

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：34533  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21500469  
 研究課題名（和文） 呼吸リハビリテーションのための遠心性収縮ペダリングシステムの開発と臨床応用  
 研究課題名（英文） Development and application of eccentric contraction pedaling system for pulmonary rehabilitation  
 研究代表者 玉木 彰 (TAMAKI AKIRA)  
 兵庫医療大学・医療福祉学部・教授  
 研究者番号：70269851

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、呼吸リハビリテーションにおいて下肢筋力や運動耐容能向上させる目的で実施されているペダリング運動に着目し、従来のペダリング運動（正回転）に対し、逆回転ペダリング運動により大腿四頭筋に遠心性収縮を促すペダリングシステム（以下、本システム）を開発し、その安全性やトレーニング効果を検討することを目的とした。

健康成人 16 名を対象とし、無作為に従来のペダリング運動を行う群 8 名と新しく開発した本システムによる運動を行う群 8 名に分け、VO<sub>2</sub>max の 60% に相当する負荷によるペダリング運動を週 3 回、20 分、4 週間実施し、トレーニング前後で等尺性膝伸展筋力、大腿四頭筋筋厚を測定し、比較検討した。その結果、各群とも筋力や筋厚は増加したが、その増加率は本システムによる運動の方が有意に高かった。また本システムによる運動中の心拍数、血圧、自覚的運動強度などの指標は、同負荷における従来のペダリング運動と比べ、有意に低かった。以上のことから、本システムは呼吸リハビリテーションにおいて、安全に効果的に実施できるツールになると考えられた。

## 研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to develop an eccentric contraction pedaling (ECP) system for pulmonary rehabilitation. Sixteen healthy subjects were randomly assigned to an ECP training group (n=8) or to a conventional pedaling (CP) training group (n=8), and we examined the effect of ECP and CP training (60% VO<sub>2</sub>max load, 4 weeks period, 20min/day, 3 times a week) on strength of lower limb and thickness of quadriceps femoris. Both groups showed improved strength of lower limb and thickness of quadriceps femoris, but the rate of increase of the ECP group was larger than that of CP group. These results suggest that this ECP system is effective in exercise training for pulmonary rehabilitation.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：遠心性収縮ペダリング・呼吸リハビリテーション・下肢筋力・運動療法

1. 研究開始当初の背景

慢性呼吸不全の代表的な疾患である慢性

閉塞性肺疾患（Chronic Obstructive Pulmonary Disease：COPD）は完全に可逆性ではない気流制限を特徴とし、病態の進行に伴い動作時の息切れ（呼吸困難）が出現し、日常生活動作能力に大きな支障を来すようになる。2001年に行われた大規模な疫学調査（NICE Study）によると、我が国では40歳以上の8.5%、およそ530万人がCOPD患者であると推定されており、この数は今後も増加すると考えられ大きな社会的問題となっている。また2020年には世界の死亡原因の第三位になると予想されており、このような背景からWHO等が中心となりCOPDに対する治療指針であるガイドライン（Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease：GOLD）が2001年に（2006年にupdate）出された。その中でCOPDに対する治療は各病期に応じた薬物療法などに加え、呼吸リハビリテーションが重要であることが示され、これを受けて我が国でも日本呼吸器学会、日本呼吸管理学会、日本理学療法士協会が共同で2003年8月「呼吸リハビリテーションマニュアルー運動療法」を出版したことにより、COPD患者に対する呼吸リハビリテーションの重要性が益々認識されるようになってきた。

ところでCOPD患者の呼吸リハビリテーションでは運動療法、その中でも特に下肢筋力トレーニングが最もEvidenceが高く、有効であることがこれまでの様々な研究で明らかとなっている。その理由としてCOPD患者は動作時の息切れなどから活動性が低下し、ディコンディショニングを引き起こす結果として、骨格筋機能障害（筋肉の萎縮、毛細血管数の減少、乳酸耐性の低下など）が生じるため、下肢筋力トレーニングによって骨格筋機能を改善することで、運動能力や日常生活動作能力を高め、更には健康関連QOL

の向上をもたらすことが可能であるからである。したがって呼吸リハビリテーションにおいては積極的な下肢筋力トレーニングを実施していくことが必要であるが、呼吸リハビリテーションマニュアルに記載されている運動療法の内容には、具体的な下肢筋力トレーニング法については触れられていない。このような背景から、従来の下肢筋力トレーニング法に比べ、より安全で効果的な下肢筋力トレーニング法を含めた新しい呼吸リハビリテーションプログラムの開発が急務となっている。

## 2. 研究の目的

本研究では、呼吸リハビリテーションにおいて最も重要であり、かつEvidenceが高いことが明らかとなっている下肢筋力トレーニングについて、遠心性収縮ペダリングシステムを用いた新しい方法を開発し、その安全性や有効性を示すこと、更にこれらの方法が呼吸リハビリテーションにおいて応用可能かを検証することである。

本研究期間内において明らかにすることは、以下の通りである。

①遠心性収縮ペダリングシステムの開発とその安全性および有効性の検証および新しい呼吸リハビリテーションプログラムの確立：自転車エルゴメーターのシステム内に組み込むための遠心性収縮ペダリングプログラムソフトを開発し、その安全性と有効性を確認する。さらにこれらの方法を含めたCOPD患者に対する新しい呼吸リハビリテーションプログラムを確立する。

②遠心性収縮ペダリングシステムを用いたリハビリテーションプログラムの効果検証：従来行ってきたプログラムと、遠心性収縮ペダリングシステムを用いた新しい呼吸リハビリテーションの効果を比較検討し、新

しいプログラムの有効性を検証する。

### 3. 研究の方法

(1) 自転車エルゴメーターを利用した遠心性収縮ペダリングシステムの開発：システムを利用した運動の安全性および有効性の検証

第一段階として自転車エルゴメーター内に組み込む、遠心性収縮ペダリングシステム (ROM) の開発を行った。

開発したシステムの概要は次の通りである。一般的な自転車エルゴメーターの回転方向は前方であり、駆動する必要があるが、本研究では、機械自身の動力で逆回転となり、それに抵抗することで下肢運動を行うようなシステムソフトを開発した。ただしシステムを制御 (回転数や負荷強度など) するための ROM の内蔵する必要があるため、使用する自転車エルゴメーターは Strength Ergo 8 (三菱電機エンジニアリング製) とし、ペダルの回転数、負荷強度を制御し、運動中はペダルにかかる抵抗 (トルク) をモニター出来るよう工夫した。さらに運動中の事故を回避するため、安全装置を取り付けた。

(2) 完成した本システムを利用したトレーニングの安全性と有効性の検討

第二段階では、健常人を対象として本システムの安全性および有効性を検討するため、遠心性収縮ペダリングを用いた低強度トレーニングの運動耐容能及び下肢筋力に対する効果について従来のペダリングトレーニングと比較検証した。若年健常人 22 名を対象としてランダム化比較試験を実施した。

一つの群には遠心性ペダリングを用いたトレーニングを割り付け (ECC 群)、もう一つの群には従来のペダリングを用いたトレーニングを割り付けた (CON 群)。運動強度は最大酸素摂取量の 25% で 30 分間、運動の頻

度は 1 週間に 3 回とし、トレーニング期間は 6 週間とした。運動耐容能の指標として心肺運動負荷試験による最大酸素摂取量 ( $VO_2\max$ ) と無酸素代謝閾値 (AT) および各種呼気ガス指標、下肢筋力の指標として最大等尺性膝伸展筋力と超音波画像による大腿四頭筋筋厚をトレーニングの前後で測定し、その変化量を両群間で比較し、さらに安全性についても、心肺負荷の面から検討した。

(3) システムの修正と完成したシステムを用いた遠心性収縮ペダリング運動の効果検証

第一段階で開発したシステムでは、実際にかけられる負荷が  $VO_2\max$  の 30~40% 程度が最大であったため、ペダリング運動による効果がやや低いことが判明した。そのためシステムの改良を行い、 $VO_2\max$  の 60~70% 程度の負荷強度まで可能なシステムを完成させた。そしてこの新たな遠心性収縮ペダリングシステムを用いたペダリング運動と従来の求心性運動パターンであるペダリング運動において、同一強度の運動が下肢筋力および大腿四頭筋筋厚に及ぼす効果について比較検討した。

対象は健常成人男性 16 名とし、無作為に遠心性収縮ペダリング運動群 (ECC 群) 8 名と従来のペダリング運動群 (CON 群) の 8 名の 2 群に分けた。そして各対象者の運動負荷試験から得られた  $peakVO_2$  の 60% 程度に相当する運動強度を決定し、ECC 群、CON 群に対し、週 3 回、1 日 20 分、4 週間のペダリング運動を実施させた。またトレーニングの前後において、下肢筋力測定 (等尺性膝伸展筋力)、および大腿四頭筋筋厚 (超音波診断装置による筋厚) を測定した。そして 4 週間のトレーニング後、各群におけるトレーニング前後の下肢筋力および大腿四頭筋筋厚の変

化と各群における変化量の差を統計学的に分析した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 遠心性収縮ペダリングシステムの開発と安全性について

本研究で開発した遠心性収縮ペダリングシステムは、Strength Ergo8（三菱電機エンジニアリング製）を用い、エルゴに内蔵するROMに改良を加えることで逆回転ペダリングが可能となり、それに抗しながらの逆回転ペダリング運動により、大腿四頭筋をはじめとした下肢筋に対し、遠心性収縮をしながら運動をさせるものである。開発当初の段階では、実際に遠心性ペダリングとしたかけられる負荷が $VO_{2max}$ の30~40%と低強度であった。そのため更にシステムに改良を加え、 $VO_{2max}$ の60~70%程度までの負荷が可能となるようにした。また安全性を検証するため、本システム使用中における呼吸循環反応を通常の求心性ペダリング中と比較した結果、心拍数、血圧、自覚的運動強度など全てにおいて、有意に低いという結果となり、身体にかかる負荷は低く、安全な運動療法が実施できることが明らかとなった。

##### (2) 低強度における遠心性収縮ペダリングトレーニングの効果

若年健常人22名を対象とし、遠心性ペダリングを用いたトレーニングを実施する（ECC群）と、従来のペダリングを用いたトレーニングを実施する群（CON群）にランダムに分け、比較試験を実施した。運動強度は最大酸素摂取量の25%で30分間、運動の頻度は1週間に3回とし、トレーニング期間は6週間とした。その結果、 $VO_{2max}$ やAT、その他の呼気ガス指標などの運動耐容能について、両群間のトレーニング前後における変化量

に統計学的な有意差があるとはいえなかった。また、等尺性膝伸展筋力および大腿四頭筋筋厚の変化量についても両群間で統計学的に有意な差があるとはいえなかった。また、ATに到達する時間とその時点での仕事率の体重比はECC群で95%信頼区間とp値はそれぞれ(0.02-0.42,  $p=0.03$ )と(0.02-0.2,  $p=0.02$ )であった。

以上のことから、健常人における低強度の遠心性収縮ペダリングトレーニングは従来のペダリングと比較して運動耐容能および下肢筋力を増加させる効果は低く、より効果的なトレーニングを行うには25% $VO_{2max}$ よりも高い運動強度が必要であると考えられた。

##### (3) 中強度における遠心性収縮ペダリングトレーニングの効果

健常成人男性16名を対象とし、無作為に遠心性収縮ペダリング運動群（ECC群）8名と従来のペダリング運動群（CON群）の8名の2群に分けた。そして各対象者の運動負荷試験から得られた $VO_{2max}$ の60%程度に相当する運動強度を決定し、ECC群、CON群に対し、週3回、1日20分、4週間のペダリング運動を実施させた。またトレーニングの前後において、下肢筋力測定（等尺性膝伸展筋力）、および大腿四頭筋筋厚（超音波診断装置による筋厚）を測定した。そして4週間のトレーニング後、各群におけるトレーニング前後の下肢筋力および大腿四頭筋筋厚の変化と各群における変化量の差を統計学的に分析した。その結果、ECC群もCON群もトレーニング前後において下肢筋力および大腿四頭筋筋厚の有意な増加を認めたと、その変化量はECC群において有意に高かった。さらにECC群は運動中における自覚的運動強度および平均心拍数がCON群に比べ有意に低かった。以上のことから、遠心性収縮ペダリング運動

は従来のペダリング運動に比べ、安全にかつ効果的なトレーニング効果が得られることから、呼吸リハビリテーションへの応用が期待されることが明らかとなった。

以上のように、遠心性収縮ペダリング運動によるトレーニングは、従来のペダリングトレーニングに比べ、身体にかかる負荷が軽度であるにも関わらず、下肢筋力や筋厚を効果的に向上させることが可能であることが示され、今後の呼吸リハビリテーションにおける一つのツールとなるものと考えられた。

## 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)

[雑誌論文] (計3件)

① 玉木 彰：人工呼吸患者の呼吸理学療法理学療法士に何ができるか？ 人工呼吸 28 巻 39-44, 2011 (査読有)

② Hasegawa S, Kobayashi M, Arai R, Tamaki A, Nakamura T, Moritani T: Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. J Electromyogr Kinesiol 21; 622-630, 2011 (査読有)

③ 塩谷隆信, 佐竹将宏, 玉木 彰他：慢性閉塞性肺疾患 (COPD) における栄養リハビリテーションの意義とその実践 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌 21 巻 3 号 175-185, 2011 (査読有)

[学会発表] (計2件)

① 大寺祥佑・玉木 彰他：遠心性収縮ペダリング負荷時の呼吸循環応答 第44回日本理学療法学会大会 東京 2009

② 長谷川聡, 新宮信之, 玉木 彰他：COPD患者における集中的入院リハビリテーショ

ンの効果と中間的経過～2種類のプログラムにおける経過の検証 第20回日本呼吸ケア・リハビリテーション学会 長崎 2010 [図書] (計1件)

玉木 彰編著：15 レクチャーシリーズ 理学療法テキスト 内部障害理学療法学 呼吸 中山書店 2010

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

玉木 彰 (TAMAKI AKIRA)

兵庫医療大学・医療福祉学部・教授

研究者番号：70269851

### (2) 研究分担者

市橋則明 (ICHIHASHI NORIAKI)

京都大学・医学研究科・教授

研究者番号：50203104

室 繁郎 (MURO SHIGEO)

京都大学・医学研究科・講師

研究者番号：60344454