高校生と大学生の自転車競技選手における下肢と体幹の筋厚が
実走および固定自転車でのスプリント能力に及ぼす影響

石井 泰光¹, 黒川 剛², 荒木 就平³, 山本 正嘉⁴

**The relationship between muscle thickness of leg and trunk
and the sprint performance in the field and on the cycle ergometer
in high school and college students cyclists**

Yasumitsu Ishii¹, Takeshi Kurokawa², Syuhei Araki³ and Masayoshi Yamamoto⁴

¹ 国立スポーツ科学センタースポーツ科学研究部, 〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1 (*Department of Sports Science, Japan Institute of Sports Sciences, 3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-0056, Japan*)

² 鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系, 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地 (*Coaching of Sports and Budo, National Institute of Sports and Fitness in Kanoya, 1 Shiromizucho, Kanoya, Kagoshima 891-2393, Japan*)

³ 鹿児島県立南大隅高校, 〒893-2501 鹿児島県肝属郡南大隅町根占川北413番地 (*Kagoshima Prefectural Minamiosumi High School, 413 Nejimekawakita, Minami-Osumi cho, Kimotsuki-gun, Kagoshima 893-2501, Japan*)

⁴ 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系, 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地 (*Sports and Life Science, National Institute of Sports and Fitness in Kanoya, 1 Shiromizucho, Kanoya, Kagoshima 891-2393, Japan*)

Received: October 23, 2015 / Accepted: March 30, 2016

Abstract The 30-seconds all-out sprint test on the cycle ergometer was performed by 10 high school and 13 college men's cyclists. In addition, this study investigated their best time for 200 m (200mTT) and 1000 m (1000mTT) time trials in the velodrome. This study clarifies the relationship between muscle thickness of thigh, shank, and trunk and 1) the average speed for the 200mTT and 2) the 1000mTT in the field, and 3) the mean power of the 30-seconds all-out sprint cycling test. 1) The average speed for the 200mTT significantly correlated with the muscle thickness of posterior shank and front and lateral abdomen. 2) The average speed for the 1000mTT significantly correlated with the muscle thickness of posterior thigh and shank and front and lateral abdomen. 3) The mean power of the 30-seconds all-out sprint cycling test significantly correlated with the muscle thickness of anterior and posterior thigh, posterior shank, and front and lateral abdomen. Except for the average speed for the 200mTT and 1000mTT, the mean power of the 30-seconds all-out sprint cycling test was significantly related to the muscle thickness of anterior thigh. These results suggest that increasing muscle thickness of posterior thigh and shank and front and lateral abdomen is important for enhancing performance in sprint cycling.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 65(3): 327-335 (2016)

Keywords : ultrasonic echocardiography, track cycling, power, Wingate test

緒 言

自転車競技トラックレースは、走行距離1000 mを境に、短距離種目と中距離種目に分類されている¹⁾。短距離種目としてスプリント、その予選で行われる200 mタイムトライアル（以下、200mTT）、チームスプリント、ケイリン、1000 mタイムトライアル（以下、1000mTT）が行われている。その中でも200mTTと1000mTTとは短距離種目のパフォーマンスを表す代表的な種目である。

200mTTと1000mTTのいずれにおいても、パフォーマンスを高める上では最大速度を高めることが重要であ

る^{2,3)}。そして1000mTTでは追加条件として、スタートから250 m区間までの平均タイムを短縮すること³⁻⁵⁾も重要とされる。

この能力を高めるためには、下肢や体幹の筋力およびパワーに優れることが必要である。先行研究を見ると、等速性筋力（膝関節伸展⁶⁾、体幹屈曲⁷⁾）、垂直跳^{8,9)}、レジスタンストレーニングのパワー系エクササイズ（クリーンプル⁹⁾、パワークリーン^{9,10)}）で評価される筋力およびパワーに優れているほど、自転車エルゴメーターもしくは実走によるスプリント能力が高いと報告されている。

ところで筋力やパワーに優れるための必要条件とし

て, 下肢や体幹の筋量大きいことがあげられる. この点に関する研究として, 池田ほか¹¹⁾は, 国内トップレベルの自転車競技選手を対象に, 大腿部および体幹の筋横断面積と3種類の負荷条件による10秒間の全力ペダリングを行わせて, そのパフォーマンスとの関係について検討し, 大腿四頭筋, ハムストリングス, 大腰筋, 腹斜筋群の筋横断面積と, 各負荷条件における平均パワーとの間に有意な相関関係が見られたと報告している. ただし, これらの結果は, 自転車エルゴメーターによる運動で得られた結果であり, 実走パフォーマンスとの関係については検討されていない. この点について, 自転車エルゴメーターのパフォーマンスとも併せて検討することは, 自転車競技トラックレースの短距離種目のパフォーマンス向上を考える上で意義があると考えられる.

そこで本研究では, 男子高校生および男子大学生の自転車競技選手を対象として, ①200mTT, ②1000mTT, ③自転車エルゴメーター30秒間全力運動, という3つのスプリント能力に対して, 下肢および体幹の筋厚との間に, どのような関連性があるかについて検討することを目的とした.

方 法

対象者 自転車競技を専門としている男子高校生10名, 男子大学生13名を対象とした. Table 1に, 対象者の身体特性および競技年数を示した. 対象者は, 全国高等学校総合体育大会, もしくは全日本大学対抗選手権に出場しているレベルであった. 対象者およびその保護者には, 本研究の趣旨および内容, 実験の参加に伴う危険性について説明を行い, 書面にて同意を得た. なお, 本研究は鹿屋体育大学の倫理審査小委員会に倫理審査申請書を提出して, 承諾を受けた(第9-11号).

測定方法 本研究は, 2012年11月中旬, 2013年10月下旬, 2013年11月上旬に, ①形態および筋厚の測定, ②自転車エルゴメーターを用いた30秒間全力ペダリングを行った. 上記の計測日から, 過去7ヶ月から1ヶ月以内に行われた(測定年度の5~11月), 地区の記録会および公式競技会で計測された200mTTおよび1000mTTのベストタイムを採用した. なお, 200mTTおよび1000mTTに使用したギア比は, 任意として規定しなかった.

形態および筋厚測定 身長は, 身長計を用いて0.1 cm単位で計測した. 体重および体脂肪率は, デュアル周波数体組成計(DC-320, タニタ社製, 日本)もしくは体成分分析装置(InBody720, バイオスペース社製, 日本)を用いて計測した.

筋厚の計測には, 超音波診断装置(Prosound2, Aloka社製, 日本)のBモード画像により計測した. 測定時の

超音波発信周波数は7.5 MHzであった. 測定部位は, 大腿前部, 大腿後部, 下腿前部, 下腿後部, 腹直筋, 腹斜筋から計測した. 測定点は, 安部と福永の方法¹²⁾に従い, 測定時の姿勢は立位とした. 大腿部(前部・後部)は近位から50%部位とした. 下腿部(前部・後部)は, 近位から30%部位とした. 腹直筋は臍部の高さとして, 左右の腹直筋の筋腹を計測した. 腹斜筋は腸骨陵上部の位置を計測して, 外腹斜筋と内腹斜筋の筋厚を合計した.

上記の方法で計測した超音波画像を用いて, 大腿部の筋厚は, 皮下脂肪組織と筋組織との境界線を示す反射波から大腿骨までとした. 下腿部の筋厚は, 皮下組織と筋膜の境界を示す反射波から, 深層にある後脛骨筋と前脛骨筋の境界にある筋膜までとした. 測定は, 0.5 mm単位で計測した. 筋厚は左右の計測を行ったが, 左右両方の平均値を分析に用いた. なお, 大腿前部は, 大腿直筋と中間広筋の筋厚を合計した. 大腿後部は, 大腿二頭筋の筋厚とした. 下腿前部は前脛骨筋として, 下腿後部は腓腹筋の外側頭とヒラメ筋の筋厚を合計した.

30秒間全力ペダリング 対象者には, ローラー台を使用するか, 自転車エルゴメーターを用いて, 十分なウォーミングアップを行わせた. 自転車エルゴメーター(本体: Powermax-VIII, コンビウエルネス社製, 日本; サドルおよびハンドル部分: パワーマックス改造II型競輪仕様, ヴィクトジャパン, 日本)を用いた. 対象者の体格に合わせて, サドルおよびハンドルの位置を調整して, ロード用ビンディングペダルを使用して行わせた.

対象者には, ウォーミングアップを兼ねて, 体重の7.5%の負荷条件で, 10秒間の全力ペダリング運動を1回実施させた. 10分以上の休息を挟んだ後に, 30秒間全力ペダリングを同負荷条件で実施させた. 30秒間全力ペダリングの規定条件は, 10秒間全力ペダリングで得られた最大回転数の95%以上を満たすように, 最大努力で行うように指示した. 上記の規定した最大回転数を満たさない場合は, 10分以上の休息を挟んだ後に再試行を行わせた.

測定値は, 30秒間の平均パワーおよび最大パワー(絶対値と体重割)を採用した. 測定中の最大回転数について求めた. 低下率(Fatigue Index)は, [(最大パワー-25~30秒区間の平均パワー)/最大パワー]×100によって算出した.

統計処理 各分析項目は, 平均値±標準偏差で示した. 高校生と大学生の比較を行うために, 対応のないT検定を用いて, 身体特性および競技年数(Table 1), 200mTTおよび1000mTTのタイムおよび平均速度, 30秒間全力ペダリングにおける最大パワー, 平均パワー, 最大回転数, 低下率を比較した.

下肢および体幹の筋厚と30秒全力ペダリングの平均

パワー (Fig. 1) および200mTTおよび1000mTTの平均速度 (Fig. 2, Fig. 3) との関係について検討するために, ピアソンの積率相関係数を用いた. なお, 腹斜筋の筋厚は, 全対象者のデータを取得することができなかったため, 高校生は6名, 大学生は12名, 全体で18名のデータを用いて検討した. すべての検定は, JMP9.0.3 (SAS Institute Japan) を用いて, 有意水準を5%未満とした.

結 果

Table 1は, 対象者の身体特性と競技年数を示したものである. 大学生は, 年齢, 競技年数, 身長, 体重, 除脂肪体重で高校生よりも有意に大きかった. 体脂肪率については大学生の方が高校生よりも小さいが, 体脂肪量

には差が認められなかった.

Table 2は, 対象者の200mTTと1000mTTの平均速度およびタイムを, Table 3は30秒間全力ペダリングの最大パワーおよび平均パワー (絶対値, 体重割), 最大回転数, 低下率を示した. いずれの項目とも高校生と大学生とで有意差は認められなかった.

Table 4は, 対象者の下肢および体幹の筋厚を示した. いずれの部位においても高校生と大学生の間には有意差が認められなかった. 大腿前部に対する大腿後部の筋厚の割合, 下腿前部に対する下腿後部の筋厚の割合においても有意差は認められなかった.

Fig. 1は, 下肢および体幹の筋厚と30秒間全力ペダリングの平均パワーとの関係を示した. 高校生と大学生を

Table 1. Anthropometric characteristics of high school and college men's cyclists.

Subject characteristic	All subjects	High school	College	High school vs College		
				t-ratio	p-value	
Age (years)	18.7 ± 1.9	16.9 ± 0.6	20.2 ± 1.1	8.72	p<0.01	**
Height (cm)	171.2 ± 5.9	167.4 ± 3.8	174.2 ± 5.6	3.31	p<0.01	**
Body mass (kg)	65.3 ± 8.7	60.8 ± 4.3	68.8 ± 9.7	2.65	p<0.05	*
Percent body fat (%)	13.3 ± 3.5	15.6 ± 2.5	11.5 ± 3.1	3.38	p<0.01	**
Lean body mass (kg)	56.6 ± 7.1	51.3 ± 3.2	60.7 ± 6.6	4.48	p<0.01	**
Fat mass (kg)	8.8 ± 2.9	9.5 ± 2.0	8.2 ± 3.3	1.14	p=0.27	ns
Competitive experience (years)	3.7 ± 2.5	2.0 ± 1.4	5.1 ± 2.3	3.84	p<0.01	**

p<0.05 *

p<0.01 **

Table 2. Time and average speed for 200mTT and 1000mTT.

Track cycling performance	All subjects	High school	College	High school vs College		
				t-ratio	p-value	
Time for 200mTT (sec)	11.9 ± 0.6	12.2 ± 0.7	11.8 ± 0.5	1.62	p=0.12	ns
Time for 1000mTT (sec)	72.3 ± 4.6	74.0 ± 5.2	70.9 ± 3.7	1.70	p=0.11	ns
Average speed for 200mTT (m/s)	16.8 ± 0.9	16.5 ± 1.0	17.1 ± 0.8	1.62	p=0.12	ns
Average speed for 1000mTT (m/s)	13.9 ± 0.8	13.6 ± 0.9	14.1 ± 0.7	1.70	p=0.11	ns

TT: time trial

p<0.05 *

p<0.01 **

Table 3. Maximum and mean power, maximum cadence and Fatigue Index during the 30-seconds all-out sprint cycling test.

30-seconds all-out sprint cycling test	All subjects	High school	College	High school vs College		
				t-ratio	p-value	
Maximum power (W)	849 ± 142	801 ± 79	885 ± 169	1.45	p=0.16	ns
Mean power (W)	679 ± 98	642 ± 60	708 ± 113	1.66	p=0.11	ns
Maximum power per body mass (W/kg)	13.0 ± 1.0	13.2 ± 0.9	12.8 ± 1.1	0.78	p=0.44	ns
Mean power relative to body mass (W/kg)	10.4 ± 0.7	10.5 ± 0.5	10.3 ± 0.8	0.92	p=0.37	ns
Maximum cadence (rpm)	177 ± 14	180 ± 11	175 ± 15	0.80	p=0.43	ns
Fatigue Index (%)	31.5 ± 6.0	31.9 ± 5.2	31.1 ± 6.8	0.31	p=0.76	ns

p<0.05 *

p<0.01 **

Table 4. Muscle thickness of leg and trunk.

Muscle thickness	All subjects	High school	College	High school vs College		
				t-ratio	p-value	
Anterior thigh (mm)	60 ± 6	59 ± 3	61 ± 7	0.74	p=0.47	ns
Posterior thigh (mm)	58 ± 6	59 ± 4	58 ± 6	0.16	p=0.88	ns
Anterior shank (mm)	29 ± 2	28 ± 1	30 ± 2	1.96	p=0.06	ns
Posterior shank (mm)	70 ± 5	69 ± 4	71 ± 6	1.08	p=0.29	ns
Front Abdomen (mm)	15 ± 2	15 ± 2	16 ± 2	1.47	p=0.16	ns
Lateral abdomen (mm)	24 ± 4	23 ± 3	24 ± 4	0.98	p=0.34	ns
Posterior : Anterior thigh muscle thickness rate (%)	98 ± 10	99 ± 7	97 ± 12	0.62	p=0.54	ns
Posterior : Anterior shank muscle thickness rate (%)	240 ± 20	243 ± 21	238 ± 19	0.63	p=0.54	ns

p<0.05 *

p<0.01 **

合わせた全体で見ると, 大腿前部, 大腿後部, 下腿後部, 腹直筋, 腹斜筋の筋厚と30秒間全力ペダリングの平均パワーとの間には, 有意な相関関係が認められた。

Fig. 2は, 下肢および体幹の筋厚と200mTTの平均速度との関係を示した。高校生と大学生を合わせた全体では, 下腿後部, 腹直筋, 腹斜筋の筋厚と200mTTの平均速度に有意な相関関係が認められた。

Fig. 3は, 下肢および体幹の筋厚と1000mTTの平均速度との関係を示した。高校生と大学生を合わせた全体では, 大腿後部, 下腿後部, 腹直筋, 腹斜筋の筋厚と1000mTTの平均速度に有意な相関関係が認められた。

考 察

対象者の身体特性および実走パフォーマンス 本研究の大学生自転車競技選手は, 先行研究^{7,10)}の身長, 体重とほぼ同等であったことから, 大学生自転車競技選手としては標準的な体格であったと考えられる。本研究の大学生自転車競技選手の200mTTのタイム (11.8±0.5 sec) は, 先行研究¹⁰⁾ (11.3±0.3 sec) と比較して, やや遅い傾向にあった。本研究の1000mTTのタイム (70.9±3.7 sec) は, 先行研究の大学生自転車競技選手のタイム⁷⁾ (75.7±1.9 sec) と比較して, やや速い傾向にあった。つまり200mTTと1000mTTの両方において, 先行研究の大学生自転車競技選手と比較して, 同程度のパフォーマンスを有していたと考えられる。

一方, 日本国内で開催されている全国大会レベルの競技会を分析した研究²⁾と比較すると, 本研究の200mTTのタイムはLow群以下に分類されるレベルであった。本研究の1000mTTのタイムは, LowからModerate群の範囲にあった。つまり, 本研究の対象者は, 大学生自転車競技選手としては標準的なレベルであるが, 国内の全国大会から見ると, 200mTTおよび1000mTT共に, LowおよびModerate群に分類されるレベルと考えられる。

本研究の高校生自転車競技選手は, 先行研究の高校生自転車競技選手¹³⁾と比較して, 身長および体重に差が認められないことから, 標準的な体格を有していたと考えられる。高校生の200mTTおよび1000mTTのパフォーマンスを報告した研究は見あたらないが, 本研究の大学生と比較して統計的に差が認められないパフォーマンスを有していた。

高校生と大学生を比較したところ, 30秒間全力ペダリングの平均パワー (絶対値および体重割: Table 3), 200mTTおよび1000mTTの平均速度 (Table 2), さらに下肢および体幹の筋厚 (Table 4) においても有意差が認められなかった。したがって本考察では, 高校生と大学生を同等の競技力を持つ一つの集団と見なして, 下肢および体幹の筋厚と30秒間全力ペダリングの平均パワー, 200mTTおよび1000mTTの平均速度との関係について検討する。

200mTT・1000mTTと諸変量との関係 200mTTは10秒前後, 1000mTTは60秒以上という運動時間や, スタンディングスタートの有無といった相違点があるが, 下腿後部, 腹直筋, 腹斜筋の筋厚と, ほぼ同じ筋部位とパフォーマンスに関連性が認められた。この結果は, 標準的な高校生および大学生の自転車競技選手であれば, 200mTTや1000mTTのパフォーマンスを向上させるためには, 下腿後部, 腹直筋, 腹斜筋の筋量を増加させることが重要であることを意味すると考えられる。

大腿後部の筋厚と1000mTTのパフォーマンスとの関連性が認められた理由は, 大腿後部の筋群が股関節伸展および膝関節屈曲に関与する二関節筋として作用していたことが影響したと考えられる。自転車エルゴメーターを用いた短時間の全力ペダリングにおいて^{14,15)}, 下肢三関節のパワー発揮は, ペダリングパワーに対して股関節伸展が47~76%, 膝関節伸展が24~41%, 足関節底屈が16

Fig. 1 The relationship between muscle thickness of leg and trunk and mean power during the 30-seconds all-out sprint cycling test.

～35%を占めており、股関節伸展パワーは、膝関節伸展や足関節伸展のパワーに比べて大きい。また、最大下運動から最大運動になると、ペダリングパワーに対する膝関節伸展パワーが低下して、膝関節屈曲パワーが増大することが報告されている¹⁵⁾。さらに、短時間の全力ペダリングでは、股関節伸展に関与する大殿筋の筋活動と、股関節伸展および膝関節屈曲に関与するハムストリングスの筋活動が増大することが報告されている¹⁶⁾。つまり大腿後部の筋群は、力学的にも筋活動的にも短時間の全力ペダリング運動の股関節伸展と膝関節屈曲に大きく関与

していることから関連性が認められたものと考えられる。

一方、大腿後部の筋厚と1000mTTの平均速度の間に有意な相関関係が認められたが、200mTTの平均速度との間には有意な関係性が認められなかった。その理由の1つに、200mTTは1000mTTに比べて走行速度が大きいことから、乗車姿勢による空気抵抗を大きく受けたことが影響したと考えられる。Dorel et al. (2005) は、海外トップレベルの選手を対象に、自転車エルゴメーターによる最大パワーテストの最大パワーと200mTTの平均速度との関係を検討している。最大パワーとの間には

Fig. 2 The relationship between muscle thickness of leg and trunk and average speed for 200mTT.

関連性が認められないが、乗車時の前面投影面積で除した最大パワーと200mTTの平均速度の間に有意な相関関係を報告している。先行研究と同様に、200mTTのパフォーマンスは、空気抵抗の影響をより大きく受けるため、筋力やパワーを規定する体力要因の1つである大腿後部の筋厚だけでは説明できなくなったため、関連性が認められなかったものと推察される。

自転車競技のペダリング動作を対象に、下腿後部の筋厚と実走能力との関連性を検討した先行研究は見当たらず、両者の間に関連性があることを示したのは本研究が初めてである。自転車ペダリング運動において、足関節

は、股関節および膝関節で生じた力をペダルに伝達するために重要な部位であると考えられている¹⁷⁾。また、ペダリング中のパワー発揮が大きくなると、足関節底屈のパワー発揮および筋活動が増大することから^{16,17)}、股関節や膝関節からの力をペダルに伝達するだけでなく、足関節が動力源として機能していることが影響したと考えられる。

腹直筋および腹斜筋の筋厚と200mTTおよび1000mTTの平均速度の間に有意な相関関係が認められた。この結果は、先行研究^{7,11)}における自転車運動のパフォーマンスと体幹の筋量および筋力に関連性が認めら

Fig. 3 The relationship between muscle thickness of leg and trunk and average speed for 1000mTT.

れた結果と一致していた。大学生の自転車競技選手を対象として、等速性体幹屈曲筋力 (60 deg/s) と1000mTTのタイムに有意な相関関係が報告されている⁷⁾。これらの結果は、実走のパフォーマンスにおいて体幹の筋量が重要であることを支持していると考えられる。

30秒間全力ペダリングと諸変量の関係 30秒間全力ペダリングの平均パワーは、実走と同様に、大腿後部、下腿後部、腹直筋、腹斜筋の筋厚との間に有意な相関関係が認められた。したがって、実走、エルゴメーターを用いた運動形態に関わらず、自転車を用いたペダリング運

動では、これらの4部位の筋量を増加させることは重要であると考えられる。一方で、30秒間全力ペダリングの平均パワーと大腿前部の筋厚との間に相関関係が認められる点が異なっていた。自転車エルゴメーターと実走では、大腿前部の機能的な役割や、パワー発揮における重要性が異なる可能性も考えられる。これらの理由の解明については、今後の検討課題である。

腹斜筋の筋厚と30秒間全力ペダリングの平均パワーとの間には有意な相関関係が認められた。同様の先行研究としては、国内トップレベルの自転車競技選手を対象に、腹斜筋群 (外側腹筋群) の筋断面積と中・高負荷条

件 (7 kp, 11 kp) における10秒間全力ペダリングの平均パワーに有意な相関関係が報告されている¹¹⁾。本研究では、運動時間が30秒間と長く、負荷条件 (高校生: 4.5 ± 0.3 kp; 大学生: 5.1 ± 0.7 kp; 全体: 4.9 ± 0.7 kp) が先行研究に比べて小さいが、同様の関連性が認められた。腹斜筋は、スタートから大きなクランクトルクを発揮できる姿勢を作るために、腰椎の回旋や側屈の動きを抑制していることが推察される。また、最大回転速度に到達後に、下肢によって大きなパワー発揮を継続させる姿勢を保つためにも、腹斜筋が働いていた可能性も考えられる。したがって、腹直筋および腹斜筋は、実走だけではなく、自転車エルゴメーターにおいて、短時間で大きなパワー発揮をするために重要な役割を果たしていることが考えられた。

実践現場への示唆 本研究では、高校生および大学生の自転車競技選手を対象に、下肢および体幹の筋厚と自転車エルゴメーターおよび実走のパフォーマンスとの関係性について検討した。自転車エルゴメーターおよび実走という運動形態の違いに関わらず、大腿後部、下腿後部、腹直筋、腹斜筋の筋量を増加させることは、自転車ペダリング中のパワー発揮を高めるには重要であることが明らかになった。

大腿後部の筋群は、股関節伸展および膝関節屈曲に関与しており、これらの関節運動は、自転車ペダリング中のパワー発揮に対する貢献度も大きいことが知られている^{15,17)}。また、本研究における30秒間の全力ペダリングだけではなく、先行研究の10秒間全力ペダリングにおいても、大腿後部 (ハムストリングス) の筋量とペダリング中のパワー発揮との間に関連性が認められている¹¹⁾。したがって、自転車ペダリング運動において、大腿後部の筋量を増加させることは、自転車ペダリング運動において短時間で大きなパワーを発揮するためには重要であると考えられる。

大腿後部の筋量を増やすには、レッグカールのような膝関節屈曲の単関節動作だけではなく、スクワットやデットリフトといった股関節の伸展屈曲が含まれる多関節運動によるエクササイズを選択することが有効であると考えられる。さらに、自転車エルゴメーターと実走に共通して、大腿後部は大腿前部の相関係数に比べて大きい傾向が認められた。運動形態に関わらず、自転車ペダリング運動のパワー発揮を向上させるためには、大腿後部の筋群を優先的に強化することが重要であると考えられる。

下腿後部の筋量は、自転車エルゴメーターおよび実走に関わらず高い相関関係が認められた。自転車ペダリング運動において、パワー発揮を増大させるためには、足関節底屈のパワー発揮の重要性を示した研究は見あたら

ない。全体のパワー発揮に対して、股関節や膝関節に比べれば足関節の関与は小さいが、足関節にも着目してトレーニングを実施していくことが重要であることを示唆していると考えられる。

腹直筋および腹斜筋は、体幹の屈曲、側屈・回旋に関与する筋群である。腹直筋が関与する等速性体幹屈曲筋力と1000mTTのパフォーマンスとの間に関連性が認められており⁷⁾、腹斜筋の筋横断面積と中・高負荷条件における自転車エルゴメーターのパワー発揮特性¹¹⁾の間に関連性が認められていることから、先行研究の結果を支持する結果となった。

1000mTTは、腹斜筋や腹直筋が機能することによって、骨盤および腰椎の回旋を防ぎ、体幹屈曲の姿勢を保ち、スタート局面から大きなパワー発揮を可能にして、乗車中の体幹の揺れを抑えるために働いていると推察される。200mTTでは、トラックレース短距離種目の中で、最も速度が大きいことから、コーナー部分で大きな加速度を受けるため、腹直筋や腹斜筋が働くことで、適切な乗車姿勢を保ち、スムーズなペダリングを行うことに貢献していることが予想される。しかし、実走の自転車ペダリング運動を対象に、体幹の筋群がどのように機能しているのか検討した研究は見あたらなことから、今後の検討課題であると考えられる。

実走の200mTTおよび1000mTTといった運動時間が異なる種目において、腹直筋と腹斜筋の両方に関連性が見られた結果は、本研究が初めての結果である。したがって、高校生や大学生の自転車競技選手では、腹直筋だけではなく、腹斜筋も含めて、様々な方向から体幹の筋量および筋力を強化していくことが重要であることを示している。

本研究では、これまであまり着目されてこなかった下腿や体幹の筋量の重要性を示したことに意義があると考えられる。また実走では、大腿後部の筋量がパフォーマンスに大きく影響する可能性も示唆された。これらの知見は自転車競技のレジスタンストレーニングをプログラム作成時の参考になると考えられる。

なお、自転車競技選手は、室内でスプリント能力を改善するためのトレーニング手段として自転車エルゴメーターを用いている。また、体力測定にも用いられることがある。本研究の結果から、自転車エルゴメーターで動員される筋群は実走とほぼ同等であることが明らかになった。一方で、実走と比較して大腿前部の筋群と関連性が認められたことから、実走に比べて大腿前部の筋群がより動員される可能性も示唆された。自転車エルゴメーターを用いてトレーニングや体力測定を実施する際には、上記のように実走とはやや異なる性質があることも念頭に置いて行うことが必要と考えられる。

ま と め

10名の男子高校生および13名の男子大学生の自転車競技選手を対象として、①実走による200mTTの平均速度、②1000mTTの平均速度、③自転車エルゴメーターによる30秒間全力ペダリングの平均パワーという3種類のパフォーマンスに対し、下肢および体幹の筋厚が、どのような関係性を示すかを検討し、以下の知見を得た。

- 1) 200mTTのパフォーマンスに対しては、下腿後部、腹直筋、腹斜筋との間に有意な相関関係が認められた。
- 2) 1000mTTのパフォーマンスに対しては、大腿後部、下腿後部、腹直筋、腹斜筋との間に有意な相関関係が認められた。200mTTと同様の部位に関係性が認められたことに加え、大腿後部の筋厚との間にも関連性が認められた。
- 3) 30秒間全力ペダリングのパフォーマンスに対しては、大腿前部、大腿後部、下腿後部、腹直筋、腹斜筋の筋厚との間に有意な相関関係が認められた。200mTTおよび1000mTTのパフォーマンスとの間に認められなかった、大腿前部の筋厚との間にも関連性が認められた。

以上から、自転車競技場で行われる実走による200mTTおよび1000mTTの平均速度を高めるには、大腿後部、下腿後部、腹直筋、腹斜筋の筋量を高める重要性が明らかになった。また、自転車エルゴメーターでのスプリント能力に寛容する部位の共通点や相違点も明らかとなった。これまで自転車競技の研究や指導現場では大腿部の重要性は認識されてきたが、本研究の結果から、自転車トラックレース短距離種目で高いパフォーマンスを発揮するには大腿後部の筋量だけではなく、下腿や体幹の筋量にも着目することが重要と考えられた。

利益相反自己申告：申告すべきものはなし

謝 辞

本研究の実施にあたり、対象者としてご協力をいただいた、南大隅高校自転車競技部および鹿屋体育大学自転車競技部の皆様に感謝いたします。また、本研究の計測にご協力をいただきました福永裕子様には、心より御礼申し上げます。

文 献

- 1) Craig NP, Norton KI. Characteristics of track cycling. *Sports Med Open* 31: 457-468, 2001.
- 2) 太田洋一, 高嶋 渉, 池田祐介, 貴嶋孝太, 村田正洋：自転車競技（200mFTT, 250mTT, 500mTT, 1 kmTT, 4 kmTT）における記録とレース中の速度変化特性、クランク回転数変化特性およびギア比との関係、*トレーニング科学*, 23: 177-195, 2011.

- 3) 池田祐介, 高嶋 渉, 陸名英二, 村田正洋：2011年自転車世界選手権大会における男子200mおよび1000mタイムトライアルのレース分析, *トレーニング科学*, 23: 349-360, 2012.
- 4) de Koning JJ, Bobbert MF, Foster C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *J Sci Med Sport* 2: 266-277, 1999.
- 5) Corbett J. An analysis of the pacing strategies adopted by elite athletes during track cycling. *Int J Sports Physiol Perform* 4: 195-205, 2009.
- 6) Driss T, Vandewalle H, Le Chevalier JM, Monod H. Force-velocity relationship on a cycle ergometer and knee-extensor strength indices. *Can J Appl Physiol* 27: 250-262, 2002.
- 7) 池田祐介, 高嶋 渉, 谷所 慶, 前川剛輝, 西山哲成：トラック種目を専門とする一流自転車競技選手と大学自転車競技選手の体力要素の比較および大学自転車競技選手の1 kmタイムトライアルにおけるパフォーマンスと体力要素の関係, *トレーニング科学*, 21: 399-416, 2009.
- 8) Vandewalle H, Peres G, Heller J, Panel J, Monod H. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 56: 650-656, 1987.
- 9) Stone MH, Sands WA, Carlock J, Callan S, Dickie D, Daigle K, Cotton J, Smith SL, Hartman M. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J Strength Cond Res* 18: 878-884, 2004.
- 10) 石井泰光, 木村亜美, 黒川 剛, 山本正嘉：自転車競技選手におけるパワークリーンおよびスクワットの最大挙上重量と短距離走行能力との関係, *スポーツパフォーマンス研究*, 6: 175-183, 2014.
- 11) 池田祐介, 高嶋 渉, 本間俊行, 高橋英幸, 村田正洋：男女一流自転車競技選手における筋の形態的特徴と自転車エルゴメーターのパワー発揮能力との関係, *体育学研究*, 58: 539-555, 2013.
- 12) 安部 孝, 福永哲夫. 6章 超音波が描いた皮下脂肪組織と筋組織, 日本人の体脂肪と筋肉分布, 杏林書院, 東京, 91-108, 1995.
- 13) 綱分憲明, 田原靖昭, 湯川幸一, 千住秀明：高校男子自転車競技優秀選手の身体組成, 最大酸素摂取量及び最大酸素消費量, *Ann Physiol Anthropol* 12: 351-362, 1993.
- 14) Martin JC, Brown NA. Joint-specific power production and fatigue during maximal cycling. *J Biomech* 42: 474-479, 2009.
- 15) Elmer SJ, Barratt PR, Korff T, Martin JC. Joint-specific power production during submaximal and maximal cycling. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1940-1947, 2011.
- 16) Dorel S, Guilhem G, Couturier A, Hug F. Adjustment of muscle coordination during an all-out sprint cycling task. *Med Sci Sports Exerc* 44: 2154-2164, 2012.
- 17) Elmer SJ, Marshall CS, Wehmanen K, Amann M, McDaniel J, Martin DT, Martin JC. Effects of locomotor muscle fatigue on joint-specific power production during cycling. *Med Sci Sports Exerc* 44: 1504-1511, 2012.