

[研究ノート]

## 自転車を用いた片足伸張性収縮運動1日後に生じる膝伸展筋痛は運動直後の等尺性筋収縮筋力低下の程度から予測できる

肥田朋子<sup>1,2</sup>, Georgios Mavropalias<sup>2</sup>  
野坂和則<sup>2</sup>

### 要旨

伸張性収縮運動は優れた筋力トレーニング方法の一つであるが、遅発性筋痛(DOMS)が生じやすく、その後の運動パフォーマンスに影響を与える。しかし、どのくらいDOMSが生じるかは予測できない。そこで、自転車エルゴメーター(自転車)を用いた伸張性収縮サイクリング(運動)を実施し、その直後の筋力低下の程度からDOMSの程度が予測できないか調べた。対象は健常成人13名とし、50回/分で逆回転する自転車で右足のみの50回運動を1セットとし、1分間の休憩をはさみながら10セット行った。その前後に膝伸展・屈曲筋力を測定した。また運動前と1日後に外側広筋を圧迫した際の痛みの程度と圧痛閾値も測定した。そして運動後の筋力低下率と痛みの変化量あるいは圧痛閾値低下率の相関を調べた。その結果、等尺性膝伸展筋力の低下率と痛みの変化量や圧痛閾値低下率は有意な相関を認め、運動直後の筋力低下の程度から翌日に生じる筋痛の程度が予測可能なことを示した。

キーワード：伸張性収縮サイクリング、最大等尺性収縮筋力、遅発性筋痛予測

筋の長さが引き伸ばされながら筋収縮する伸張性収縮(以下, ECC)は、着座、下り坂歩行、階段の降段時などの日常的な動作中の大腿四頭筋に見られる収縮様式である。運動トレーニングを行う際に、筋の長さが短くなる短縮性収縮(以下CON)を利用した従来型のトレーニングとECCトレーニングを比較すると、ECCトレーニングの方が筋力増大に優れており、エネルギー消費や心肺系への負荷も少なく、

パフォーマンス向上に有用とされている[4,6-8]。また自転車エルゴメーターを用いた伸張性収縮自転車エクササイズ(以下、ECCサイクリング)は、通常回転の自転車のペダルを人為的に逆回転させることで可能であるが、このECCサイクリングにおいても同様の報告がある[1,9,12]。すなわち、ECCサイクリング時の酸素摂取量は、CONサイクリング時よりも低い酸素摂取量で運動が可能で、心臓に与える

1 名古屋学院大学 リハビリテーション学部

Received 15 July, 2019

2 Edith Cowan University, School of Medical and Health Sciences

Accepted 29 July, 2019

Correspondence to: Tomoko Koeda

E-mail: tomokoed@ngu.ac.jp

負荷量が同程度でも運動量は大きく設定でき、CONサイクリングトレーニングよりも筋力や筋肥大を期待できることが報告されている。このようにECCサイクリングトレーニングは、一度に多関節を用いた複合運動でありながら、心肺系への負担が少なく、効率よくトレーニングするために利用しやすい利点がある。

しかしながらECCは、筋に負荷できる張力を高く設定できるために筋損傷リスクがあることや運動翌日から2日後にかけて生じる遅発性筋痛（以下DOMS）が生じやすい欠点があり、その負荷量には配慮が必要である [5,10,11]。そのため、運動トレーニング直後の筋力低下の程度から翌日以降に生じるDOMSの程度を予測できれば、トレーニング量のコントロールやその後のトレーニング実施に有益である。野坂らは、肘屈筋を用いた単関節のECCエクササイズ直後、1日後および4日後の肘屈筋筋力の低下の程度と肘関節可動域、血漿クレアチニンキナーゼ活性、上腕二頭筋圧迫による痛みの程度などとの相関を調べたが、弱い相関であり、エクササイズ直後の筋力低下の程度から翌日に生じるDOMSの程度を予測することは難しいと結論した [13]。一方、上肢と下肢とではECCエクササイズ後の筋損傷やDOMSの程度には差があり、上肢の方が下肢よりも顕著となることが報告されている [2,3]。そのため、下肢に対する運動であるECCサイクリングにおいて、上肢と同様の変化を示すかどうかは不明である。そこで、今回は一側下肢を用いたECCサイクリングを実施し、その直後の筋力低下から翌日のDOMS発生の程度を予測可能かどうか検討することを目的として実験を行った。

## 方法

被験者は18から47歳の健常成人13名（男性8名、女性5名）であった。実験はEdith Cowan Universityの倫理委員会の承認（承認番号19767）を得たのち、被験者に本研究の目的と内容を説明し、同意を得て実施した。

被験者は、右下肢によるECCサイクリングを着座式自転車エルゴメーター（ストレングスエルゴ240特別仕様、三菱電機エンジニアリング社製）を用いて、1分間に50回転を1セットとし、1分間の休憩をはさみ10セット実施した。強度は、事前に同エルゴメーターの通常モードで測定したCONサイクリングによる最大収縮筋出力の80%とした。

右膝筋力は等速性筋力測定装置（Biodex System 3, Biodex Medical Systems社製）を用いて、膝屈曲70度位での等尺性最大伸展ならびに屈曲筋力と角速度90/秒の等速度性最大膝伸展ならびに屈曲筋力をサイクリング前と直後に測定した。また、筋痛の程度は、検者が外側広筋を圧迫した際に感じた自覚的な痛みの強度をVisual analog scale（VAS）で評価し、圧痛閾値（pressure pain threshold, PPT）も測定した。すなわち、被験者が圧迫により感じた痛みの強度を、全く痛みのない0 mmから今までに経験した最大の痛みを100 mmとした直線スケール上に印し、検者がその数値を読み取った。圧痛閾値は、VAS測定後、同部位に対して検者が圧痛計（Algometer Type II, Sbmadic Electronics社製）を用いて加圧した際に、被験者が痛みを感じ始めた強度とし、3回測定して平均値を算出した。これら筋痛の評価はECCサイクリング前と1日後に実施した。

筋力値と圧痛閾値の変化の程度は、被験者による個体差の影響を補正するためECCサイ

## 伸張性収縮サイクリング直後の筋力低下は遅発性筋痛を予測する

クリング1日後の低下量をECCサイクリング前の値で除した変化率を算出した。また、VASはECCサイクリング前の値からECCサイクリング1日後の値を引いた変化量を算出した。これら痛みの変化量と筋力変化率で相関を調べた。

統計にはShapiro-Wilk検定、対応のあるt検定、Wilcoxon検定、Spearmanの順位相関係数ならびにPearsonの相関係数を用い、有意水準は5%未満とした。

## 結果

被験者のサイクリング前後の等尺性膝伸展筋力の最大トルクは、順に $192.8 \pm 45.8$ ,  $139.7 \pm 47.4$  Nmで、屈曲筋力の最大トルクは、 $79.7 \pm 17.0$ ,  $78.7 \pm 16.4$  Nmであり、ECCサイクリン

グ直後の伸展筋力は有意に低値を示したが、屈曲筋力には影響がなかった（図1,  $p < 0.01$ ）。また等速度性膝伸展ならびに屈曲筋最大トルクは順に $141.4 \pm 26.4$ ,  $109.3 \pm 27.3$ ,  $86.9 \pm 19.2$ ,  $85.9 \pm 17.8$  Nmであり、こちらも伸展筋力の最大トルクはECCサイクリング前後で有意差を認めたが、屈曲筋力には影響がなかった（図1,  $p < 0.01$ ）。

VASの中央値（25パーセンタイル-75パーセンタイル）はECCサイクリング前0 (0-20) mm, 1日後60 (50-90) mm, PPTの平均値はそれぞれ $513.8 \pm 163.1$ ,  $401.6 \pm 170.3$  kPaであり、ECCサイクリング1日後に痛みは有意に増加し、圧痛閾値は有意に低下した（図2,  $p < 0.01$ ）。

VAS変化量と膝屈曲70度位における等尺性

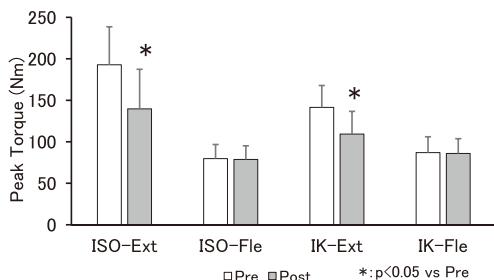


Fig.1: Maximum voluntary contraction (MVC) strength of the knee extensors and flexors measured during isometric contraction at 70 degrees (ISO-Ext, ISO-Fle) and isokinetic (90 degree/s) concentric contraction (IK-Ext, IK-Fle) before and immediately after exercise.

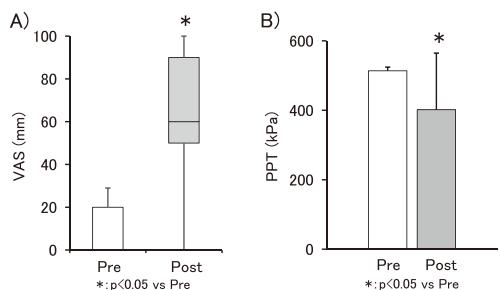


Fig.2: Muscle soreness assessed by a visual analog scale (A) and pressure pain threshold (B) before and 1 day after exercise.

Table 1: Correlation coefficients between dependent variable.

	VAS		PPT	
	r	p value	r	p value
ISOMET	0.71	0.03*	0.67	0.02*
ISOKIN	0.39	0.26	0.46	0.11

ISOMET: isometric contraction, ISOKIN: isokinetic contraction, \* :  $p < 0.05$

膝伸展筋力の変化率の間には有意な相関関係を認めたが、等速度性膝伸展筋力の変化率との間には有意差を認めなかった（表1）。またPPT変化率と等尺性膝伸展筋力の変化率との間にも有意差を認めたが、等速度性膝伸展筋力との間には有意差を認めなかった（表1）。

## 考察

伸張性収縮様式のエクササイズは、心肺系への負荷が少ないにもかかわらず高い筋張力発揮が可能であり、筋力増強トレーニングに有用である。その反面DOMSを生じやすく、トレーニング負荷量の決定には注意を要する。今回一側下肢による片側自転車を利用したECCサイクリングを行った。これはモーターにより逆回転するペダルを被験者は通常回転方向に押し返すように、膝伸展位から屈曲位になる相で抵抗、すなわち大腿四頭筋が伸張性収縮する運動である。ECCサイクリング直後の膝伸展ならびに屈曲筋力を調べたところ、膝伸展筋力は有意に低下したが、膝屈曲筋力には変化がなかったことから、ECCサイクリングトレーニングは膝伸展筋トレーニング機器として有用であることが示された。今回のトレーニング回数は、動物を用いたDOMSの実験 [15] を参考にDOMSが生じる強度を想定して設定したが、サイクリング1日後には1名を除いた12名の参加者で大腿四頭筋にDOMSが生じており、痛みの程度は有意に増大し筋圧痛閾値は有意に低下し、想定通りにDOMSを生じさせることができた。このことから、今回設定した負荷量はDOMS作製に十分であった。DOMSが生じなかった1名は、日ごろからレジスタンストレーニングを行っている被験者であった。DOMSは不慣れな運動後などに生じるもの、半年以内に同じ

運動を繰り返した場合には、DOMSが生じないか生じてもかなり程度の低い繰り返し効果が認められている [14]。そのため、この1名においては繰り返し効果によりDOMSが生じなかつたと考えられた。

次にECCサイクリング直後の筋力低下の程度から翌日に生じるDOMSの程度が予測可能かどうか検討したところ、等尺性収縮筋力の低下の程度は翌日の痛み強度や圧痛閾値の低下の程度と有意な相関関係を認め、翌日に生じるDOMSの程度を予測できることを示した。しかし等速度性筋収縮筋力の低下の程度とは有意差を認めなかった。DOMSは安静時にはさほど疼痛を自覚せず、動作時、特に伸張性収縮時にその痛みの程度が増大する。筋にかかる張力は、伸張性収縮が最も高く、等尺性収縮、短縮性収縮と順に低くなる。等速度性筋収縮の収縮様式は短縮性収縮であり、等尺性収縮に比べ筋にかかる張力は高くなく、そのような収縮様式での筋力低下の程度は痛みに影響しない可能性が考えられた。一方、今回の相関関係は、上肢の肘屈筋を対象とした先行研究 [13] で、エクササイズ直後の筋力低下の程度は翌日のDOMSの程度に影響を与えたかった結果とは異なった。Chenら [2,3] によると、肘関節屈曲・伸展、膝関節屈曲・伸展など各筋に対しECC運動を行ったところ運動後の筋損傷マーカーの値、筋力低下の大きさやDOMSの生じる程度は上肢筋の方が下肢筋よりも大きかったことが報告されている。上腕二頭筋と大腿四頭筋はともに速筋を比較的多く含む混合筋であり、筋線維タイプの影響は考えにくいものの絶対的な筋量の差が影響したかもしれない。また上腕二頭筋が紡錘筋であるのに対して大腿四頭筋の多くは羽状筋であり形態の違いの影響も考えられるが、今回の研究から明らかにすることは難しく、

今後の研究に委ねたい。

## まとめ

健常成人を対象に一側下肢での伸張性収縮自転車エクササイズを行い、直後の等尺性収縮筋力低下の程度と翌日に生じるDOMSの程度の関係を調べた結果、筋力低下の程度が大きいと翌日発症するDOMSの程度も大きくなり、下肢における伸張性収縮運動直後の筋力低下の程度からDOMSの発生を予測できる。

## 謝辞

この研究は、2017年度名古屋学院大学在外研修による成果の一部である。

## 文献

- [1] Abbott BC, Bigland B, Ritchie JM. (1952) The physiological cost of negative work. *J Physiol.* 117(3): 380–90
- [2] Chen TC, Lin KY, Chen HL, Lin MJ, Nosaka K. (2011) Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *Eur J Appl Physiol* 111(2): 211–23
- [3] Chen TC, Yang TJ, Huang MJ, Wang HS, Tseng KW, Chen HL, Nosaka K. (2019) Damage and the repeated bout effect of arm, leg, and trunk muscles induced by eccentric resistance exercises. *Scand J Med Sci Sports.* 29(5): 725–35
- [4] Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. (2017) Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Med* 47(5): 917–41
- [5] Friden J, Sjostrom M, Ekblom B. (1983) Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med.* 4(3): 170–6
- [6] Johnson BL, Adamczyk JW, Tennoe KO, Stromme SB. (1976) A comparison of concentric and eccentric muscle training. *Med Sci Sports.* 8: 35–8
- [7] Kunuttgen HG, Petersen FB, Klausen K (1971) Oxygen uptake and heart rate responses to exercise performed with concentric and eccentric muscle contractions *Med Sci Sports.* 3: 1–5
- [8] Lastayo PC, Reich TE, Urquhart M, Hoppeler H, Lindstedt SL. (1999) Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *Am J Physiol.* 276: R611–5
- [9] Laroche D, Joussain C, Espagnac C, Morisset C, Tordi N, Gremeaux V, Casillas JM. (2013) Is it possible to individual intensity of eccentric cycling exercise from perceived exertion on concentric test? *Arch Phys Med Rehabil.* 94: 1621–7
- [10] Leiber RL, Thormell LE, Friden J. (1996) Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. *J Appl Physiol.* 80(1): 278–84
- [11] Peake JM, Nosaka K, Muthalib M, Suzuki K. (2006) Systemic inflammatory responses to maximal versus submaximal lengthening contractions of the elbow flexors. *Exerc Immunol Rev.* 12: 72–85
- [12] Penailillo L, Blazevich A, Numazawa H, Nosaka K. (2013) Metabolic and muscle damage profiles of concentric versus repeated eccentric cycling. *Med Sci Sports Exerc.* 45(9), 1773–81
- [13] Nosaka K, Chapman D, Newton M, Sacco P. (2006) Is isometric strength loss immediately after eccentric exercise related to changes in indirect markers of muscle damage? *Appl Physiol Nutr Metab.* 31: 313–

- [14] Nosaka K, Sakamoto K, Newton M, Sacco P. (2001) How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* 33(9): 1490–5
- [15] Taguchi T, Matsuda T, Tamura R, Sato J, Mizumura K. (1995) Muscular mechanical hyperalgesia revealed by behavioural pain test and c-Fos expression in the spinal dorsal horn after eccentric contraction in rats. *J Physiol.* 564: 259–68

[Research Note]

Delayed onset muscle soreness one day after one-leg eccentric cycling is predicted by the magnitude of decrease in maximal voluntary isometric contraction strength immediately post-exercise

Tomoko KOEDA<sup>1,2</sup>, Georgios Mavropalias<sup>2</sup>  
Kazunori NOSAKA<sup>2</sup>

**Abstract**

Although eccentric exercise is one of the most effective training methods to improve muscle function, delayed onset muscle soreness (DOMS) occurs from this exercise and affects performance after exercise. Additionally, the degree of DOMS is unpredictable. The present study investigated whether the extent of DOMS could be predicted from the magnitude of maximal voluntary contraction (MVC) strength decrease immediately after exercise. Thirteen healthy volunteers rode an eccentric cycle ergometer, pedaling backward 50 revolutions on stationary cycles using their right leg for 10 sets of 1-minute, with 1-minute rests between sets. MVC strength of the knee extensors and flexors were measured before and immediately after cycling, and muscle soreness and pressure pain threshold of the vastus lateralis muscle were assessed before and one day after cycling. Correlations between the changes in MVC strength and muscle soreness or pressure pain threshold were examined. The results showed that the magnitude of decrease in MVC strength was significantly correlated with the degree of muscle soreness and the magnitude of decrease in the pressure pain threshold. From these results, we can conclude that the magnitude of MVC strength loss immediately post-exercise predicts the degree of DOMS the next day.

**Keywords:** eccentric cycling, maximum voluntary isometric contraction strength, prediction of delayed onset muscle soreness

---

1 Faculty of Rehabilitation Sciences, Nagoya Gakuin University

2 School of Medical and Health Sciences, Edith Cowan University