

短期間の自転車漕ぎ運動が筋輝度に及ぼす影響

須田 啓暉

Effect of moderate bicycle training in short term on muscle echo intensity

Keiki SUDA

1. はじめに

日本の平均寿命は世界トップレベルであるが、健康寿命が長いとは言えないのが現状である。日本における平均寿命は、男性が80.79歳、女性が87.05歳（厚生労働省，2015）であり、平成22年度の日本人健康寿命である男性70.42歳、女性73.62歳（厚生労働省，2010）と比較すると、男性は10.37歳、女性は13.43歳の差があり、この期間は生活に制限のある「不健康」の長さを意味している。青年期における運動を含めた身体活動は、現在の健康に影響を与えるだけでなく、将来の健康にも影響を与えることが報告されている（Hall et al, 2006）。よって、将来の健康を見通すためには、青年期にあたる大学生からの運動習慣は重要であると考えられる。

近年、筋力や身体機能の評価において、筋量だけではその関連が中程度に過ぎないとされている。筋量は、筋厚や筋横断面積により評価されることが多いが、それらの評価法では、筋内に存在する非収縮組織である筋線維間脂肪や結合組織も一緒に評価してしまうため、実質的な収縮組織を過大評価してしまう¹⁾。そのため、筋量だけでなく筋線維間脂肪などの非収縮組織（以下、筋内脂肪）の評価も必要である。筋内脂肪は、超音波診断装置による筋の画像から骨格筋内の輝度（以下、筋輝度）を測定することで示すことができる²⁾。筋疾患患者や高齢者の筋輝度が高いことに加えて、近年では若年成人においても運動習慣の有無によって筋輝度に差があることが示されており、筋厚に差はないものの、運動習慣のない者は運動習慣がある者と比較して筋輝度が有意に高く、日常の身体活動量の違いによって筋輝度に差があると考えられる³⁾。筋輝度について、中高齢者を対象とした報告（Taaffe et al, 2009, Radaelli et

al, 2013）やレジスタンストレーニングが及ぼす影響を検討した報告（池添ら，2014）は見受けられるが、若年成人を対象とした習慣的な持続的トレーニングが筋輝度に及ぼす影響を検討した報告は見当たらない。

そこで、本研究は、若年成人における自転車漕ぎ運動が、身体組成および筋輝度にどのような影響を及ぼすのかを検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は習慣的な運動を行っていない一般の女子大学生7名（年齢：21.1 ± 1.9歳，身長：160.4 ± 2.9cm，体重：53.5 ± 5.1kg）であった。実験を開始する前に、すべての被験者に本研究の目的、方法および危険性を十分に説明し、研究参加に対する同意を得た。

2-2. 実験手順

自転車エルゴメータ（モナーク社製，828E）を用いた自転車漕ぎ運動（以下、トレーニング）を8週間行わせた。形態測定、安静時エネルギー消費量（Resting energy expenditure; 以下、REE）の測定および超音波測定をトレーニング前（以下、pre）、トレーニング4週間終了後（以下、1mo.）、トレーニング8週間終了後（以下、2mo.）に実施した。最大酸素摂取量（以下、VO₂max）の測定はpreおよび2mo.に行った。なお、preの測定はトレーニング開始2日前、1mo.と2mo.の測定はそれぞれトレーニング2日後に行った。全ての測定は早朝空腹状態でいき、すべて月経期を考慮し、決定した。

2-3. 形態測定

形態測定は、身長（cm）は0.1cm単位、体重（kg）は0.02kg単位で測定し、Body Mass Index（BMI, kg/m²）は体重（kg）/身長（m）²から算出した。

身体組成は、多周波インピーダンス法により、体脂肪量 (kg)、体脂肪率 (%Fat, %), 骨格筋量 (筋量, kg) を測定し、除脂肪体重 (LBM, kg) を算出した。周囲径は、上腕囲、腹囲、大腿囲、下腿囲にてスチール製メジャーを用いて、0.1cm単位で測定した。

2-4. 超音波測定

超音波測定は、Bモード超音波診断装置を使用した。腹部では腹膜前脂肪厚 (Pmax, mm)、腹壁皮下脂肪厚(mm)を計測した。皮下脂肪厚(mm)は、上腕前部、大腿前部、大腿後部の内側および外側、下腿後部の内側および外側を計測した。筋厚 (mm) と筋輝度 (pixel) は上腕筋、大腿直筋、中間広筋、大腿二頭筋、半腱様筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭およびヒラメ筋を対象筋とし、計測した。筋輝度測定は超音波画像より画像処理ソフト Adobe Photoshop Elements 11 (Adobe Systems社製) を使用し、8bit gray-scaleのヒストグラム分析によって、0から255の256段階 (0=黒, 255=白) で評価した。

2-5. 呼気ガス測定

呼気ガス分析は、呼気ガスモニター (ミナト社製 AE-310S) を用いて行った。REEは、朝食を摂らずに30分以上の仰臥位安静の後、5分以上の採気を行い、呼吸が安定した3分間の平均酸素摂取量と平均二酸化炭素排出量からWeir (1949) の式により算出した。

VO₂maxの測定は、自転車エルゴメータ (モナーク社製, 828E) を用いた毎分60回転の自転車ペ

ダリング運動によって最大下運動負荷テストを実施した。4分間の一定強度の負荷を3回連続して漸増させた。運動中の心拍数 (HR) とVO₂間の直線関係に基づいて、各運動負荷の終了直前の1分間の平均HRと平均VO₂の関係より一次回帰直線を求めた。この回帰直線をGellishら (2004) の各被験者の年齢より推定した最大HR [206.9 - (0.67 × 年齢)] まで外挿しVO₂maxとした。

2-6. トレーニング内容

トレーニング強度は毎分60回転, 65% VO₂max相当の負荷とした。preにおけるVO₂maxの65%相当の負荷を8週間維持した。トレーニングは1日1時間, 週3日, 8週間行わせた。ペダル最下点で膝が軽く曲がるようにサドル高を調節した。

2-7. 統計学的検討

統計学的検討には、統計分析プログラムANOVA4 on the Webを用いて行った。各測定項目の結果は、平均値と標準偏差で示した。自転車漕ぎ運動による計測値の経時的変化を検討するため、反復測定分散分析を行った。分散分析において有意な主効果が認められた場合には、Ryanの多重比較検定を行った。なお、VO₂maxにおいては、2水準 (pre, 2mo.) の反復測定分散分析を行った。全ての分析について危険率5%未満を有意水準とした。

3. 結果および考察

表1に測定結果 (平均値 ± 標準偏差) および

表1. 形態測定, 呼気ガス分析, 超音波測定値

	ANOVA				ANOVA				
	pre	n=7 1mo.	2mo.		測定時期	pre	n=7 1mo.	2mo.	測定時期
形態測定									
身長(cm)	160.4 ± 2.5	160.7 ± 2.2	160.4 ± 2.4		超音波測定				
体重(kg)	53.5 ± 5.1	53.6 ± 4.5	53.4 ± 4.8		腹膜前脂肪厚(mm)	7.3 ± 1.8	6.3 ± 1.4	6.0 ± 2.1	p>0.05
BMI(kg/m ²)	20.8 ± 2.2	20.8 ± 2.0	20.8 ± 2.0		腹壁皮下脂肪厚(mm)	6.4 ± 2.2	6.2 ± 1.4	5.4 ± 2.1	
脂肪量(kg)	25.8 ± 3.8	25.9 ± 4.7	25.2 ± 4.6		上腕脂肪厚(mm)	5.2 ± 1.2	5.9 ± 1.8	5.2 ± 1.5	
%FM(%)	13.8 ± 3.3	14.0 ± 3.7	13.5 ± 3.6		大腿前部脂肪厚(mm)	10.3 ± 2.1	9.7 ± 1.8	9.9 ± 2.5	
筋量(kg)	21.3 ± 1.5	21.4 ± 1.2	22.0 ± 1.3		大腿後部内側脂肪厚(mm)	9.3 ± 2.6	9.7 ± 2.6	9.3 ± 1.6	
LBM(kg)	39.5 ± 2.5	39.5 ± 1.8	39.5 ± 2.2		大腿後部外側脂肪厚(mm)	8.2 ± 4.8	10.4 ± 4.1	9.5 ± 3.2	
腹囲(cm)	71.9 ± 4.3	71.2 ± 4.1	71.0 ± 5.4	p<0.05	下腿後部内側脂肪厚(mm)	6.6 ± 1.2	5.7 ± 0.9	6.2 ± 1.2	
上腕囲(cm)	25.5 ± 2.1	25.1 ± 2.0	24.9 ± 2.0		下腿後部外側脂肪厚(mm)	7.2 ± 0.8	7.1 ± 1.1	7.4 ± 0.8	
大腿囲(cm)	48.2 ± 4.3	48.5 ± 4.4	50.7 ± 5.6		上腕筋厚(mm)	17.9 ± 1.4	17.5 ± 2.0	18.6 ± 1.3	
下腿囲(cm)	33.3 ± 2.1	33.4 ± 1.9	34.2 ± 2.0	p<0.05	大腿直筋厚(mm)	17.1 ± 3.4	19.5 ± 2.4	19.3 ± 2.3	
呼気ガス分析									
安静時エネルギー消費量					中間広筋厚(mm)	15.2 ± 3.8	15.4 ± 2.0	15.1 ± 1.3	
kcal/day	1143.5 ± 111.5	1172.2 ± 121.0	1229.2 ± 133.4	p<0.005	大腿二頭筋厚(mm)	30.6 ± 3.8	29.2 ± 4.5	30.6 ± 2.4	
kcal/体重(kg)/day	21.4 ± 1.0	21.9 ± 1.5	23.1 ± 2.1	p<0.01	半腱様筋厚(mm)	24.9 ± 2.1	24.9 ± 3.3	24.4 ± 1.9	
kcal/LBM(kg)/day	28.9 ± 1.9	29.6 ± 2.6	31.0 ± 3.3	p<0.005	腓脛筋内側頭筋厚(mm)	15.3 ± 1.2	16.2 ± 1.9	16.6 ± 1.8	
最大酸素摂取量					腓脛筋外側頭筋厚(mm)	11.8 ± 2.5	12.0 ± 2.5	11.8 ± 2.3	
ml/kg/min	32.8 ± 3.7		34.7 ± 3.6	p<0.05	ヒラメ筋厚(mm)	16.9 ± 4.2	17.0 ± 4.1	17.4 ± 4.0	
					上腕筋輝度(pixel)	15.7 ± 3.1	16.4 ± 3.0	14.8 ± 2.1	p>0.005
					大腿直筋輝度(pixel)	19.3 ± 2.8	17.9 ± 2.9	16.0 ± 2.1	p>0.005
					中間広筋輝度(pixel)	18.7 ± 2.1	19.2 ± 3.1	18.8 ± 3.1	
					大腿二頭筋輝度(pixel)	18.5 ± 2.9	18.2 ± 2.5	18.9 ± 2.4	p>0.05
					半腱様筋輝度(pixel)	22.2 ± 2.4	21.6 ± 3.1	21.0 ± 3.6	
					腓脛筋内側頭筋輝度(pixel)	18.2 ± 1.7	17.7 ± 2.1	17.5 ± 2.3	
					腓脛筋外側頭筋輝度(pixel)	23.3 ± 2.7	23.1 ± 2.4	22.6 ± 1.9	
					ヒラメ筋輝度(pixel)	18.2 ± 2.1	18.3 ± 1.9	17.8 ± 2.0	

分散分析結果を示した。本研究では、自転車漕ぎ運動の持続的トレーニング効果の指標として、REEおよびVO₂maxを算出した。1日あたりのREEは、2mo.がpre (p=0.0014) および1mo. (p=0.0176) よりも有意に高い値を示し、体重1kgあたりのREEも2mo.がpre (p=0.0026) および1mo. (p=0.0191) よりも有意に高い値を示した。LBM1kgあたりのREEは、2mo.がpreよりも有意に高い値を示した (p=0.0095)。また、VO₂maxの値は、2mo.がpre (p=0.0256) よりも有意に高い値を示した。REEは季節変動がなく (新矢, 2006)、月経周期などによる差もないこと (末田, 2007) に加えて、持続的トレーニングにより増加する報告 (Ballor et al, 1992, Broeder et al, 1992, Tremblay et al, 1986, Lennon, 1985) もみられる。本研究もVO₂maxの向上もみられ、本研究における自転車漕ぎ運動によって持続的トレーニング効果はあったものと考えられる。

本研究において、8週間のトレーニングにより、形態測定結果のうち、有意な主効果が認められたのは腹囲および下腿囲であった。下腿囲において2mo.がpre (p=0.0084) および1mo. (p=0.0182) よりも高い値を示したものの、下腿の各筋厚および皮下脂肪厚に有意な変化は見られなかった。腹囲は2mo.がpre (p=0.0071) および1mo. (p=0.0232) よりも有意に低い値を示した (図1)。

若年女性 (19-23歳, n=51) において、Pmaxと内臓脂肪面積とに有意な正の相関 (r=0.68, p<0.001) が認められ、Pmaxは内臓脂肪の指標になると報告されている⁴⁾。本研究においてPmaxは2mo.がpreよりも有意に低い値を示し (p=0.0141)、8週間で内臓脂肪量が減少したこと

で腹囲が減少したものと考えられる。Pmaxが有意に減少したのに対して、腹壁皮下脂肪厚、上腕、大腿、下腿の皮下脂肪厚は変化しなかった (図2)。

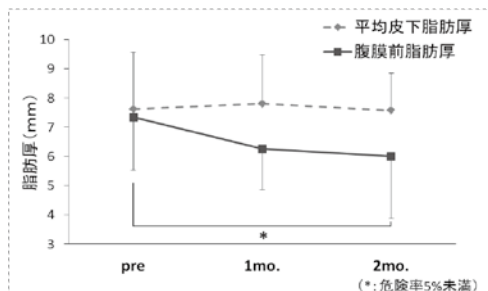


図2. 測定箇所すべての皮下脂肪厚の平均値と腹膜前脂肪厚の経時的推移

このことは、内臓脂肪が皮下脂肪組織よりも高い脂肪分解を示すことから妥当だと考える⁵⁾。また、脂肪組織の脂肪分解能には部位差があり、大腿部と臀部の皮下脂肪組織が最も小さく、以下腹部脂肪組織、腹腔内脂肪組織 (例えば大網) の順に大きくなることから (Hoffstedt et al, 1997)、腹部脂肪組織よりも脂肪分解能の小さい他の測定箇所においては脂肪厚が変化しなかった。

筋輝度は、上腕において2mo.が1mo.よりも有意に低い値 (p=0.0119) を示し、大腿二頭筋においては、いずれの水準間の差も有意ではなかった。大腿直筋において2mo.がpre (p=0.0006) および1mo. (p=0.0183) よりも有意に低い値を示し、トレーニング開始前 (pre) とトレーニング後 (2mo.) を比較し、統計的に有意に減少したのは大腿直筋のみであった (図3)。一方で、大腿の量的指標である大腿囲、大腿部すべての筋厚および脂肪厚に有意な変化は見られなかった。

自転車漕ぎ運動は足関節の底屈・背屈、膝関節

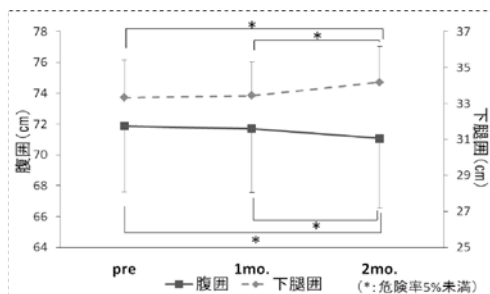


図1. 腹囲および下腿囲の経時的推移

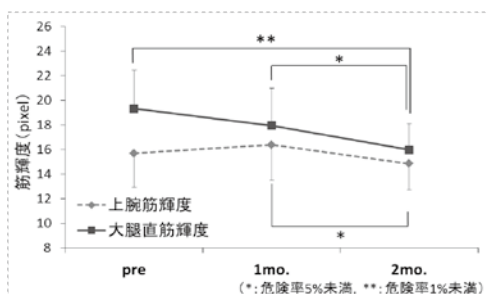


図3. 上腕筋および大腿直筋輝度の経時的推移

および股関節の伸展・屈曲運動を伴った多関節的な運動であるが、ペダリング動作の多くの局面で大腿直筋の活動が増加したことで、大腿直筋輝度のみが低下したと考えられる。自転車エルゴメータ運動において足部をペダルに固定することにより、ペダルの引き上げ動作が行いやすくなり、大腿直筋は股関節屈曲筋としての働きが高まり、筋電図学的筋活動が増加する (Ericson et al, 1986, 岩下ら, 2004) と報告されている。本研究において用いた自転車エルゴメータもこれらの報告と同様に足部をペダルに固定するベルトがあり、これを装着して、ペダリング運動を行っていた。このため、大腿直筋の筋活動が膝関節伸展動作においてだけでなく、膝関節屈曲動作においても増加し、ペダリング動作全体において高まったと考える。大腿直筋において筋活動が高まったことによる総エネルギー需要の増加および筋収縮自体によるホルモン感受性リパーゼの活性化⁶⁾によって筋線維間脂肪において脂肪分解反応の亢進などが起こり、筋線維間脂肪が熱源として多く利用され、筋輝度の低下が起きたことが推察される。もしくは、持久的運動後に血中のトリグリセリド(中性脂肪)を脂肪酸に加水分解するリポタンパク質リパーゼの活性が数時間にわたって増加することから、運動中に利用された筋線維内脂肪滴を再補填するために、皮下脂肪よりも優先的に筋線維間脂肪の脂肪分解反応が起こり、筋輝度が低下した可能性も推察される。

これらの結果から、短期間の持久的トレーニングにより筋の形態的・量的な変化が起こらなくとも、筋輝度が減少、すなわち筋線維間脂肪が減少し、筋の質的变化が起こりうることが示唆されます。加えて筋線維間脂肪の減少は部位別に選択的に減少する可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究は、若年成人において自転車漕ぎ運動が身体組成および筋輝度にどのような影響を及ぼすのかを検討することを目的とした。本研究の運動課題による持久的トレーニング効果は確認された。持久的運動により体脂肪量および体脂肪率といった全身の脂肪蓄積の指標は変化せ

ず、筋厚、皮下脂肪厚といった形態的な変化もみられなかったにも関わらず、大腿直筋において筋の質的指標で筋内脂肪蓄積を示す筋輝度は低下した。つまり、8週間の持久的運動により身体は形態的に変化せず、筋においては量的に変化しなかったものの、質的には変化することが示唆された。また、筋線維間脂肪は、皮下脂肪よりも選択的に分解されやすい可能性もしくは、内臓脂肪と同様に脂肪分解能が皮下脂肪厚に比べ、高い可能性が示唆された。

5. 主要参考文献

- 1) 福元喜啓, 池添冬芽, 山田陽介, 市橋則明: 超音波画像診断装置を用いた骨格筋の量的・質的評価. 理学療法学42 (1): 65-71, 2015
- 2) Heckmatt JZ, Leeman S, Phil D, et al.: Ultrasound imaging in the diagnosis of muscle disease. The Journal of Pediatrics 101: 656-660, 1982
- 3) 寺本圭輔, 家崎仁成, 大矢知佳, 村松愛梨奈, 杉山紗智子: 若年成人における運動習慣の有無が筋内脂肪蓄積に及ぼす影響. 愛知教育大学研究報告, 65: 39-44, 2016
- 4) 杉山育代, 松田正文: 若年女性の体内脂肪量評価における腹膜前脂肪厚測定の意義. 神戸常盤大学紀要7: 41 - 49, 2014
- 5) 奥田拓道: 内臓脂肪と皮下脂肪の機能. 臨床医23 (9): 48-51, 1997.
- 6) Langfort J, Ploug T, Ihlemann J, Saldo M, Holm C, Galbo H: Expression of hormone-sensitive lipase and its regulation by adrenaline in skeletal muscle. Biochemical Journal 340 (2): 459-465, 1999
(指導教員 寺本 圭輔)