



# Hemodynamic Characteristics During Treadmill and Bicycle Exercise in Chronic Heart Failure

金, 秀植

---

(Degree)

博士 (医学)

(Date of Degree)

2002-03-07

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2595

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002595>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【168】

氏 名・(本 籍) 金 秀 植 (韓国)

博士の専攻分野の名称 博 士 (医学)

学 位 記 番 号 博ろ第1832号

学位授与の 要 件 学位規則第4条第2項該当

学位授与の 日 付 平成14年3月7日

【学位論文題目】

**Hemodynamic Characteristics During Treadmill and Bicycle  
Exercise in Chronic Heart Failure  
-Mechanism for Different Responses of Peak Oxygen Uptake-**

(心不全患者におけるトレッドミルとエルゴメータ運動における  
血行動態の比較：最大酸素消費量に差が生じる機序の検討)

審 査 委 員

主査 教授 横山 光宏

教授 大北 裕

教授 尾原 秀史

### 【序文】

慢性心不全患者において、運動耐容能試験は心機能評価に用いられるとともに予後の指標としても重要である。最大酸素消費量(peak VO<sub>2</sub>)は運動耐容能の最も客観的な指標であるが、トレッドミル試験で測定した値は坐位エルゴメータ試験で測定した値よりも大きいと報告されている。その機序については、明らかでない。

本研究はFick法にて心拍出量が測定できるoptic-fiber カテーテルを用いて、トレッドミルと坐位エルゴメータで得られる最大酸素消費量が異なる機序を解明することを目的に慢性心不全患者を対象として検討した。

### 【方法】

対象は18人の左室機能低下を有する患者(平均56±9歳)である。基礎心疾患は虚血発作のない陳旧性心筋梗塞9名、特発性拡張型心筋症9名であった。心機能分類のNYHAは12名がclass Iで、5名がclass II、1名がclass IIIであった。左室造影法による左室駆出率は平均35.3±12.9%であった。

#### 研究方法

全患者にあらかじめ症候限界性の最大運動負荷を坐位エルゴメータとトレッドミルで行った。そこから得られた運動量より、約10分間で終了するランブプロトコールを選択した。本試験では全患者にoptic-fiberカテーテルを装着し、運動終点をBorg scaleの19(非常にづらい)に達するまで行った。運動試験の順序は先ず坐位エルゴメータを行い、その90分後にトレッドミルを行った。

#### 測定項目

呼気ガス分析装置のRM-300システムを使用し、安静時と運動中30秒間隔で酸素消費量、炭酸ガス排出量、呼吸商、分時換気量、呼吸回数と一回換気量を測定した。Peak VO<sub>2</sub>と嫌気性代謝閾値(AT)を決定した。ATは酸素消費量と炭酸ガス排出量の変曲点をRM-300で自動計算した。心拍数と血圧は1分毎に測定した。心拍出量の測定のため動脈血酸素飽和度をpulse oximeterで測定し、混合静脈血酸素飽和度をoptic-fiber catheterで測定した。血色素濃度は安静時と最大運動時で測定し、血中酸素含量は計算式  $1.39 \times (\text{血色素濃度} \times \text{酸素飽和度})$  にて計算した。心拍出量は酸素消費量を動静脈酸素含量較差で除して求めた。1回拍出量は心拍出量を心拍数で除して求めた。肺動脈圧と右房圧はoptic-fiber catheterから直接測定した。全身血管抵抗は心拍出量を平均血圧から平均右房圧を引いたもので除して算出した。血中の乳酸、ノルアドレナリン、アドレナリン濃度は安静時と最大運動時に混合静脈血を用いて測定した。

#### 最大運動指標の再現性

左室機能不全患者男性8人を対象に、非観血的に症候限界性の最大エルゴメータを

90分間隔で2回行った。

### 【結果】

#### 安静時の血行動態指標

酸素消費量、炭酸ガス排出量、呼吸商、分時換気量、心拍数、平均血圧、平均肺動脈圧、平均右房圧、動脈血酸素飽和度と乳酸濃度には両試験の間に差はなく、呼吸回数と一回換気量には有意差があった。動静脈血酸素含量較差と全身血管抵抗はエルゴメータよりもトレッドミルの方が有意に高値であった。混合静脈血酸素含量、心拍出量、一回拍出量、アドレナリン濃度とノルアドレナリン濃度はトレッドミルでの安静時のほうが有意に低値であった。

#### 最大運動時の血行動態指標

Borg scale、分時換気量、呼吸回数、一回換気量、呼吸回数と心拍数には両運動試験に差がなかったが、酸素消費量、炭酸ガス排出量、動静脈血酸素含量較差、心拍出量と一回拍出量はトレッドミルで有意に高値であった。呼吸商、平均血圧、平均肺動脈圧、平均右房圧、動脈血酸素飽和度、全身血管抵抗とアドレナリン濃度とノルアドレナリン濃度と乳酸濃度はトレッドミルが有意に低値であった。

最大酸素消費量は、エルゴメータがトレッドミルより有意に低値であった。両者の間には密接な正相関 ( $r=0.92, p<0.001$ ) がみられた。嫌気性代謝閾値における酸素消費量はトレッドミルのほうが有意に高値であった。しかし、最大酸素消費量に対するATの相対値(%)では有意差はなかった ( $60.5 \pm 10.8\%$  vs  $63.6 \pm 9.0\%$ ,  $p=0.36$ )。

#### 最大酸素消費量の規定因子

最大酸素消費量はトレッドミルのほうがエルゴメータよりも  $16.0 \pm 9.5\%$  大きかった。酸素消費量を規定している心拍出量と動静脈血酸素含量較差について運動終点の心拍出量はトレッドミルで  $7.1\% \pm 8.1\%$  大きく、動静脈血酸素含量較差は  $8.5 \pm 7.0\%$  大きかった。このように、心拍出量と動静脈血酸素含量較差は最大酸素消費量の増加に同じ程度に貢献していた。最大酸素消費量は最高心拍出量と有意に相関したが ( $r=0.74$ ,  $p<0.001$ )、最高動静脈血酸素含量較差とは有意に相関しなかった ( $r=0.46$ ,  $p=0.055$ )。最高心拍数は両負荷試験で差がなく、トレッドミルにおいては一回拍出量の増加が最大心拍出量の増加に寄与していた ( $r=0.63$ ,  $p<0.01$ )。最大運動負荷における指標の再現性はいずれも良好であった。

### 【考察】

今回の研究で、慢性心不全患者では、最大酸素消費量はトレッドミルの方がエルゴメータより有意に高値であった。トレッドミルにおける最大酸素消費量の増加に心拍出量と動静脈血酸素含量較差は同じ程度に寄与していた。すなわち酸素運搬能と酸素利用能はトレッドミルにおいていずれもエルゴメータより大きいことが明らかにされた。

症候限界性運動負荷での運動能の評価は患者の動機付けに依存するので、本研究で

は自覚症状をBorg scaleでモニターし、両負荷試験で共に約19になるように設定した。また全体の運動時間は、運動耐容能に影響を与える重要な因子であるので約10分で運動が終了するように負荷量を設定した。

今回の検討においてトレッドミルで得られた最大酸素消費量はエルゴメーターのそれより16%高値であった。酸素消費量は心拍出量と動静脈血酸素含量較差から規定される。本研究の結果心不全患者の最大酸素消費量の増加には両者が同等に（心拍出量は7.1%で動静脈血酸素分圧較差は8.5%）貢献している事が明確にされた。

今回の研究の対象として慢性心不全患者では、最大酸素消費量の増加と最高心拍出量の変化には直線関係があった。最高心拍数には差がなく一回拍出量の増加が、最高心拍出量に貢献していることが明らかになった。

トレッドミル運動とエルゴメータ運動で有意差がみられたものは、最大運動時の平均血圧、平均肺動脈圧、平均右房圧と全身血管抵抗であった。これから、トレッドミル運動ではエルゴメータ運動に比べて運動中の後負荷と前負荷が小さいことが示唆された。

心不全患者において、異なる負荷手段でこのような相異が生じる機序は単純には説明出来ない。この2つの運動形態で最も異なるのは、運動時の活動筋量であると考えられる。筋肉量が多いと、運動時により大きな代謝要求が生じ、それによって大きな最大酸素消費量を生み、心ポンプ予備能が保たれていれば、大きな心拍出量を生み出す。Jonedeauらは、症候限界性の下肢エルゴメーターの最大運動に、手の筋力を加えたところ、正常人では最大酸素消費量は増加しなかったが、重度の心不全患者においては最大酸素消費量が有意に増加した。彼等は心不全患者において、萎縮した骨格筋と筋血流量の減少がこの現象の要因と推測している。我々の検討での最高心拍出量の増加はトレッドミル運動で参加する骨格筋量が多いことが貢献しているのかもしれない。また最大酸素消費量の増加には最高動静脈血酸素含量較差の増大が貢献していたことから、骨格筋中での血流量分配の変化がもうひとつの機序かもしれない。

骨格筋の血流量の予備力は心不全患者では障害されている。そのような基盤に加えてエルゴメータではトレッドミルよりもより静的な力が筋肉に加わることが、より大きく血管抵抗を上げているのではないかと推測される。トレッドミル運動はエルゴメータ運動に比べて、リズム運動の要素がより強いことが活動中の筋肉に血流を分配するように調節されているのかもしれない。エルゴメータに比べてトレッドミルでカテコラミンの濃度が低いことも、血管抵抗の減少に寄与していると考えられる。

結論

トレッドミル運動では、エルゴメータ運動よりも16%大きな最大酸素消費量を生じた。心拍出量と動静脈血酸素含量較差は同等に最大酸素消費量の増加に貢献した。これらのことから、心不全患者では運動形態の違いによる酸素輸送能と酸素利用能が最大酸素消費量の違いに関与していると結論した。

神戸大学大学院医学系研究科（博士課程）

論文審査の結果の要旨			
受付番号	乙 第1837号	氏 名	金 秀 植
論 文 題 目	Hemodynamic Characteristics During Treadmill and Bicycle Exercise in Chronic Heart Failure - Mechanism for Different Responses of Peak Oxygen Uptake -  (心不全患者におけるトレッドミルとエルゴメータ運動における血行動態の比較：最大酸素消費量に差が生じる機序の検討)		
審 査 委 員	主 査 横 山 光 宏 副 査 尾 原 秀 実 副 査 大 比 啓		
審査終了日	平成 14 年 2 月 20 日		

(要旨は1,000字～2,000字程度)

慢性心不全患者において、運動耐容能試験は心機能評価に用いられるとともに予後の指標としても重要である。最大酸素消費量(peak VO<sub>2</sub>)は運動耐容能の最も客観的な指標であるが、トレッドミル試験で測定した値は坐位エルゴメータ試験で測定した値よりも大きいと報告されている。その機序については、明らかでない。

本研究はFick法にて心拍出量が測定できるoptic-fiber カテーテルを用いて、トレッドミルと坐位エルゴメータで得られる最大酸素消費量が異なる機序を解明することを目的に慢性心不全患者を対象として検討した。

対象は18人の左室機能低下を有する患者（平均56歳）である。基礎心疾患は陳旧性心筋梗塞9名、特発性拡張型心筋症9名であった。心機能分類のNYHAは12名がclass I、5名がclass II、1名がclass IIIであった。左室造影法による左室駆出率は平均35.3±12.9%であった。

全患者にあらかじめ症候限界性の最大運動負荷を坐位エルゴメータとトレッドミルで行った。そこから得られた運動量より、約10分間で終了するランブプロトコールを選択した。本試験では全患者にoptic-fiberカテーテルを装着し、運動終点をBorg scaleの19に達するまで行った。運動試験の順序は先ず坐位エルゴメータを行い、その90分後にトレッドミルをおこなった。

呼吸ガス分析装置のRM-300システムを使用し、安静時と運動中30秒間隔で酸素消費量、炭酸ガス排出量、呼吸商、分時換気量、呼吸回数と一回換気量を測定した。Peak VO<sub>2</sub>と嫌気性代謝閾値(AT)を決定した。ATは酸素消費量と炭酸ガス排出量の変曲点をRM-300で自動計算した。心拍数と血圧は1分毎に測定した。心拍出量の測定のため動脈血酸素飽和度をpulse oximeterで測定し、混合静脈血酸素飽和度をoptic-fiber catheterで測定した。血色素濃度は安静時と最大運動時で測定し、血中酸素含量は計算式  $1.39 \times (\text{血色素濃度} \times \text{酸素飽和度})$  にて計算した。心拍出量は酸素消費量を動静脈酸素含量較差で除して求めた。1回拍出量は心拍出量を心拍数で除して求めた。肺動脈圧と右房圧はoptic-fiber catheterから直接測定した。全身血管抵抗は心拍出量を平均血圧から平均右房圧を引いたもので除して算出した。血中の乳酸、ノルアドレナリン、アドレナリン濃度は安静時と最大運動時に混合静脈血を用いて測定した。

左室機能不全患者男性8人を対象に、非観血的に症候限界性の最大エルゴメータを90分間隔で2回行った。

以下の結果が得られた。

(1) 安静時には酸素消費量、炭酸ガス排出量、呼吸商、分時換気量、心拍数、平均血圧、平均肺動脈圧、平均右房圧、動脈血酸素飽和度と乳酸濃度には両試験の間に差はなく、呼吸回数と一回換気量には有意差があった。動静脈血酸素含量較差と全身血管抵抗はエルゴメータよりもトレッドミルの方が有意に高値であった。(2) 最大運動時のBorg scale、分時換気量、呼吸回数、一回換気量、呼吸回数と心拍数には両運動試験に差がなかったが、酸素消費量、炭酸ガス排出量、動静脈血酸素含量較差、心拍出量と一回拍出量はトレッドミルで有意に高値であった。呼吸商、平均血圧、平均肺動脈圧、平均右房圧、動脈血酸素飽和度、全身血管抵抗とアドレナリン濃度とノルアドレナリン濃度と乳酸濃度はトレッドミルが有意に低値であった。

(3) 最大酸素消費量は、トレッドミルの方がエルゴメータより $16.0 \pm 9.5\%$ 大きかった。両者の間には密接な正相関 ( $r=0.92, p<0.001$ ) がみられた。嫌気性代謝閾値における酸素消費量はトレッドミルのほうが有意に高値であった。しかし、最大酸素消費量に対するATの相対値(%)では有意差はなかった。酸素消費量を規定している心拍出量と動静脈血酸素含量較差について運動終点の心拍出量はトレッドミルで $7.1 \pm 8.1\%$ 大きく、動静脈血酸素含量較差は $8.5 \pm 7.0\%$ 大きかった。このように、心拍出量と動静脈血酸素含量較差は最大酸素消費量の増加に同じ程度に貢献していた。最大酸素消費量は最高心拍出量と有意に相関したが ( $r=0.74, p<0.001$ )、最高動静脈血酸素含量較差とは有意に相関しなかった( $r=0.46, p=0.055$ )。最高心拍数は両負荷試験で差がなく、トレッドミルにおいては一回拍出量の増加が最大心拍出量の増加に寄与していた ( $r=0.63, p<0.01$ )。最大運動負荷における指標の再現性はいずれも良好であった。

本研究は心不全患者におけるトレッドミルとエルゴメータ運動負荷の血行動態応答の違いを明らかにするために行われたものであるが、トレッドミルで得られる最大酸素消費量がエルゴメータのそれより高値であり、その理由として心拍出量と動静脈血酸素含量較差の両者が同等に貢献し、前者には活動骨格筋量、後者には骨格筋中での血流量分配の変化、また血中カテコラミン濃度の違いが関与していると結論した。本研究はこれまでに殆ど行われなかった心不全患者での運動負荷法が異なることによる循環応答の相違について重要な知見を得たものとして価値ある業績であると認める。よって、本研究者は、博士(医学)の学位を得る資格があるものと認める。