

## フリーローラーと固定ローラーにおける自転車運動の動作および筋活動の比較

谷本 道哉<sup>1</sup>, 高田 佑輔<sup>2</sup>, 栗原 俊之<sup>3</sup>, 村出 真一郎<sup>4</sup>, 柳谷 登志雄<sup>4</sup>, 形本 静夫<sup>4</sup>

## 要旨

**背景:** 自転車サイクリング運動はレクリエーションスポーツとして広く行われている。自転車運動は天候や交通状況の都合などから、実際のロード走行の代わりに室内でエルゴメータ等を用いて行われることも多い。しかし、ロード走行とエルゴメータのペダリング動作の違いは明確にされていない。**目的:** 自転車のロード走行とエルゴメータの動作および筋活動の相違点を検証することを目的とした。使用する自転車の形状、負荷等の条件を統一するため、本研究ではロード走行とエルゴメータを模したものとして、前後方向以外の自転車の動きが固定されず動作の自由度の高いフリーローラーと後輪車軸をローラーの土台に固定する固定ローラーを用いて同一の自転車ペダリング動作の比較を行った。**方法:** 順天堂大学自転車競技部に所属する選手 7 名を用いてフリーローラーと固定ローラーでのペダリング運動を 60rpm および 90rpm で行い、下肢の関節角度変位および筋放電量を測定した。**結果:** 60rpm, 90rpm とともに下肢 3 関節の関節動作は全般的にフリーローラーにおいて固定ローラーよりも関節稼働量が小さい様子が観察された。2 試技間で有意差が見られたのは 60rpm における股関節、膝関節、90rpm における膝関節、足関節であった。下肢筋群のペダリング動作中の 1 サイクル中の筋放電量の平均値およびピーク値は、60, 90rpm のいずれの回転数、いずれの筋においても 2 試技間に有意な差は見られなかった。**結論:** フリーローラーと固定ローラーではペダリング動作の下肢の関節動作形態は異なる。しかし筋放電量には相違は見られない。

**キーワード:** 自転車運動, エルゴメータ, 関節角度変位, 筋放電量

## 1. 緒論

自転車は日常の移動手段として多くの人に利用される身近な乗り物であり、また持久的体力、筋力を維持・増強させる効果の期待できる手軽な運動器具でもある。競技スポーツ、レクリエーションスポーツとしての自転車サイクリングの愛好者は多く、笹川スポーツ財団の「スポーツライフに関する調査」(2008)によるとスポーツとしての自転車サイクリングの実施率(週 2 回以上実施しているもの)は 2.5%、推計人口は 258 万人とされる。これはジョギング・ランニングの実施率 2.4% とほぼ同程度の値であり、運動実施種目の第 5 位となっている<sup>(1)</sup>。

自転車運動の持久的な運動強度は、16.1km/時未満の日常の移動に用いる程度では約 4.0 メッツ、19.3-22.4km/時でややきつと感じる程度の場合では約 8.0 メッツに及ぶ<sup>(2)</sup>。持久的な運動の実施は心疾患などの生活習慣病の発症リスクを低減させることが知られており<sup>(3)</sup>、厚生労働省の定める運動基準 2006 では生活習慣病予防のため、週 4 メッツ・時以上の運動を推奨している<sup>(4)</sup>。また、持久的な体力の向上にも心疾患等の発症、死亡リスクを低減させる効果があり、持久的運動の実施と持久的体力の向上とはそれぞれ独立した効果因子であると Williams らの疫学研究のメタ分析では結論づけている<sup>(5)</sup>。

自転車運動の主たる効果は持久的体力の向上と考えられているため、筋肥大・筋力増強の効果を検討した研究は少ないが、いくつかの研究が自転車運動による下肢筋群の筋肥大・筋力増強効果を報告している<sup>(6) (7)</sup>。

原稿受付 2010 年 6 月 19 日

1. 近畿大学生物理工学部人間工学科, 〒649-6493 和歌山県紀の川市西三谷 930
2. 木更津工業高等専門学校, 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1
3. 立命館大学スポーツ健康科学部, 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1
4. 順天堂大学スポーツ健康科学部, 〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1-1

ヒトの筋肉は加齢とともに萎縮する（サルコペニア）<sup>(8)</sup>。特に体重を支える下肢の筋での筋量の減少は激しく、大腿四頭筋の外側広筋では骨格筋量は 80 歳までに平均で 20 歳代の 60% にまで減少する<sup>(9)</sup>。介護予防の観点から、サルコペニア予防は個人あるいは社会にとって重要な課題である。下肢筋群の筋肥大・筋力向上効果の見込める自転車運動はサルコペニア予防のための手段の一つとして期待される。

スポーツ・レクリエーションとして行う自転車運動は、天候や交通状況の都合などから、実際のロード走行の代わりに室内でエルゴメータ等を用いて行われることも多い。自転車運動におけるペダリング動作や筋放電に関する研究は数多く報告されている<sup>(10) (11)</sup>が、自転車のロード走行とエルゴメータのペダリング動作の違いを明確に比べた報告はほとんどない。

本研究では自転車のロード走行とエルゴメータの動作・筋活動の比較による両者の相違点を検証することを目的とした。ロード走行とエルゴメータを模したのものとして、前後方向以外の自転車の動きが固定されず動作の自由度の高いフリーローラーと後輪車軸をローラーの土台に固定する固定ローラーでの同一の自転車のペダリング動作の比較を行った。このような運動条件を設定したのは、2つの試技間で使用する自転車の形状および与える負荷強度を統一するため、またペダリング運動中の関節角度変位の分析を行うためである。実際のロード走行では路面や風の影響により負荷条件が一定しないこと、また、屋外では光度が一定しないため動作解析システムのカメラ撮影が困難であることから、屋内での 2 種類のローラーを用いた条件の設定を行った。なお、同一の自転車、同一負荷条件を用いて 2 種類の使用ローラーによる動作の違いは非常に僅少なものとなる可能性が高いと考えられた。そこで本研究では、2 試技間の差の検出感度を高める目的から、運動の再現性の高いと考えられる上級者を用いて測定を行うこととした。

## 2. 研究方法

### 2.1 被験者

順天堂大学自転車競技部に所属する男性部員 7 名（平均年齢 20.6±1.7 歳、平均身長 171.5±7.7cm、平均体重 65.3±3.8kg（競技歴 6.6±3.0 年））を被験者に用いた。被験者に対しては、研究の目的、方法および危険性を説明し、研究に参加することへの同意を書面により得た後、以下の運動を実施し測定を行った。なお、本研究は順天堂大学の設置する倫理委員会の承認を得て実施したものである。

### 2.2 実験プロトコル

ロードレース用の自転車（CAAD8, Cannondale 社, USA）を用いて、被験者に自転車の左右の動きの固定されないフリー式のローラー（AC-MAGROLLER, MINOURA 社, 日本）と、後輪車軸を固定して負荷をかける固定式のローラー（RDA80 Rim DriveAction, MINOURA 社, 日本）の、2 種類のローラー上での自転車ペダリング運動を行わせた（図 1）。前者はロードでの自転車の実走行を、後者は室内でのエルゴメータ上でのペダリング運動を模して設定したものである。なお、ペダリング運動はビンディングペダルを装着して行った。

本実験では、2つの試技間での使用する自転車の形状および与える負荷強度を統一するため、またペダリング運動中の関節角度変位の分析を行うためにこのような運動条件を設定した。両試技の負荷条件は 60rpm の走行時のペダル回転軸の仕事率が 250W となる条件に統一をした<sup>(12)</sup>。ペダル回転軸の仕事率の評価には SRM 社の training system PowerControl VI（ドイツ）を用いた。

ペダリング運動の試技はペダル回転数 60rpm および 90rpm の 2 条件をフリーローラーおよび固定ローラーを用いて行った（計 4 試技）。ペダル回転数の調節には電子メトロノームを使用した。試技の実行順序によるバイアスを排除するため 4 つの試技の順番は被験者ごとにランダムに設定した。それぞれの試技条件において 60 秒程度のペダリング運動を行わせ、動作が安定したところから 5 サイクル分のキネマティックデータおよび筋電図データを収集した。

### 2.3 キネマティックデータ

光学式三次元動作解析システム (VICON-MX, VICON MOTION SYSTEMS, UK) を用いて、ペダリング動作をサンプリング周波数 250Hz で撮影した。この際、分析点として直径 14mm の反射マーカ―を使用した。Plug-In Gait の下肢のマーカ―セットを採用し、身体の 18 個所に反射マーカ―を貼付した。すなわち、マーカ―貼付位置は左右上前腸骨棘、左右上後腸骨棘、左右腸骨、左右大腿、左右膝関節中心、左右下腿、左右外果、左右第二中足骨、左右踵骨隆起であった。得られた各分析点の座標値より、各関節の関節中心の座標を算出し (Plug-In Gait Biomechanical Modeller Ver. 2.0, VICON MOTION SYSTEMS, UK)、各関節角度を算出した。本研究では、ペダリング動作に深く関与する股関節、膝関節、足関節の関節角度を分析に使用した。これらの関節角度の定義は以下の通りである。股関節角度：上前腸骨棘と上後腸骨棘の線分の垂線と大腿セグメントのなす角度、膝関節角度：大腿セグメントと下腿セグメントのなす角度、足関節角度：下腿セグメントと足底面のなす角度。さらに、クランク角度を定義するために自転車の右ペダル回転軸付近にも同型の反射マーカ―を貼付し、右の上死点から次の上死点までを 1 サイクルと定義した。また、前額面における自転車本体および骨盤の傾きを定量するために、左右ハンドル部にも反射マーカ―を貼付し、左右上後腸骨棘 (骨盤の傾きの定義に使うマーカ―は要検討) の各ベクトルと X 軸 (左右方向) との内積によって角度変位を算出した。得られた角度データにスプライン補間を施し、クランク角度データを元に 5 度ごとに抽出した。

### 2.4 筋電図 (EMG : Electromyography)

多チャンネルテレメータシステム (WEB-7000, 日本光電工業, 日本) を用い、右脚の中臀筋、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋長頭、長内転筋、前脛骨筋、腓腹筋内側頭、ヒラメ筋の合計 8 筋から双極誘導で表面筋電図を導出した。この際、電極間距離 10mm のプリアンプ方式のアクティブ電極を用い、電極貼付位置は各筋の筋腹とした。得られた EMG 信号は、A/D 変換器 (PowerLab/16SP, ADInstruments, Australia) を介してデジタル変換され、サンプリング周波数 1kHz でパーソナルコンピュータに記録された。

得られた EMG 信号はバンドパスフィルター (20-450Hz) を用いてアーチファクトノイズを除去した後全波整流した。それを随意最大筋力 (MVC:Maximum Voluntary Contraction) 発揮時に対する相対化した値を筋放電量の評価に用いた。各筋における 5 秒間の MVC における筋電位を測定し、その中間 1 秒間の全波整流した積分値の平均を 100%として相対化した (%MVC)。ペダリング運動中の筋放電量の経時変化の観察には、さらにその信号をローパスフィルター (30Hz) で平滑化して得た包絡線データを用いた<sup>(12)</sup>。EMG 信号には角度データと同様にスプライン補間を施し、クランク角度データを元に 5 度ごとに抽出した。

### 2.5 各データの同期

シンクロナイザ (PH-100, 株式会社ディケイエイチ, Japan) を使用し、PowerLab/16SP および VICON システムに 5V の矩形波を入力することで各測定データの同期を図った。

### 2.6 統計処理

各測定から得られたデータは平均値±標準偏差で表した。自転車ペダリング運動中の筋放電量および関節稼働量の、固定式ローラーとフリーローラーの 2 試技間における平均値の差の検定には対応のある *t* 検定を用いた。いずれの場合も有意水準は 5%とした。



左がフリー式ローラー (AC-MAGROLLER, MINOURA 社, 日本), 右が固定式ローラー (RDA80 Rim DriveAction, MINOURA 社, 日本). ともに 60rpm の条件で 250w の仕事率となるように負荷の設定を統一した.

図1 実験に用いた2種類のローラー

### 3. 結果

#### 3.1 関節角度変位および自転車ハンドル変位

図2に自転車ペダリング運動中の下肢3関節(股関節, 膝関節, 足関節)の1サイクルあたりの関節稼働量および骨盤と自転車本体の前額面上の角度変位量を示した. ペダル回転数 60rpm の条件では, 股関節および膝関節において固定ローラーではフリーローラーよりも有意に大きな値であった(股関節稼働量 42.7±1.7 度:フリー, 44.9±2.3 度:固定, 膝関節稼働量 81.8±5.5 度:フリー, 84.2±4.9 度:固定). 足関節においては固定ローラーではフリーローラーよりも大きな値を示す傾向にあったが両試技間に有意差は見られなかった(足関節稼働量 33.3±9.4 度:フリー, 35.0±10.1 度:固定). 自転車本体の前額面上の角度変位量は, 固定ローラーではフリーローラーよりも大きな値を示す傾向にあったが両試技間に有意差は見られなかった(0.69±0.44 度:フリー, 0.41±0.13 度:固定). 骨盤の前額面上の角度変位量は, 固定ローラーではフリーローラーよりも大きな値を示す傾向にあったが両試技間に有意差は見られなかった(4.59±0.92 度:フリー, 4.35±1.58 度:固定).

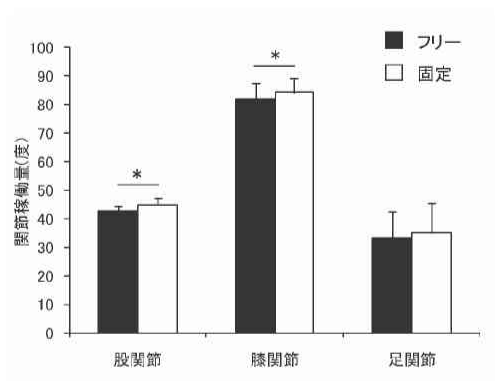
ペダル回転数 90rpm の条件では, 股関節においては固定ローラーではフリーローラーよりも大きな値を示す傾向にあったが両試技間に有意差は見られなかった(股関節稼働量 44.9±2.1 度:フリー, 46.0±3.1 度:固定). 膝関節および足関節において固定ローラーではフリーローラーよりも有意に大きな値であった(膝関節稼働量 80.5±3.8 度:フリー, 82.6±3.8 度:固定, 足関節稼働量 27.0±8.4 度:フリー, 29.3±7.2 度:固定). 自転車本体の前額面上の角度変位量は, 固定ローラーではフリーローラーよりも大きな値を示す傾向にあったが両試技間に有意差は見られなかった(0.79±0.34 度:フリー, 0.48±0.16 度:固定). 骨盤の前額面上の角度変位量は, 固定ローラーではフリーローラーよりも有意に大きな値であった(3.02±0.91 度:フリー, 4.87±1.10 度:固定).

図3に60rpm, 図4に90rpmそれぞれにおける下肢3関節の1サイクル中の関節角度および骨盤と自転車本体の前額面上の角度変位の経時変化を示した. 60rpm, 90rpmのどちらの条件においても, 下肢3関節動作のいずれもフリーローラーでの関節稼働量が固定ローラーの場合よりも若干小さくなっている様子が見られる. また, 骨盤と自転車本体の前額面上の角度変位が, フリーローラーにおいて固定ローラーの場合よりも若干大きな変化を示している様子が見られる.

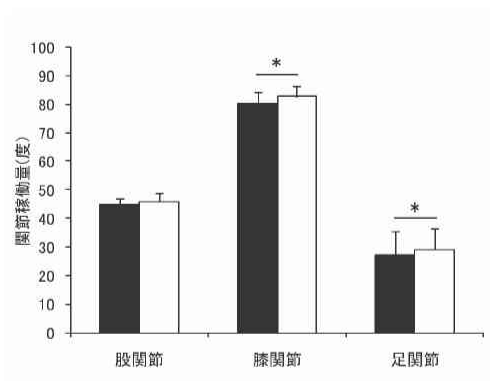


60rpm

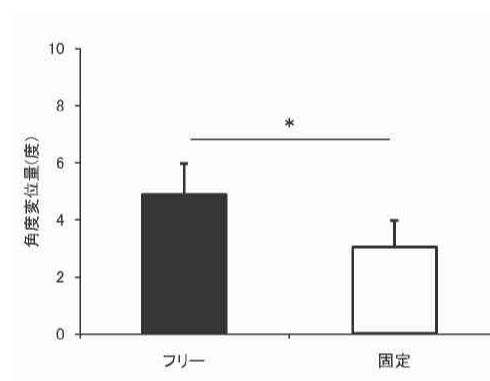
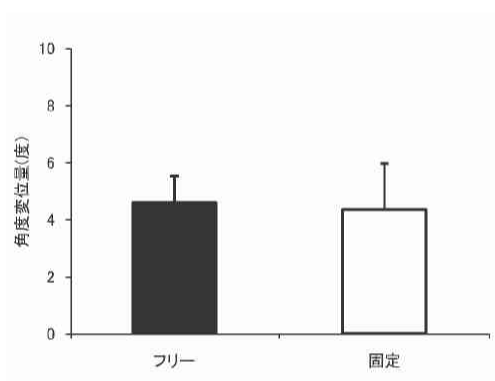
下肢三関節の関節稼働量



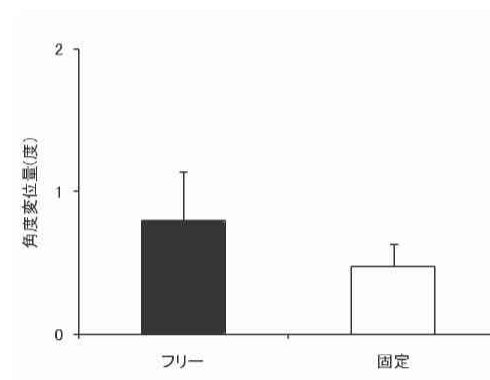
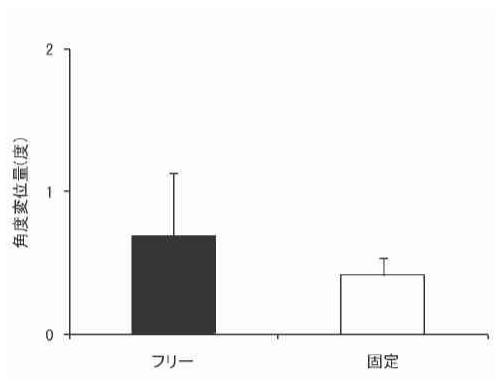
90rpm



骨盤の前額面上の角度変位量



自転車本体の前額面上の角度変位量

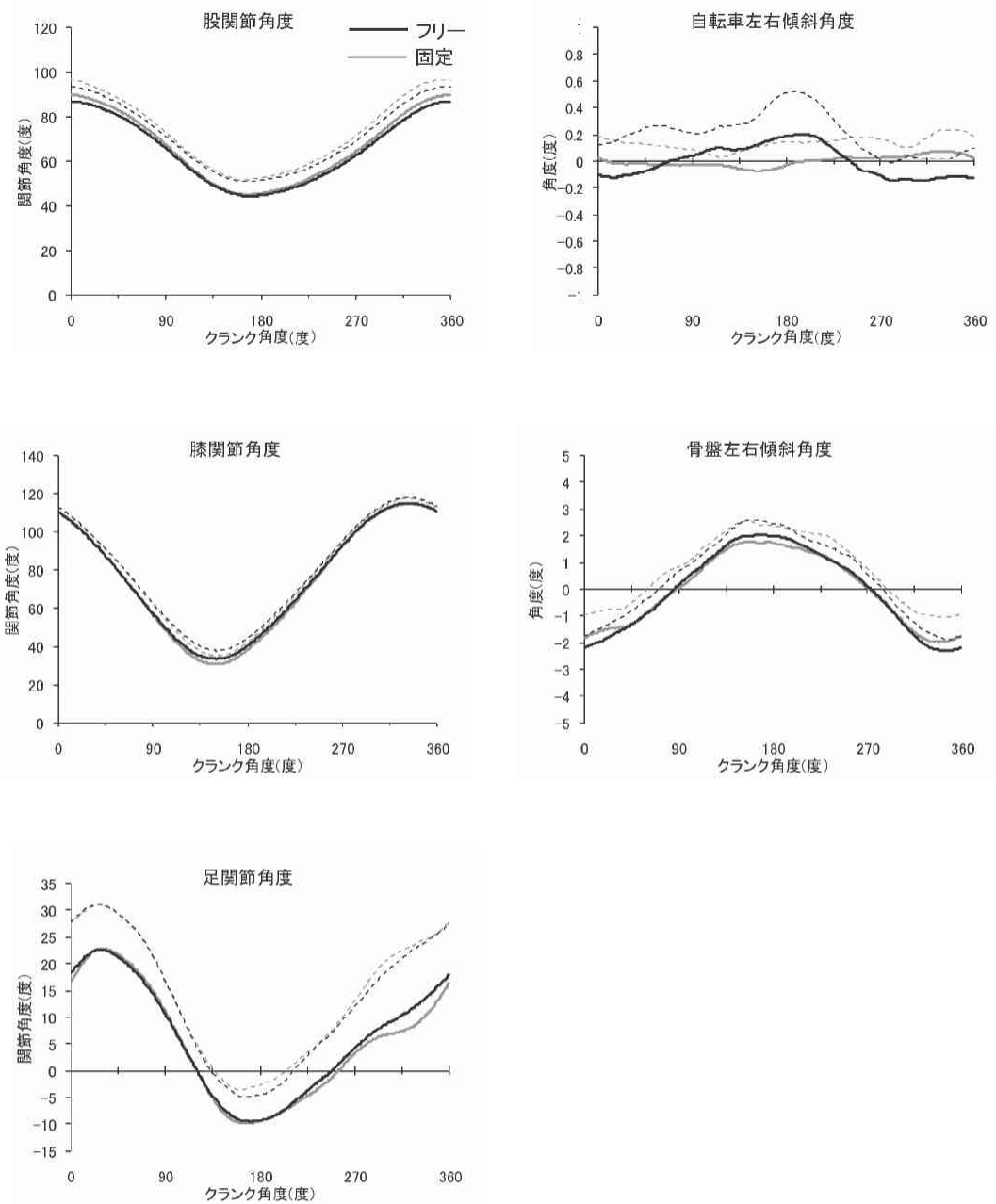


平均値±標準偏差を示す。

■ フリー：フリーローラー上の試技の値，□ 固定：固定ローラー上の試技の値を示す。

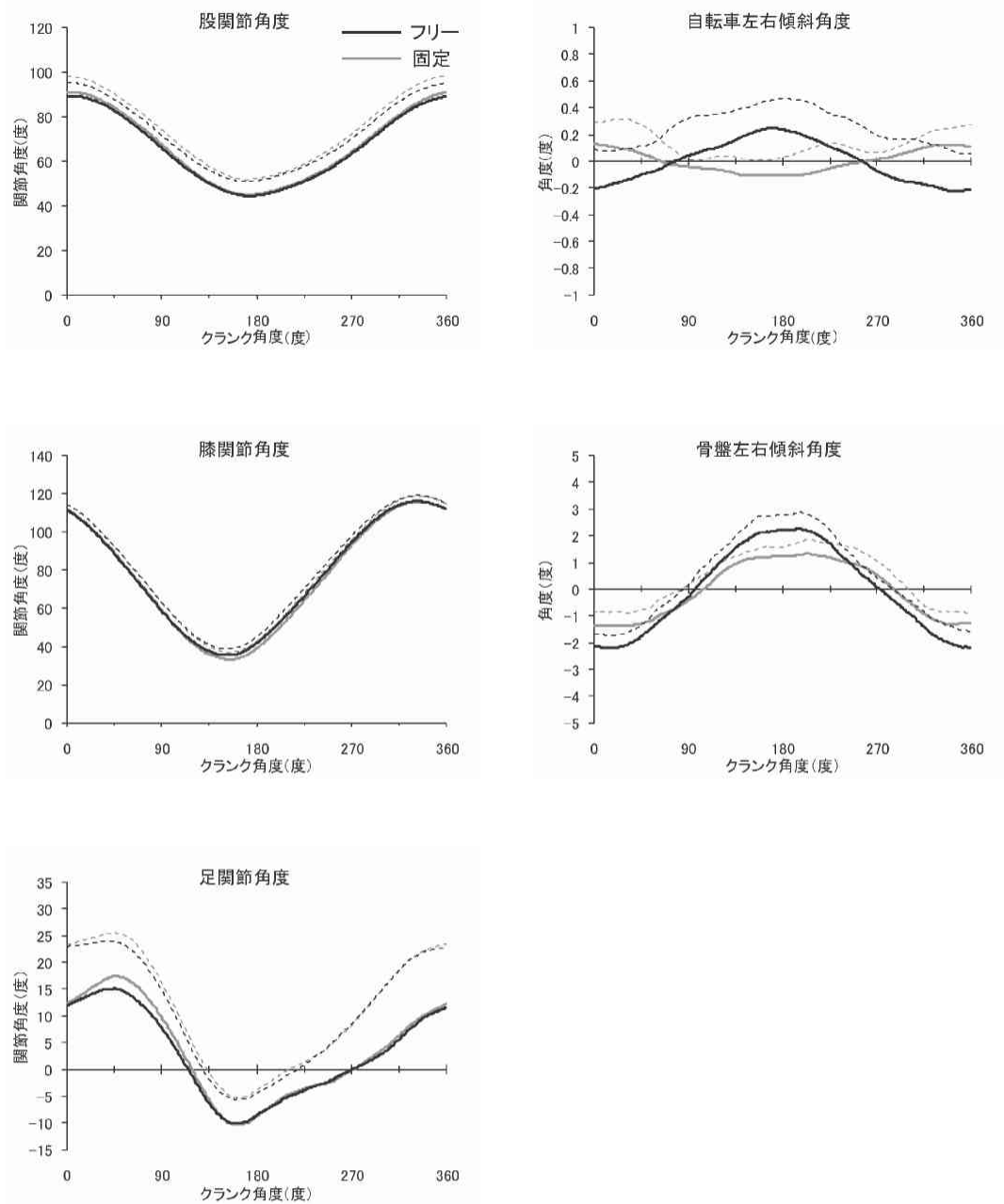
\*：2 試技間の有意差を示す ( $p < 0.05$ )。

図2 1 サイクルあたりの下肢三関節の関節稼働量および自転車本体と骨盤の前額面上の角度変位量



— : フリーローラー上の試技の平均値,    .....: フリーローラー上の試技の平均値+標準偏差,  
 — : 固定ローラー上の試技の平均値,    .....: 固定ローラー上の試技の平均値+標準偏差 を示す.

図3 1 サイクル中の関節角度および骨盤と自転車本体の前額面上の角度変位の経時変化 (60rpm)



— : フリーローラー上の試技の平均値,    - - - - : フリーローラー上の試技の平均値+標準偏差,  
 — : 固定ローラー上の試技の平均値,    - - - - : 固定ローラー上の試技の平均値+標準偏差 を示す.

図4 1 サイクル中の関節角度および骨盤と自転車本体の前額面上の角度変位の経時変化 (90rpm)

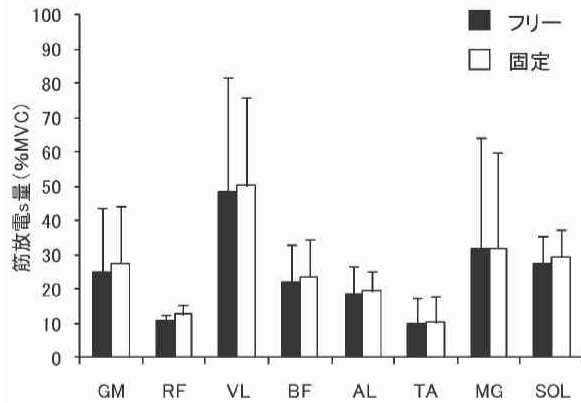
### 3.2 筋活動

図5に自転車ペダリング運動中の下肢の8つの筋(中臀筋, 大腿直筋, 外側広筋, 大腿二頭筋長頭, 長内転筋, 前脛骨筋, 腓腹筋内側頭, ヒラメ筋)の1サイクル中の筋放電量の平均値を, 図6に1サイクル中の筋放電量のピーク値を示した. 60rpm, 90rpm どちらのペダリング運動においても8つのすべての筋においてフリーローラーと固定ローラーの2つの試技間において有意な差は見られなかった. なお, すべてのペダリング運動において1サイクル中の筋放電量の平均値, ピーク値が最も高い値をしめした筋は, 膝伸展筋の外側広筋と足底屈筋の腓腹筋内側頭とヒラメ筋であった.

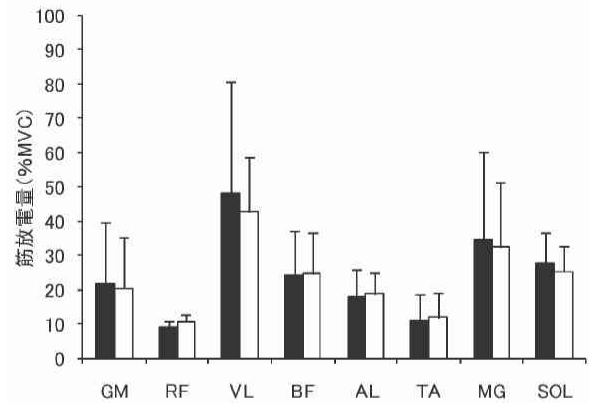
図7に60rpm, 図8に90rpm それぞれにおける下肢の8つの筋の1サイクル中の筋放電量の経時変化を示した. 60rpm, 90rpm いずれの条件においても下肢の8つの筋のすべてフリーローラーと固定ローラーにおける筋放電の様子に目立った差異は見られなかった.



60rpm



90rpm



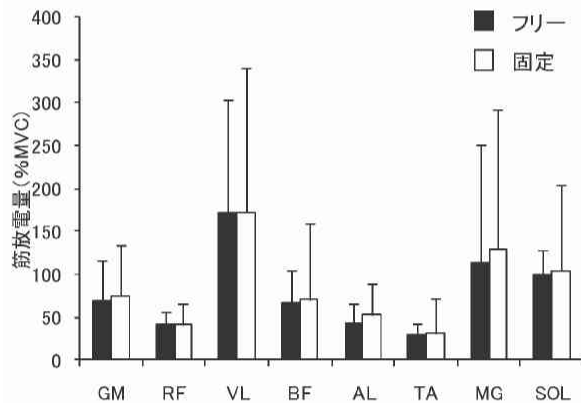
平均値±標準偏差を示す。

■ フリー：フリーローラー上の試技の値，□ 固定：固定ローラー上の試技の値を示す。

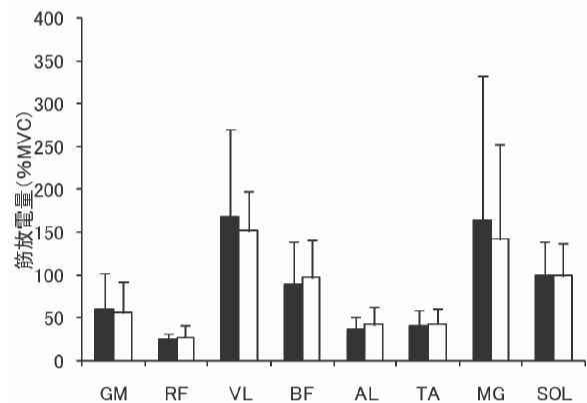
GM：中臀筋，RF：大腿直筋，VL：外側広筋，BF：大腿二頭筋長頭，AL：長内転筋，TA：前脛骨筋，MG：腓腹筋内側頭，SOL：ヒラメ筋。いずれの筋においても2試技間の有意差は見られない。

図5 1サイクルあたりの下肢の8つの筋の筋放電量平均値

60rpm



90rpm

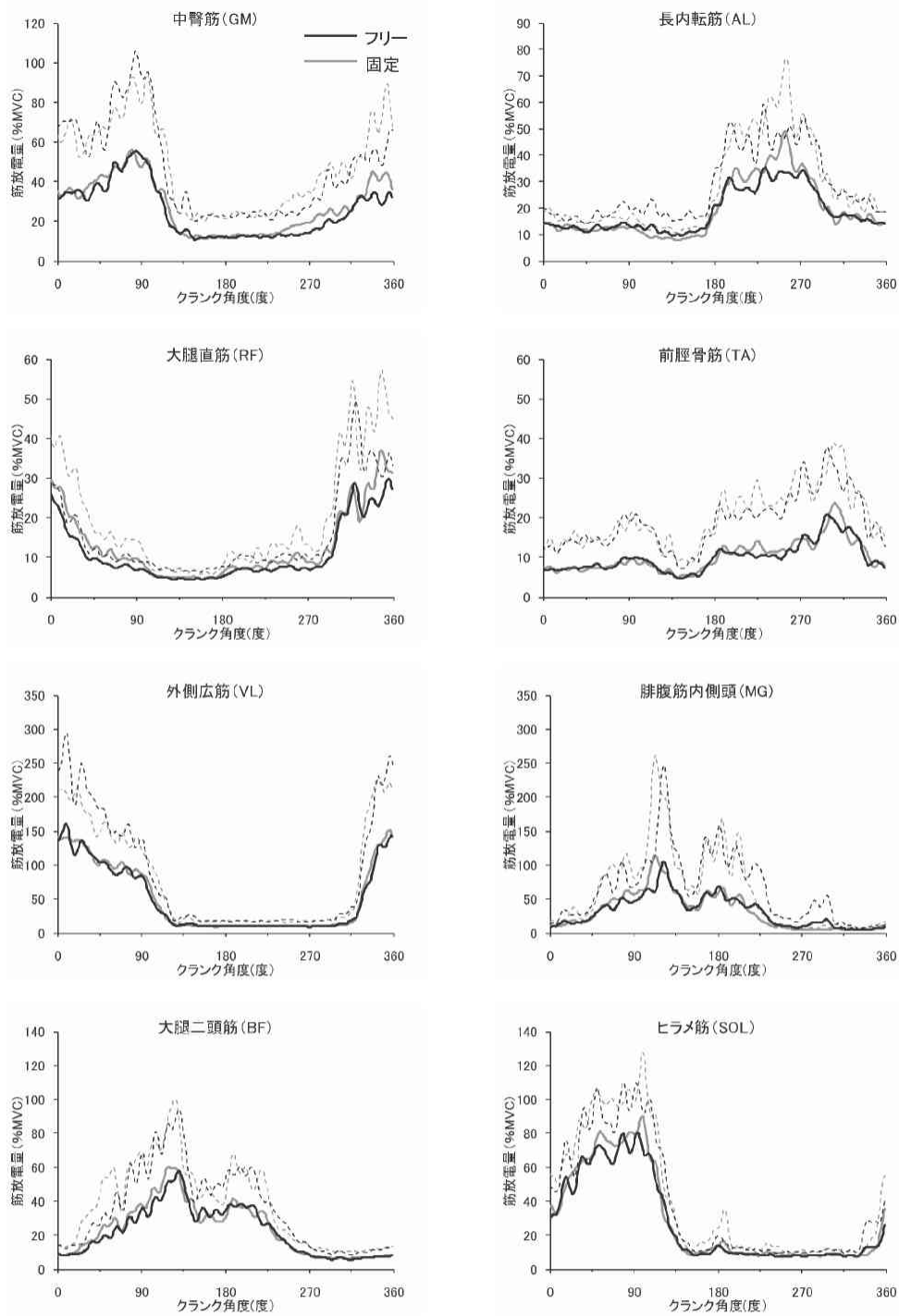


平均値±標準偏差を示す。

■ フリー：フリーローラー上の試技の値，□ 固定：固定ローラー上の試技の値を示す。

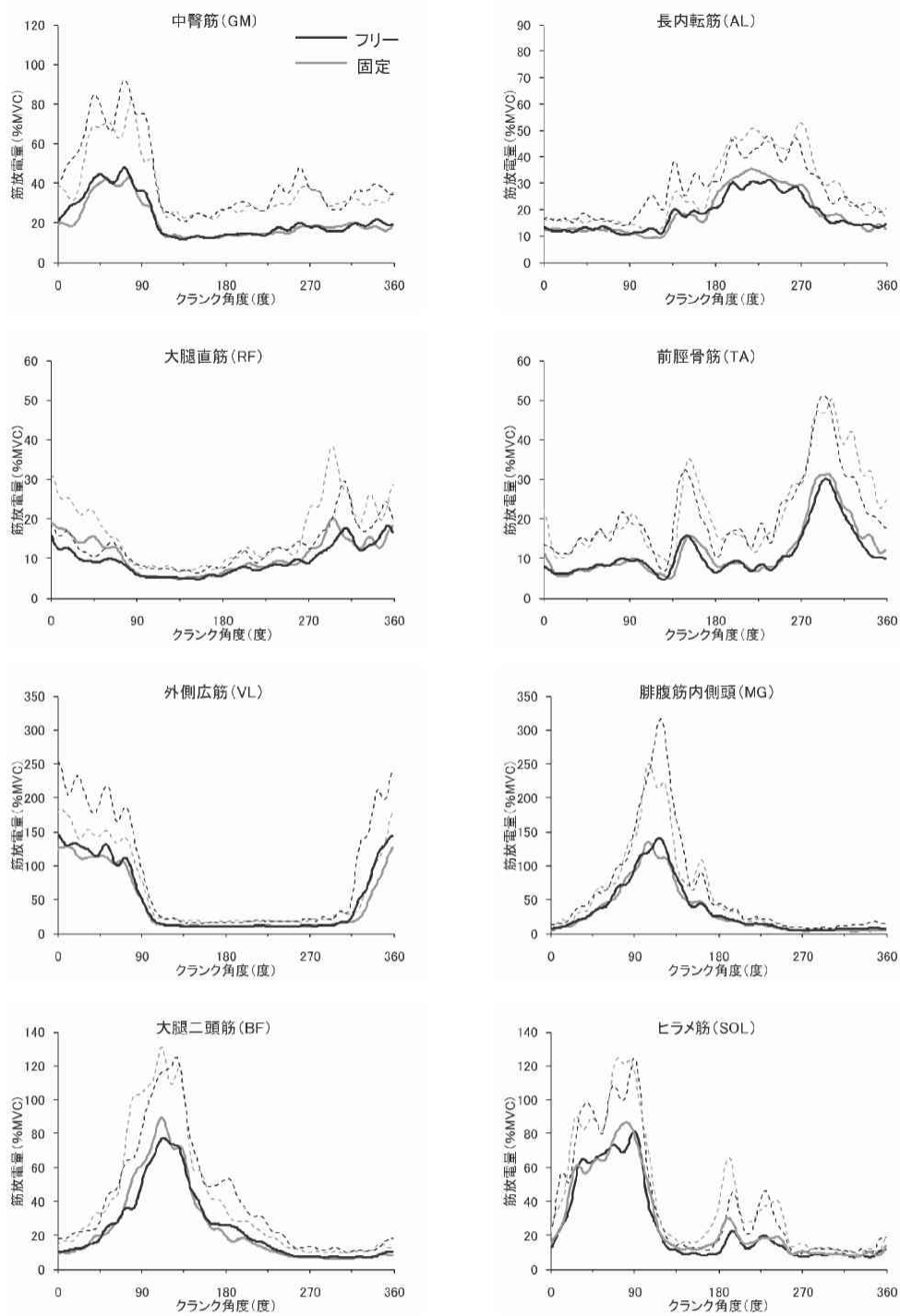
GM：中臀筋，RF：大腿直筋，VL：外側広筋，BF：大腿二頭筋長頭，AL：長内転筋，TA：前脛骨筋，MG：腓腹筋内側頭，SOL：ヒラメ筋。いずれの筋においても2試技間の有意差は見られない。

図6 1サイクルあたりの下肢の8つの筋の筋放電量ピーク値



— : フリーローラー上の試技の平均値,    ..... フリーローラー上の試技の平均値+標準偏差,  
 — : 固定ローラー上の試技の平均値,    ..... 固定ローラー上の試技の平均値+標準偏差 を示す.

図7 1 サイクル中の下肢の8つの筋の筋放電量の経時変化 (60rpm)



— : フリーローラー上の試技の平均値,    .....: フリーローラー上の試技の平均値+標準偏差,  
 — : 固定ローラー上の試技の平均値,    .....: 固定ローラー上の試技の平均値+標準偏差 を示す.

図8 1 サイクル中の下肢の8つの筋の筋放電量の経時変化 (90rpm)

#### 4. 考察

##### 4.1 キネマティックデータの比較

フリーローラーと固定ローラーの2試技におけるキネマティックデータは、同一の自転車で行うためサドル位置とペダル軌道との関係が同一であることから大きな差異が生じることは考えにくい。しかしながら、本研究においては自転車運動の主要な動作を行う下肢の3関節（股関節、膝関節、足関節）の稼働範囲においていくつかの条件で有意な差がみられた。有意差が見られたのは60rpmの条件における股関節、膝関節の稼働量と90rpmの条件における膝関節、足関節の稼働量であり、いずれにおいてもフリーローラーにおいて固定ローラーの場合よりも各関節の稼働量が小さかった。また、有意差の見られなかった60rpmにおける足関節、90rpmにおける股関節においてもフリーローラーにおいて固定ローラーの場合よりも各関節の稼働量が小さい傾向がみられた（ともに $p < 0.1$ ）（図2）。この下肢の3関節の稼働量のフリーローラーにおける減少は股関節の基部に当たる骨盤の動きにより補償されているものと考えられる。骨盤の前額面上の回転動作（右傾斜、左傾斜）の角度変位量は60rpmにおいてはフリーローラーにおいて固定ローラーの条件よりも大きい傾向、90rpmにおいては有意に大きな値であった。つまり、フリーローラーにおいては固定ローラーの条件よりも骨盤の左右の傾斜の動きが大きくなり、その分下肢3関節の動きが小さくなるものと解釈できる。いずれのキネマティックデータの差も、同一の自転車を用いた運動の比較であるため大きなものではないが、2つの条件間で確実に異なることが示されたといえる。なお、フリーローラーにおける自転車の左右の傾きは1度未満（片側には0.5度未満）と小さいものであり、固定ローラーよりも大きな傾向にはあったが有意差はなかった。

##### 4.2 筋電図データの比較

キネマティックデータの比較から、フリーローラーと固定ローラーとの2試技では動きには違いがみられたが、筋放電量のデータにおいては有意な違いはいずれの測定項目においても見られなかった。フリーローラーでは骨盤の左右の傾斜の動きが60rpmでは固定ローラーよりも大きな傾向、90rpmでは有意に大きな値であり、これは股関節の外・内転動作を大きくしていると考えられる。この動きの変化に伴い股関節外・内転作用のある中臀筋と長内転筋の筋放電量がフリーローラーでは高まることが予測されたが、そのような様子は見られなかった。骨盤の左右の傾斜角度の差が有意差のあった90rpmでも2度未満と小さなものであり、筋放電量に差を与えるほどの動きの違いではなかったからかもしれない。また、自転車が前後方向以外には固定されないフリーローラーは自転車が不安定であるため、バランスをとるために筋放電量が増加する可能性が予測されたが、そのような様子は観察されなかった。これは被験者が自転車運動に十分に慣れた競技選手であったためかもしれない。

キネマティックデータ、筋電図データから、フリーローラーと固定ローラーとでは動作の仕方には有意な差が見られるが、その違いは下肢の主要な筋肉の筋放電量に影響を与えるほどではないと言える。フリーローラーはローラー上でのバランスをとる高い能力が必要とされることから、バランス能力や動作の緻巧性などに対するトレーニング効果は当然異なると思われるが、筋機能に対する運動効果の、2つの手技による違いはほとんどないものと考えられる。つまり、筋肥大・筋力増強効果（サルコペニア予防、介護予防）、筋に負荷をかけることで得られる全身性の持久的体力の向上（生活習慣病予防）という点においては、室内で行うエルゴメータの運動でも屋外で行うサイクリング運動と同様の効果を得られるものと考えられる。

##### 4.3 サルコペニア予防効果（筋肥大・筋力増強効果）

自転車運動による筋力増強・筋肥大効果を検証した研究は多くない。Tabataらはエルゴメータを用いた7週間の90%VO<sub>2</sub>maxの高強度のインターバルトレーニングによって等速性の膝伸展力の有意な増加を報告している<sup>6)</sup>。また、Linossierらは9週間のエルゴメータを用いたトレーニングによって膝伸展筋群の有意な増加

(+6%)を報告している<sup>(7)</sup>。一方で、最大負荷の30-70%でのエルゴメータを用いた運動を10週間行ったにも関わらず、膝伸展筋力が増加しなかったというKaljumaeらの報告など<sup>(13)</sup>、筋肥大・筋力増強効果に否定的な見解を示す研究もある。

自転車運動が筋肥大・筋力増強を誘発するメカニズムは不明だが、自転車運動特有の筋力発揮形態と関係しているかもしれない。自転車運動は本研究結果にも示されるように下肢の多くの筋で動作中の半分程度の時間に筋放電が起きており(図7, 8)、持続的な筋力発揮に近い筋活動を行っている。これは、筋活動が主に接地での繰り返し局面の短い時間に限られる瞬間的な筋力発揮を行うジョギング<sup>(14)</sup>のような他の持久的運動と大きく異なる自転車運動特有の要素といえる。持続的な筋活動は筋内圧の上昇により筋血流が制限されるため<sup>(15)</sup>、筋内が低酸素環境になり乳酸などの無酸素性の代謝物が蓄積されやすい<sup>(16)</sup>。筋内の代謝物の蓄積は筋細胞内外の浸透圧調整のため血漿を細胞内に取り込み(fluid shift)、筋が一時的に膨張する<sup>(17)</sup>。このような筋内環境の変化がホルモン応答等を介して筋肥大の刺激の一要因となっていると考えられている<sup>(18) (19)</sup>。筋の一時的な膨張は「筋のパンプアップ現象」と呼ばれ筋力トレーニングなどを行う際に体感することができる。自転車運動においても高強度のペダリングを行うと下肢の筋群で強いパンプアップ現象が起こることは経験的によく知られている。

自転車運動による筋肥大・筋力増強を得るには筋肉に強いパンプアップ現象が起こるだけの十分な強度と運動量が必要なのかもしれない。筋肥大・筋力増強効果に否定的な研究はそれだけの強度、運動量に満たなかった可能性が考えられる。サルコペニア予防のための自転車運動は下肢筋群のパンプアップを体感できる強度・量で行うことを推奨すべきかもしれない。なお、着地動作のない自転車運動は筋肉が伸ばされながら収縮するエキセントリック収縮の局面がほとんどない。エキセントリック収縮は筋の微細な損傷による遅発性筋痛を起しやすい運動であり、筋肥大・筋力増強を誘発する有効な刺激の一つと考えられている<sup>(20)</sup>。エキセントリック収縮の局面がほとんどない自転車運動による筋肥大・筋力増強効果にはパンプアップの要素による貢献度が高いものと考えられる。

本研究では固定ローラーでもフリーローラーでも下肢の各筋群に与える運動刺激に差が見られなかったことから、どちらの運動も同様にサルコペニア予防に役立つものと考えられるだろう。

#### 4.4 生活習慣病予防効果

自転車運動のような持久的運動が生活習慣病予防に効果的であることは広く知られており、厚生労働省の運動量と生活習慣病リスクとの関係を調べた疫学研究のシステマティックレビューによる基準(健康づくりのための運動基準2006)では週4メッツ・時以上の運動習慣を推奨している<sup>(4)</sup>。Williamsらが持久的運動そのものの効果と持久的体力の向上の効果とはそれぞれ独立した効果因子であるとしているように<sup>(5)</sup>、生活習慣病予防という意味では持久的運動を行う際には持久的体力を向上させるだけの十分な運動強度で行うことも重要な要素となる。Swainらは高い強度での持久的な運動を行った場合の方が長時間かけて中等度の強度で同じエネルギー量を消費する場合と比べて心疾患のリスクが有意に減少すると疫学研究のレビューから結論づけている<sup>(21)</sup>。また、Blairらは、VO<sub>2</sub>maxの値が5分割した最低の値のグループを運動介入によりVO<sub>2</sub>maxを上位のグループに増加させた場合の心疾患の死亡率は52%減少したことを報告している<sup>(22)</sup>。

本研究ではフリーローラーと固定ローラーでの運動中の筋活動に差はなかったことから、末梢の各筋の持久的能力、代謝機能に与える影響にほぼ相違はないと考えられる。なお、中枢の持久的能力、心肺機能に与える影響は主に運動の負荷強度に依存すると考えられるため、そもそもローラーの違いによる効果の差異はほぼないものと考えられる。屋外のロード走行においても、室内のエルゴメータ運動においても生活習慣病の予防効果を考えるなら、量によってエネルギー消費を増やすことだけでなく、高い強度で行うことで持久的体力を向上させることが大切であると言える。

#### 4.5 自転車運動の安全性

自転車運動の利点の一つに、ジョギングのような接地動作の衝撃がないため膝関節等の関節の負担が小さく傷害を起こしにくいことが挙げられる。Ericson によると 120w・60rpm での自転車運動時にかかる脛骨大腿骨関節にかかる圧迫力のピーク値は体重の 1.2 倍程度と小さい。これは体重の 2-4 倍程度とされる通常歩行の半分以下の値である<sup>(23)</sup>。また、前十字靭帯への負担上問題となる脛骨の前方方向への剪断力は自転車運動ではほとんどかからないとされる<sup>(24)</sup>。本研究ではフリーローラーと固定ローラーとで動作形態にわずかな差はみられたが、筋にかかる負荷に違いがなかったことから、関節に対する力学的負担にもほぼ相違はなく、関節への負担という点ではどちらも安全性の高い運動といえるだろう。

なお、自転車運動は大きなスピードが出るため転倒による傷害のリスクは当然それだけ大きくなる。室内で安定した座面上でペダリング運動を行うエルゴメータではそのようなリスクはほぼなくなる。

#### 5. 結論

本研究では、屋外のサイクリングと室内でのエルゴメータの比較を模して行ったフリーローラーと固定ローラー上での自転車ペダリング運動の関節動作と筋活動形態の比較を行った。2 つの試技間では関節動作に有意な違いが見られたが、その差は大きなものではなく筋活動に差異を与えるものではなかった。筋力、持久力といった体力面の強化、サルコペニア予防、生活習慣病予防といった健康増進効果においては屋外のサイクリングと室内でのエルゴメータ運動とで効果の差は見られないものと考えられる。ただし、バランス感覚などの運動の緻巧性の向上効果など効果の異なる要素もあると考えられる。また、運動の実行による喜び、継続のモチベーションなどの要素も考慮しなければならない。

#### 謝辞

本研究は財団法人日本自転車協会の平成 21 年度『自転車利用促進に関する調査研究補助事業』における「自転車による健康増進のための自然科学的研究」の補助を受けて行われたものである。多大なる助成を賜りました財団法人日本自転車協会に深く感謝申し上げます。

#### 引用文献

1. 笹川スポーツ財団 (2008) スポーツライフに関する調査.
2. Ainsworth, B. E., W. L. Haskell, M. C. Whitt, M. L. Irwin, A. M. Swartz, S. J. Strath, W. L. O'Brien, D. R. Bassett, Jr., K. H. Schmitz, P. O. Emplaincourt, D. R. Jacobs, Jr., and A. S. Leon (2000) Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc* 32(9 Suppl):S498-504.
3. Manson, J. E., P. Greenland, A. Z. LaCroix, M. L. Stefanick, C. P. Mouton, A. Oberman, M. G. Perri, D. S. Sheps, M. B. Pettinger, and D. S. Siscovick (2002) Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *N Engl J Med* 347(10):716-725.
4. 厚生労働省 (2006) 健康づくりのための運動基準 2006.
5. Williams, P. T. (2001) Physical fitness and activity as separate heart disease risk factors: a meta-analysis, *Med Sci Sports Exerc* 33(5):754-761.
6. Tabata, I., Y. Atomi, H. Kanehisa, and M. Miyashita (1990) Effect of high-intensity endurance training on isokinetic muscle power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60(4):254-258.
7. Linossier, M. T., D. Dormois, A. Geysant, and C. Denis (1997) Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer, *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75(6):491-498.



8. Evans, W. J. (1995) What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50 Spec No:5-8.
9. Lexell, J., and D. Downham (1992) What is the effect of ageing on type 2 muscle fibres? *J Neurol Sci* 107(2):250-251.
10. Ericson, M. O., R. Nisell, U. P. Arborelius, and J. Ekholm (1985) Muscular activity during ergometer cycling. *Scand J Rehabil Med* 17(2):53-61.
11. Hull, M. L., and H. Gonzalez (1988) Bivariate optimization of pedalling rate and crank arm length in cycling. *J Biomech* 21(10):839-849.
12. Ryan, M., and R. Gregor (1992) EMG profiles of lower extremity muscles during cycling at constant workload and cadence. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 2(2):69-80.
13. Kaljumae, U., O. Hanninen, and O. Airaksinen (1994) Knee extensor fatigability and strength after bicycle ergometer training. *Arch Phys Med Rehabil* 75(5):564-567.
14. Mero, A., P. V. Komi, and R. J. Gregor (1992) Biomechanics of sprint running. A review. *Sports Med* 13(6):376-392.
15. Bonde-Petersen, F., A. L. Mork, and E. Nielsen (1975) Local muscle blood flow and sustained contractions of human arm and back muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 34(1):43-50.
16. Tanimoto, M., H. Madarame, and N. Ishii (2005) Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between "KAATSU" and other types of regimen. *Int J Kaatsu Training Reserch* 2:51-56.
17. Ploutz-Snyder, L. L., V. A. Convertino, and G. A. Dudley (1995) Resistance exercise-induced fluid shifts: change in active muscle size and plasma volume. *Am J Physiol* 269(3 Pt 2):R536-543.
18. Tanimoto, M., and N. Ishii (2006) Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* 100(4):1150-1157.
19. 安部孝 (2004) 短期間で筋肥大・筋力増強をもたらす加圧トレーニングの魅力とその効果. *トレーニング科学* 16:199-207.
20. Kuipers, H (1994) Exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 15(3):132-135.
21. Swain, D. P., and B. A. Franklin (2002) VO<sub>2</sub> reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc* 34(1):152-157.
22. Blair, S. N., H. W. Kohl, 3rd, C. E. Barlow, R. S. Paffenbarger, Jr., L. W. Gibbons, and C. A. Macera (1995) Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *Jama* 273(14):1093-1098.
23. Ericson, M. O., and R. Nisell (1986) Tibiofemoral joint forces during ergometer cycling. *Am J Sports Med* 14(4):285-290.
24. Fleming, B. C., B. D. Beynon, P. A. Renstrom, G. D. Peura, C. E. Nichols, and R. J. Johnson (1998) The strain behavior of the anterior cruciate ligament during bicycling. An in vivo study. *Am J Sports Med* 26(1):109-118.

英文抄録

## Differences of Kinematics and Muscle Activity during Cycling between Free Bicycle Rollers and Fixed Bicycle Rollers

Michiya Tanimoto<sup>1</sup>, Yusuke Takata<sup>2</sup>, Toshiyuki Kurihara<sup>3</sup>, Shinichiro Murade<sup>4</sup>, Toshio Yanagiya<sup>4</sup> and Shizuo Katamoto<sup>4</sup>

**Background:** Many people enjoy cycling as a competitive or recreational sport. Sometimes bicycle exercises are performed on bicycle ergometers indoors instead of outdoor road cycling, because of bad weather or traffic. However, the difference of movement between road cycling and cycling with a bicycle ergometer is not investigated sufficiently. **Purpose:** The purpose of this study is to elicit the difference of movement between road cycling and cycling with a bicycle ergometer by researching kinematics and electromyography data during bicycle exercise. We compared the kinematics and muscle activity of bicycle exercise on a free bicycle roller and on a fixed bicycle roller (bicycle trainer with a fixed rear wheel axis) as a comparison of road cycling and cycling with a bicycle ergometer. **Method:** Seven cyclists affiliated with the cycling club of Juntendo University performed bicycle exercises on a free bicycle roller and on a fixed bicycle roller by 60 and 90 rpm, and lower limb kinematics and electromyography data were measured. **Result:** Widths of lower limb joint movement were larger on the fixed bicycle roller than on the free bicycle roller both in 60rpm and 90rpm. Widths of hip joint and knee joint movements were significantly larger in 60rpm. Widths of knee joint and ankle joint movements were significantly larger in 90rpm. However, there was no significant difference in the electromyographic amplitude between the two methods in neither of the lower limb muscles and in neither of the rpms. **Conclusion:** The kinematics of lower limbs in bicycle exercise with a free bicycle roller was different from that with a fixed bicycle roller. However, there were no such differences between the two methods in the electromyography data of lower limbs.

---

1. Department of Biomechanical and Human Factors Engineering, Kinki University, Kinokawa, Wakayama 649-6493, Japan

2. Kisarazu National College of Technology, Kisarazu, Chiba 292-0041, Japan.

3. Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

4. Institute of Health and Sports Science & Medicine, Juntendo University, Inzai, Chiba 270-1695, Japan