品** (伏木 亨編集), 朝倉書店, pp.124-156, 2006.
- ② 森谷敏夫. 「運動による自律神経活動の賦活とその生理学的意義」 **糖尿病の食事・運動療法** (津田謹輔, 林 達也編集) 文光堂, pp.162-168, 2007.
- ③ 永井成美, 森谷敏夫. 「運動と自律神経活動の可逆性」 **トレーニング科学のエビデンス** (安部 孝 編集) 講談社サイエンティフィック (東京), pp.88-95, 2008.
- ④ 森谷敏夫. 「肥満・メタボリックシンドローム予防・改善における運動の役割」 **肥満と脂肪エネルギー代謝** (河田・斉藤・小川 編集). 日本栄養・食糧学会監修, 建帛社, pp. 47-62, 2008
- ⑤ 森谷敏夫. 「メタボにならない脳の作り方」 扶桑社 pp.1-152, 2008
- ⑥ 森谷敏夫. (分担執筆)「身体活動の重要性」, **アンチエイジング医学の基礎と臨床** (日本抗加齢医学会編集), メジカルビュー社,

pp. 278-279, 2008

- ⑦森谷敏夫. (分担執筆). 「第4章 トレーニングと末梢神経 1) 神経と筋.」, **身体トレーニングの科学** (宮村 編集), 真興交易(株) 医書出版, pp. 115-122, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森谷 敏夫 (Moritani Toshio)
京都大学大学院人間・環境学研究科・教授
研究者番号：90175638

(2) 研究分担者

林 達也 (Hayashi Tatsuya)
京都大学大学院人間・環境学研究科・准教授
研究者番号：00314211
坂根 直樹 (Sakane Naoki)
京都医療センター・室長
研究者番号：40335443