

---

## 全力ペダリング運動後に誘発される大腿部の急性痛について

青野 杏子<sup>1)</sup>, 鈴木 伸弥<sup>2)</sup>, 大塚 裕之<sup>3)</sup>, 二橋 元紀<sup>2)</sup>, 笹田 周作<sup>4)</sup>, 小宮山 伴与志<sup>1),2),5)</sup>

1) 千葉大学大学院教育学研究科, 2) 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科, 3) 千葉大大学院医学研究院, 認知行動生理学, 4) 生理学研究所, 発達生理学研究系, 5) 千葉大学教育学部

Features of acute muscle pain in the thigh induced by repetitive bouts of the maximum pedaling exercise

Kyoko Aono<sup>1)</sup>, Shin-ya Suzuki<sup>2)</sup>, Hiroyuki Ohtsuka<sup>3)</sup>, Genki Futatsubashi<sup>2)</sup>,

Shu-saku Sasada<sup>4)</sup> and Tomoyoshi Komiyama<sup>1),2),5)</sup>

1) Graduate School of Education, Division of Fine Arts, Music, Health and Physical Education, Chiba University;

2) The United Graduate School of Education: Doctoral Program, Tokyo Gakugei University;

3) Graduate School of Medicine, Department of cognitive Behavioral Physiology, Chiba University;

4) Division of Behavioral Development, Department of Developmental Physiology, NIPS;

5) Department of Health and Sports Sciences, Chiba University

---

### Abstract

The aim of the present study was investigate intensive exercise-induced acute muscle pain (IEAMP), which can be induced by repetitive bouts of maximum leg pedaling for 30 sec. The subjects were 36 university students (aged 18 – 23 yrs) belonging to a track and field team of a university, who gave informed consent on receiving an explanation of the purposes and experimental procedures. The subjects were asked to perform 3 sets of maximum leg pedaling for 30 sec with a 2 min rest. The intensity was predetermined as the optimal load for middle power training which was estimated based on the results of the maximum anaerobic power test (Power Max V II, Combi, Tokyo, Japan). The subjects subjectively evaluated the degree of pain using the Visual Analogue Scale (VAS, 100 mm) or an in-house VAS (180 mm). The degree of IEAMP rapidly increased ~2-3 min after the task, and then it gradually decreased and disappeared ~15 min after the task. However, peak IEAMP was strongly dependent on subjects. The peak value of VAS (peakVAS) was significantly correlated with both the rate of change of the peak cadence and that of the average power. In addition, peakVAS was significantly correlated with the estimated percentage of fast-twitch muscle fibers in the vastus lateralis muscle, estimated with the indirect method (Katsuta et al., 1988). The increase in lactic acid (LA) started before that in IEAMP. Also, even though the LA concentration remained high ~15 min after completing the task, IEAMP was greatly attenuated in this period. In contrast, changes in the girth of the upper thigh were proportional to the changes in IEAMP. Based on these findings, we suggest that the degree of IEAMP depends on the thigh muscle fiber type, and thereby the anaerobic power and energy supply system of the individual. Also, the underlying IEAMP mechanisms appears to involve an increase in the activity of GIII or GIV afferents induced by an increase

in the inner pressure of the thigh muscle due to a large increase in blood flow reflux.

## I. 緒言

様々なスポーツ活動や日常生活における負荷の大きい運動の実施に伴って、様々な筋痛が発現する。筋痛には、筋や筋膜の損傷による急性の激しい痛み(いわゆる肉離れ)や、運動実施から比較的長い時間経過で痛みが発現する遅発性筋痛(Delayed Onset Muscle Soreness, DOMS)等、様々な属性の痛みが存在する<sup>1)</sup>。DOMSは、不慣れた運動や久しぶりに行った運動の24~48時間後に痛みが最大になるのが特徴であり、筋・結合組織の損傷とその再生・修復過程に関連すると考えられている<sup>2,3,4,5,6)</sup>。一方、陸上競技や自転車競技におけるスプリント系競技やトレーニングの直後に引き起こされ、15分程度で痛みが急速に軽減するという特徴を持つ、活動筋が割れ裂けるような痛みが存在する。本論文では、この痛みを激運動誘発性急性筋痛(Intensive Exercise-induced Acute Muscle Pain, IEAMP)と呼ぶこととする。IEAMPは、低強度の運動では生じないことから、高強度かつ高回転数という運動特性に強く依存するものと考えられる。また、指導現場では、同強度の激運動を実施した場合でも、IEAMPの発現には個人差があるとも言われている。

IEAMPの発生機序として、高強度運動によって駆動される無氣的解糖系エネルギー生産システムで生成される乳酸がその機序とする説も見受けられる<sup>7)</sup>。しかし、ウエイトトレーニングなど高強度の運動や等尺性筋収縮運動の実施後にはIEAMPは発現することは希なため、その発現機序として乳酸濃度の上昇だけでは説明が十分ではない<sup>8,9)</sup>。このように、IEAMPの発現機序に関しては未だ不明な点が多く残されている。また、乳酸がIEAMPの原因とすると、乳酸を産生しやすい速筋線維の比率や運動パフォーマンスの関係について明らかにする必要があると考えられる。そこで、本研究では、第一にIEAMPと運動パフォーマンスの関係を明らかにすること、第二に高強度・高

回転数の激運動直後に引き起こされるIEAMPの発現機序の一端を明らかにすることを目的とした。そのため、自転車エルゴメーターによる全力ペダリング運動をモデル運動とし、その後に引き起こされる痛み、血中乳酸値、大腿周囲径の時系列的変化を調べるとともに、痛みとパフォーマンスとの関連を分析した。加えて、筆者らの経験ではIEAMPは臀部や大腿筋群が押しつぶされるような圧迫感を伴うことから、IEAMPと全力ペダリング運動後の大腿部周囲径には密接な関連があるとの仮説を立て、その検討も行った。

## II. 方法

### II-(1) 実験1

#### 1) 被験者

被験者は某大学陸上競技部に所属する健常者36名(男性30名、女性6名、年齢18-23歳)であった。被験者には実験の目的と方法を事前に十分に説明し、実験参加の同意を得た後に実験を行った。実験内容については、所属機関の倫理審査委員会の承認を事前に得た。被験者は実験に先立ち、自転車エルゴメーター(Power max V II, COMBI wellness, Japan)による最大無酸素パワーテストを行い、最大無酸素パワーを評価するとともに、30秒間の全力ペダリング運動の負荷値を決めた。また、フィールドテストとして50m走および12分間走を行った。

#### 2) 実験手順

自転車エルゴメーターは、ウォーミングアップ前にサドルの高さとハンドルの位置を各被験者が最も運動しやすい位置に設定した。ペダリング運動の回転数は、自転車エルゴメーターの横に設置した光電管(COCORESEARCH, Japan)から一回転ごとに出力されるTTLパルスをADコンバーター(1401 Micro, CED, UK)を介してコンピュータに取り込み、ソフトウェア(Spike2, CED, UK)によ

って計測した。

### 2-1) 無酸素パワーテスト

各被験者は、5分程度の自転車ペダリング(負荷1-1.5kp)によるウォーミングアップを行った後、自転車エルゴメーター内蔵の無酸素パワーテストプロトコルに従って、異なる負荷の10秒間の全力ペダリングを2分間の休息を挟んで3セット行い、最大無酸素パワーならびにミドルパワートレーニング最適負荷を決定した。

### 2-2) IEAMP の評価

被験者は、最初にウォーミングアップとして5分間のストレッチに続き、5分間の自由負荷ペダリングを行った。ウォーミングアップ終了後に、試験運動課題として、最大無酸素パワーテストから算出されたミドルパワートレーニング最適負荷による30秒間の全力ペダリングを2分間の休息を挟んで3セット行った。被験者には3セットの全力ペダリング運動は最初から全力で実施するよう指示した。各セット間には、自転車エルゴメーター横に設置したマットに腹臥位で静止・休息させた。1および2セット終了後の静止状態2分間の30秒、60秒、90秒時点、ならびに3セット目終了後7分までの30秒ごと、その後10分までの1分ごと、最後に15分後の計24回にわたって Visual Analogue Scale (以下VAS)による痛みの主観評価を行った。VASによる痛み評価の際は、運動による苦しさではなく、下肢の痛みの度合いを報告するように被験者に事前に説明した。

通常VASは100mmの方眼紙を用い、100mmを“今まで経験してきた最大の痛み”とし、各測定時点での主観的痛みの程度を報告させた。実験終了後、痛みの箇所を確認するため、各被験者に痛みを感じた部位を聞き取り、実験者が作成した下肢模式図に記入した。

痛みの質を評価するため、マクギル疼痛質問表(McGILL Pain Questionnaire, 以下MPQ)によって、該当項目を報告させた<sup>10)</sup>。このMPQは1~20群に分類された78の単語と痛みの時間経過による変化、痛みの強さに関する質問で構成されている。痛みの表現は、感覚的表現(1~10群)、情動的表現(11~

15群)、評価的表現(16群)、その他の表現(17~20群)で分類されている。本研究では、群の分類に関係なく、あてはまる痛みをMPQの中から該当する項目を全て被験者に選択させた。また、実験終了後24時間以降に、各被験者の下肢の状態(痛み、はり、だるさなど)を口頭で報告させた。

### 2-3) 筋線維特性の間接評価

各被験者の外側広筋の筋線維組成を間接的に評価するため、勝田らの方法を用いた<sup>11)</sup>。筋線維組成の間接的評価は、男性被験者(22名)を対象とし、12分間走と50m走の走速度(m/sec)の比から外側広筋の筋線維組成(%areaFT)を推定した。用いた推定式は以下の通りである。

$$\%areaFT = -68.6 + 76.2 \times (50m \text{ 平均速度} / 12分間走平均速度)$$

被験者は20分間の任意のウォーミングアップを行い、十分にウォーミングアップができたと確認した後、50mと12分間走を行った。50m走はスタンディングスタートにより5分間の休息を挟んで2回測定し、平均値を採用した。その後十分に休息を取り、12分間走を実施した。スタート時と12分経過時に紙雷管(競技用紙雷管GA222, EVERNEW, Japan)を使用したピストルで合図を行い、12分間の走行距離をウォーキングメジャー(Engineer ROAD MEASURE 500 EN-R500, TAJIMA, Japan)で、1m単位で測定した。

### 2-4) パフォーマンス

IEAMPと被験者の疲労耐性との関連について検討を加えるため、試験運動課題における各セットのピーク回転数と平均パワーを測定するとともに、1セット目に対する3セット目の比率(%)を変化率として算出した。

### 3) 統計処理

VASに関して、VASの最大値(peakVAS)が40mm以上、または未満で群分けを行い、統計処理ソフトSPSSの二元配置分散分析を行った。

また、統計処理ソフトSPSSのSpearmanの相関分析を用いて、各被験者が示したpeakVASと%areaFT、ピーク回転数および平均パワーの変化

率に関して2変量の相関分析を行った。有意水準は5%未満とした。

## II-(2) 実験2

### 1) 被験者

実験1のうち、大腿部における peakVAS の値が高かった6名(男性5名,女性1名,19-21歳)を被験者とした。

### 2) 手順

実験1の2-2)と同様の実験手順で各被験者は試験運動課題を行った。運動に先立ち、VAS、血中乳酸値(LA)および右脚大腿部周径囲の測定を行った。大腿部周径囲の測定は仰臥位にておこなった。

試験課題実施中および実施後の IEAMP の測定は実験1と同じ時点で行った。通常 VAS は100mm のスケールを用いて評価する。しかし、実験1において、多くの被験者で大腿部の痛みが短時間に急激に増加し、これまでに経験したことがないほどの激痛であるため、VAS の100mm では表現できないとの報告があった。そのため、実験2では痛みのピークの出現時点を正確に評価するため、本研究では独自に Double-VAS(以下 DVAS)を作成し、使用した。DVAS には180mm の方眼用紙を使用した。試験運動課題前時点では、DVAS 用紙を縦100mm に折り曲げ、残りの80mm は被験者に見えないようにし、縦スケールの VAS として使用した。試験運動課題終了後、IEAMP が急増し、各被験者が激しい痛みを訴え、100mm では評価できないと報告した場合、折り曲げた80mm の方眼用紙を開き、痛みの程度を報告させた。LA の測定は1, 2セット終了1分, 3セット目終了後5分までは1分ごと, 10分後と15分後に一回の計9回行った。本研究では、LA の測定に簡易血中乳酸測定器(Lactate Pro, ARCLAY, Kyoto)を使用した。測定の際には指尖をアルコールで湿らせた脱脂綿で消毒し、乾燥させた後に測定を行った。

大腿部周径囲は1, 2セット終了1分, 3セット目終了後10分までは1分ごと, 15分後の計13回測定した。大腿部周径囲は、右脚大腿部の膝蓋骨から約20cm 近位部にサージカルテープを貼付し、同部位

を目印として計測した。

## III. 結果

### III-(1) 実験1について

実験1におけるミドルパワートレーニング最適負荷の全被験者の平均値は $4.45 \pm 0.64\text{kp}$ であった。

#### 1) IEAMP の出現部位と質

被験者の報告から、試験運動課題後の IEAMP の出現部位で報告が多かったものは、殿部、大腿四頭筋群、ハムストリングスであった。IEAMP の質に関して、10名以上の被験者が MPQ のの中から選出した項目は、「圧迫されるような」が20名、「押しつぶされるような」が10名、「重苦しい」が14名、「しびれるような」が11名、「苦しみもだえるような」が11名であった。試験運動課題実施翌日に被験者が報告した下肢の状態として、だるさや張りを報告する者はいたが、DOMS やその他の痛みを訴える被験者はいなかった。

#### 2) IEAMP の量的変化

図1に典型的な2名の被験者の試験運動課題前後における VAS の変化を示した。被験者 A は3セット目終了90秒から2分で痛みがピークに達しており、その値は100mm まで上昇した。被験者 A のように peakVAS が100mm 近くまで達するほとんどの被験者では、3セット目終了1-3分程度で最高値を示した。一方、被験者 I は peakVAS が20mm 程度を示しており、測定期間を通じて全般的に VAS の値は低かった。この様に、被験者によって、試験運動課題後に VAS の値が急増する被験者と、低値のまま推移する被験者が比較的明確に分かれた。そこで、peakVAS の値が40mm を超えた被験者と、40mm 未満の被験者に分類したところ、前者が31名、後者が5名であった。図2に示したように、両群の VAS の時系列変化を2元配置の分散分析で分析した結果、主効果(群)に有意差がみられた( $F=5.38, p < 0.05$ )。

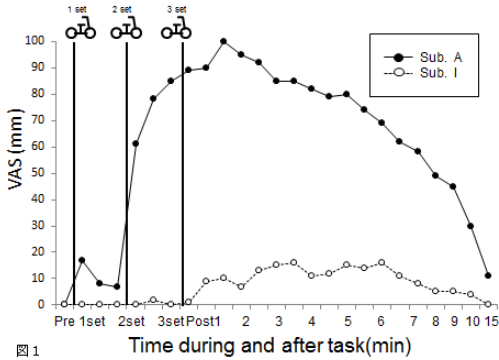


図1 典型的な2名の被験者の試験運動課題前後のVASによる主観的な痛みの程度の変化。縦軸はVASの値(mm)、横軸は各セット終了後の時間経過(分)を示している。

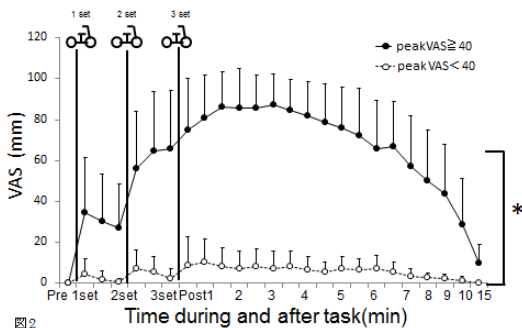


図2 試験運動課題前後のVASによる主観的な痛みの程度の変化。試験運動課題後のpeakVASが40mm以上の被験者(31名)ならびに40mm未満の被験者(5名)をグループ化し、平均値(標準偏差)を時系列に示した。\*は2元配置分散分析による主効果(被験者群)に有意な差があったことを示す(p<0.05)。

3) IEAMP の発現とパフォーマンス

IEAMP の発現レベルと各被験者の運動パフォーマンスの関連を検討するために、ピーク回転数および平均パワーの変化率と peakVAS との相関を調べた。図3A および B に示したように、ピーク回転数および平均パワーの変化率と peakVAS との間には有意な負の相関関係が見られた (R=-0.644, R=-0.483, p < 0.05)。加えて、各被験者のピーク回転数に負荷を乗じた負荷最大発揮パワーと peakVAS にも有意な相関が見られ、相関係数は R=

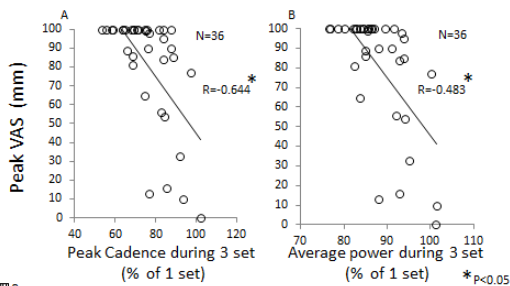


図3 全被験者(36名)における試験運動課題後のpeakVASとピーク回転数(A)ならびに平均パワーの変化率(B)の相関関係。縦軸はpeakVASを示し、横軸のピーク回転数ならびに平均パワーの変化率は、1セット目の値を100%とした3セット目の相対値を示している。\*はSpearmanの相関分析によって有意な相関関係が認められたことを示す(p<0.05)。

0.644 (p < 0.05) であった。

4) IEAMP と筋線維組成との関係

IEAMP の発現レベルと各被験者の筋線維組成の関連を検討するために、12分間走と50m 走の結果から推定された外側広筋の%areaFT と peakVAS との相関関係を調べた。図4に示したように、%areaFT と peakVAS との間には有意な正の相関関係が認められた (R= 0.444, p < 0.05)。すなわち、%areaFT が高ければ高いほど peakVAS の値が高くなる傾向が見られた。

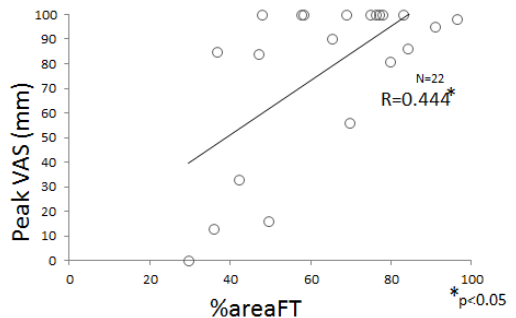


図4 被験者22名の試験運動課題後のpeakVASと%areaFTの相関関係。\*はSpearmanの相関分析によって有意な相関関係が認められたことを示す(p<0.05)。

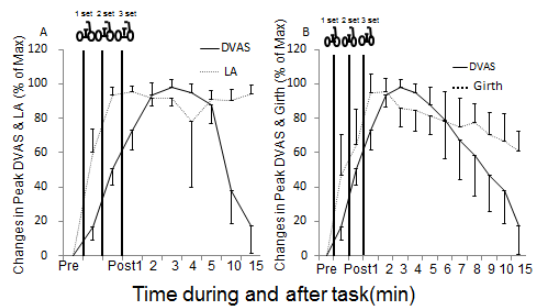


図5 実験2における試験運動課題後のDVASとLA(A)ならびに大腿部周径( Girth, B)の時系列的变化。縦軸のLAと大腿部周径は全被験者(6名)の試験課題前の測定値に対する変化量を平均値化し、その最大値を100%として相対値化して示している。

III - (2) 実験2について

図5に試験運動課題前後における DVAS と LA (図5A), ならびに DVAS と大腿部周径(図5B)の時系列変化を示した。DVAS との時系列的な変化の比較を容易にするため、LA ならびに大腿部周径は全被験者における試験課題前からの平均の増加値を算出し、最大値を100%として示した。DVAS で評価した IEAMP の最大値は、試験運動

課題終了後2~3分後に出現し、その後10分程度で急速に減少する傾向が見られた。一方、LA の最大値は3セット目のペダリング課題前後に出現する傾向にあった(図5A)。なお、全被験者の LA の最大値の平均値は $15.3 \pm 0.94$  mmol/l であった。また、IEAMP は多くの被験者で、試験運動課題終了後約15分で20mm 程度となったが、LA はこの時点でも最大値とほぼ同様の値を示しており、LA と IEAMP の変化は異なる動態を示した。図5B は DVAS によって評価した IEAMP と大腿部周径圍の変化を時系列に示したものである。大腿部周径圍の増加は試験運動課題終了後1~2分後に最大となり、その後15分の間で緩やかに低下した。一方、DVAS の最大値出現は大腿部周径圍にやや遅れるが、大腿部周径圍と同様に試験課題終了後時間経過とともに漸減しており、LA の変化とは異なる傾向が観察された。なお、全被験者における大腿部周径圍の増加量の最大値の平均値は $13.5 \pm 0.52$  mm であった。

#### IV. 考察

本研究では、自転車エルゴメーターによる30秒間の全力ペダリング運動を3回繰り返すことにより IEAMP を誘発した。IEAMP とペダリング運動のピーク回転数および平均パワーの変化率には有意な負の相関関係が見られ、さらに勝田らの方法により推定された外側広筋の%areaFT と IEAMP には有意な正の相関関係が見られた。また、IEAMP と大腿部周径圍の変化は類似傾向が見られたが、血中乳酸値と IEAMP は運動課題後10分以降異なる変化をした。

##### IV -(1) IEAMP の定量化について

これまで、痛みを定量化する方法として VAS が多く用いられて来た<sup>12,13)</sup>。本研究では、試験運動課題後に短時間で急増する痛みを定量化する際に、通常の100mm スケールの VAS では評価しづらいと報告した被験者が見られた。この原因として、VAS による主観的な痛みの評価に不慣れな被

験者が多く存在したため、予測不可能なほど急激に増加する痛みを100mm のスケールで表現することが困難であった可能性が考えられる。そのため、独自に DVAS という方法を用いることとした。この方法は、先行研究では報告がないため、現時点ではその信頼性と妥当性に関しては不十分と言わざるを得ない。しかし、多くの被験者で、180mm のスケールによって最大の痛みを表現可能であったとの報告があった。また、本研究における実験2では、DVAS による最大値を100%として標準化したため、痛みの時系列的な変化を評価することは可能であったと考えられる。今後、様々な痛みの評価に DVAS が適用可能か否か、その信頼性と妥当性を検証して行く必要がある。

##### IV -(2) IEAMP の特徴と DOMS との違い

運動誘発性筋痛として DOMS が知られている。DOMS は筋を収縮させたり、圧を加えられたりした時に知覚され、24~48時間後に痛みがピークに達し、1週間程度で消失することが報告されている<sup>2,3,5)</sup>。DOMS の機序は未だ十分には明らかにされていないが、血清クレアチン濃度や炎症の程度と DOMS には強い関連が見られないとする報告がある<sup>13)</sup>。従って、筋や腱の微細損傷とその修復・再生過程で生じる細胞内カルシウムイオンの変化や、タンパク質分解酵素などの発現が契機となり、痛み中枢の活動を高める物質が発現する可能性が考えられる。

一方、本研究で生じた IEAMP は運動後 1~3 分で最大に達し、15 分程度で消失する急性の痛みであり、安静状態で発現している。また、VAS による IEAMP の評価値が 100mm に達した被験者でも翌日に痛みを報告する被験者はいなかった。従って、IEAMP の発現機序は DOMS とは異なる可能性が非常に高い。加えて、スプリント運動の繰り返しやトライアスロンのような激しい持久的な運動実施時には痛みを伴う筋痙攣(muscle cramp)が出現する。この筋痙攣の発現機序として、筋紡錘由来の I 群線維の過剰活動や運動ニューロン自身の膜電位変化による自発活動亢進などが指摘さ

れている<sup>14)</sup>。しかし、著者らの経験では、筋痙攣の痛みと IEAMP の痛みはその発現過程や質が大きく異なり、加えて IEAMP 発現時には、筋収縮しているという感覚はない。現時点では両者の関連については不明であり、今後の検討課題と考えられる。

#### IV -(3) IEAMP の発現機序

本研究では試験運動課題後の peakVAS とペダリング運動のピーク回転数および平均パワーの変化率には負の相関が見られた。このことは IEAMP の程度が高い被験者は 1 セット目に比べて 3 セット目のパフォーマンスが低下しやすい、すなわち疲労しやすい傾向を有しているため、無酸素的エネルギー供給系の依存度が高い被験者であった可能性が高い。さらに、試験運動課題後の peakVAS とパフォーマンステストから推定された外側広筋の %areaFT との間に有意な相関関係が見られた。従って、本研究で見られた IEAMP の程度が高い被験者は、大腿筋における速筋の比率が高く、無酸素的エネルギー供給系の依存度が高かったため、30 秒間の全力ペダリング運動により、乳酸、水素イオン、アンモニアなどの多くの代謝産物が生成され、それらが痛み発現のきっかけとなっている可能性が考えられる<sup>15,16,17,18)</sup>。

一方、本研究では peakVAS が高かった被験者を対象として、DVAS による痛みの評価と LA の動態を検討した。結果、LA は IEAMP の上昇に先行して発現すること、ならびに LA は IEAMP が消失した試験運動課題終了後 15 分でも高い状態が保持されていた。従って、推論としては、全力ペダリング運動の繰り返しによる筋組織内乳酸濃度の上昇は痛みを発現させトリガーではあるが、運動終了後に発現し、その後 15 分程度で消失する IEAMP の本体ではない可能性が高いと考えられる。そこで、本研究では被験者が内省として報告した運動課題終了後の大腿筋の張りを定量化するために、大腿部周径囲の変化に着目した。結果として、大腿部周径囲の変化は DVAS による痛みの上昇相が類似していること、また痛みと連動的

に運動課題終了後 15 分で低下していることが明らかになった。これらの結果から、大腿部周径囲の変化が IEAMP の機序を説明できるわけではない。しかしながら、大腿部周径囲の測定結果から、運動課題の遂行に伴う活動筋への血流再配分の増加や代謝産物の増加による血流の増加、また運動終了に伴う筋ポンプ作用の低下による血液やリンパ液の貯留などによって、大腿筋に大量の液性成分がプールされたと推定できる<sup>19)</sup>。その結果、大腿筋群の筋内圧が上昇し、結果として筋内自由神経終末などの痛み関連受容器が活動に伴う GIII や GIV 求心性線維活動が IEAMP を発現させた可能性が考えられる。運動課題終了後 15 分に痛みと大腿部周径囲が急激に減少した結果は、内圧の減少により GIII や GIV 求心性線維活動が低下した結果である可能性が考えられる。

#### V. まとめ

- (1) 本研究では、30 秒間 3 セットの全力ペダリング運動直後に大腿筋に特異的な筋痛 (IEAMP) を引き起こした。
- (2) IEAMP は、その発現の時間経過との比較から DOMS とは異なる筋痛であると考えられた。
- (3) IEAMP の最大値とペダリング運動のピーク回転数および平均パワーの変化率に有意な負の相関関係が見られた。
- (4) パフォーマンステストから推定された外側広筋の %areaFT と IEAMP には有意な相関関係が見られた。
- (5) DVAS によって評価された主観的な痛みの程度と血中乳酸値の変化は試験課題終了後約 5 分程度で解離したが、大腿部周径囲との変化には類似傾向が見られた。

#### VI. 謝辞

本研究に多大なる指導および助言をしていただいた東京平成大学麓正樹氏に深く感謝いたします。

#### VII. 参考文献

- 1) Hough, T. :Ergographic studies in muscular

- soreness, *Am. J. Physiol.*7, 76-92, 1902
- 2) Armstrong, R. B. :Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness:a brief review, *Med. Sci. Sports Exerc.*16 (6), 529-538, 1984
- 3) Clarkson, P. M. :Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps, *J. Sports Medicine and Physical Fitness*34 (3), 203-216, 1994
- 4) 野坂 和則:遅発性筋痛,臨床スポーツ医学17 (6), 655-663, 2000
- 5) 野坂 和則:遅発性筋痛の病態生理学,理学療法18 (5), 476-484, 2001
- 6) MacIntyre, D. L. , Reid, W. D. and McKenzie, D. C. :Delayed muscle soreness the inflammatory response to muscle injury and its clinical implications, *Sports Med.* 20 (1), 24-40, 1995
- 7) Triplett-McBride, T. :Lactic acid:understanding the “Burn” during exercise, *Performance Training Journal* 3 (4), 14-16, 2004
- 8) Sakamoto, A. , Maruyama, T. , Naito, H. and Sinclair, P. :Acute effects of high-intensity dumbbell exercise after isokinetic eccentric damage: interaction between altered pain perception and fatigue on static and dynamic muscle performance, *J. Strength & Conditioning Research*24 (8), 2042-2049, 2010
- 9) Valkeinen, H. , Häkkinen, A. , Hannonen, P. and Häkkinen, K. , Alen, M. :Acute heavy-resistance exercise-induced pain and neuromuscular fatigue in elderly women with fibromyalgia and in healthy controls:effects of strength training, *Arthritis Rheum*54 (4), 1334-1339, 2006
- 10) Melzack, R. :The McGill pain questionnaire:major properties and scoring method, *Pain*1, 277-299, 1975
- 11) 勝田 茂,高松 薫,田中 守,小泉 順子,久野 譜也, 田渕 健一:50m 走と12分間走の成績による外側広筋の筋線維組成の推定,体育学研究34 (2), 141-149, 1989
- 12) 遠藤 隆志,中島 剛,坂本 将基,塩澤 伸一郎,小宮山 伴与志:高張食塩水の筋内注入による実験的筋痛が最大筋力発揮中の筋疲労に与える影響,体力科学55 (2), 269-278, 2006
- 13) Nosaka, K. , Newton, M. and Sacco, P. :Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage, *Scand. J. Med. Sci. Sports*12 (6), 337-346, 2002
- 14) Bentley, S. :Exercise-induced muscle cramp:proposed mechanisms and management, *Sports Med.*21 (6), 409-420, 1996
- 15) 坂井 和明,高松 薫:間欠的なハイパワー発揮能力と3種のエネルギー産生能力との関係,体力科学48, 453-466, 1999
- 16) Kniffki, K. D. , Mense, S. and Schmidt, R. F. :Responses of group IV afferent units from skeletal muscle to stretch, contraction and chemical stimulation, *Exp. Brain Res.*31 (4), 511-522, 1978
- 17) Rotto, D. and Kaufman, M. :Effect of metabolic products of muscular contraction discharge of group III and IV afferents, *J. Appl. Physiol.*64 (6), 2306-2313, 1988
- 18) Mense, S. :Nervous outflow from skeletal muscle following chemical noxious stimulation, *J. Physiol.*267 (1), 75-88, 1977
- 19) Mitchell, J. H. and Blomqvist, G. :Maximal oxygen uptake, *N. Engl. J. Med.*284, 1018-1022, 1971