

2008 年度 修士論文

加速局面における疾走速度と股関節の パワー発揮能力との関係

Relationships between Running Velocity during Acceleration Phase and Power Output of Hip Joint

早稲田大学大学院スポーツ科学研究科
スポーツ科学専攻 コーチング科学研究領域

5007A013-2

岡先 聖太

Okazaki, Seita

研究指導教員： 岡田 純一 准教授

加速局面における疾走速度と股関節のパワー発揮能力との関係

コーチング科学領域

5007A013-2 岡先 聖太

研究指導教員：岡田 純一 准教授

緒言

短距離走は、疾走速度が急激に増加する加速局面と最大疾走速度が出現する中間疾走局面に分けることができる。これまでの研究から、最大疾走速度と股関節パワーとの関係について多くの知見が報告されているのに対し、加速局面における疾走速度と股関節パワーの関係については明確な見解が得られていない。疾走速度が最大に到るまでには加速局面が必要であり、そこに関わる因子について着目することは走競技のパフォーマンス向上につながると考えられる。また、競技種目によっては、最大疾走速度に到るまで走ることが稀な種目もあり、加速局面における疾走速度が重要な場面も考えられる。このことから、加速局面について検証することは、走競技以外の種目においても有益な情報となり得ることが期待される。そこで本研究は、加速局面における疾走速度と股関節のパワー発揮能力との関係を明らかにすることを目的とした。

方法

(1). 被験者

走動作への習熟度がある程度均一にし、かつそれぞれ異なった走動作の特徴を持つ大学陸上部に所属する健常な男性競技者 18 名とした。(短距離 9 名、跳躍 4 名、中距離 5 名)

(2). 30m 走

加速局面として 30m 走を採用し、スタンディングスタートからの 30m 最大努力走を実施した。スタート地点およびゴール地点に光電管を設置し、30m 走における疾走タイム(Time)を測定した。同時に被験者の後方からレーザー式速度計測機(LAVEG Sport LDM-300C, JEN OPTIC 社製)を用いて疾走速度を測定し、30m 走中に出現した瞬間最大疾走速度(V_{max})を得た。

(3). 筋断面積の算出

MRI を用い、股関節伸展筋群として大腿後部の筋群(ハムストリングス+内転筋群)と股関節屈曲筋として大腰筋の横断画像を取得し筋断面積を算出した。

(4). 股関節の力発揮能力の測定

パワープロセッサ(VAIN 社製)を用いて、股関節屈曲および伸展動作におけるパワーを測定した。測定姿勢は、実際の疾走動作に近づけるため、体幹と支持脚を斜めにし、上体を固定した姿勢とした。使用する負荷は、事前に測定した股関節屈曲および伸展における等尺性最大筋力(F_{max})の 20%、25%、30%、35%、40%に相当する負荷とした。被験者は 20% F_{max} に相当する負荷からはじめ、5%ずつ負荷を漸増させ、股関節屈曲および伸展動作が完遂出来なくなるまで繰り返した。各負荷において得られたパワーの値のうち、最高値を被験者の股関節パワーとして採用した。

(5). 統計処理

得られた各測定値において、平均値および標準偏差を算出し、Time および V_{max} と各測定値の関係を、ピアソンの積率相関分析を用いて検証した。その後、全被験者における V_{max} の平均値から、上位群(G 群)および下位群(P 群)に分類し、相関関係が認められた項目について、対応のない T 検定を用い G 群と P 群における各項目の差を検定した。さらに、 V_{max} - Time 関係についての回帰直線を求め、回帰直線の下側に位置する被験者を、 V_{max} に対し、Time に優れる群(TG 群)と、 V_{max} に対し、Time に劣る群(TP 群)に分類した(図 1)。TG 群および TP 群における差の検定を、対応のない T 検定を用いて行った。いずれの検定においても、有意水準は 5%未満とした。

結果

(1). Time と筋断面積および股関節パワーとの関係

Time と筋断面積については、右大腿部断面積/体重との間にのみ有意な相関関係が認められた($P < 0.05$)。

Time と股関節パワーとの関係については、Time と股関節屈曲パワーおよび股関節伸展パワーとの間にそれぞれ有意な相関関係が認められた($P < 0.05$,

$P < 0.01$)。

(2). V_{max} と筋断面積および股関節パワーとの関係

V_{max} と右大腰筋断面積、右大腰筋断面積/体重お

よび右大腿後部断面積との間に相関関係は認められず、右大腿後部断面積/体重との間にのみ有意な相関関係が認められた($P < 0.05$)。Vmax と股関節パワーとの関係については、Vmax と股関節屈曲パワーおよび伸展パワーとの間にそれぞれ有意な相関関係が認められた(ともに $P < 0.05$)。

(3). G 群および P 群の群間比較

G 群は P 群に比べ、Time においては、有意に低く、また、他のすべての項目に関しては、G 群が P 群に比べ、有意に高値を示した。すなわち、全項目において P 群よりも G 群が優れた値であった(表 1)。

(4). TG 群と TP 群との群間比較

Time において TG 群が TP 群に比べ、有意に低い値を示した。また、股関節伸展パワーおよび股関節伸展パワー/体重において、TG 群が有意に高い値を示した。

(図 2、3)

考察

Vmax および Time とともに、股関節屈曲パワーおよび伸展パワーとの間に有意な相関関係が認められた。すなわち、股関節のパワー発揮能力が加速局面における疾走速度に影響を及ぼしていることが示唆された。

G 群と P 群を比較した結果、G 群は P 群に比べ、股関節屈曲および伸展パワーに優れ、大腰筋および大腿後部断面積についても大きかった。このことから、加速局面において高い疾走速度を得ることができる者は、股関節伸展パワーにすぐれ、かつ屈曲パワーにおいても優れていることが示唆された。すなわち、加速局面において高い疾走速度を得るためには、股関節の伸展パワーおよび屈曲パワー双方を高めることが有効であろうと考えられた。

TG 群と TP 群を比較した結果、TG 群は TP 群よりも股関節伸展パワーが有意に高値であったが、大腿後部筋断面積に有意差は見られなかった。一方、股関節屈曲パワーや大腰筋断面積において両群間に有意差は認められなかった。このように、股関節伸展動作において筋断面積が同等であるのに、出力に差があることから、筋断面積あたりの筋力に差があると考えられた。筋断面積あたりの筋力は神経系の要因が強く影響を及ぼしており、TG 群は、股関節伸展動作において、高い閾値の運動単位を動員し、筋パワーおよび収縮速度を高めていたことが考えられた。

結語

加速局面において疾走速度を得るためには、股関節屈曲パワーおよび伸展パワーともに重要であるが、より短い時間で V max に到るためには、股関節伸展パワーが特に関与していることが示唆された。

表 3 G 群と P 群における群間比較

測定項目	G群	P群
	平均値 ± 標準偏差	平均値 ± 標準偏差
Time (sec)	4.06 ± 0.08**	4.25 ± 0.06
Vmax (m/s)	9.59 ± 0.18**	9.08 ± 0.14
右大腰筋断面積 (cm ²)	23.2 ± 2.7**	19.2 ± 2.5
右大腰筋断面積/体重 (cm ² /kg)	0.36 ± 0.04**	0.3 ± 0.04
右大腿後部断面積 (cm ²)	96.4 ± 8.46*	86.64 ± 10.2
右大腿後部断面積/体重 (cm ² /kg)	1.50 ± 0.07**	1.32 ± 0.12
股関節屈曲パワー (W)	1236 ± 289**	892 ± 140
股関節伸展パワー (W)	1187 ± 242*	945 ± 213
股関節屈曲パワー/体重 (W/kg)	19.2 ± 3.73**	13.7 ± 2.4
股関節伸展パワー/体重 (W/kg)	18.5 ± 3.5**	14.5 ± 3.4

** $P < 0.01$ * $P < 0.05$

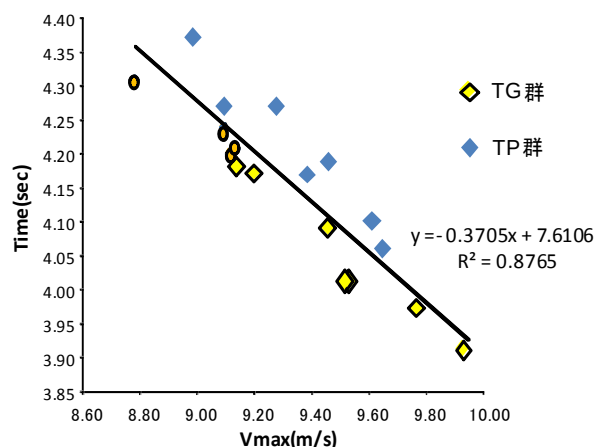


図 1 TG 群および TP 群

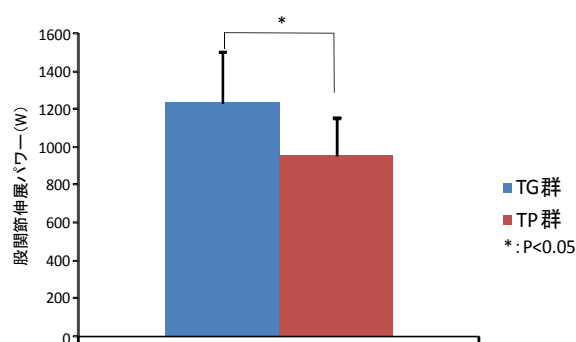


図 2 TG 群と TP 群における股関節パワー

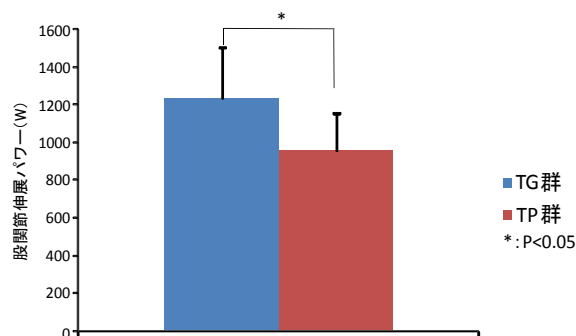


図 3 TG 群と TP 群における股関節パワー/体重

目次

1. 緒言	1
1-1. 序論	1
1-2. 研究小史	2
(1) 短距離走における局面の分類	2
(2) 最大疾走速度と下肢関節筋力との関係	3
(3) 加速局面における疾走速度と下肢筋力との関係	4
1-3. 本研究の目的	5
2. 方法	6
2-1. 被験者	6
2-2. 測定項目	6
(1)30m 走	6
(2)MRI および筋断面積の測定	7
(3)股関節のパワー発揮能力	8
2-3. 統計処理	10
3. 結果	12
3-1. Time と筋断面積および股関節パワーとの関係	12
3-2. Vmax と筋断面積および股関節パワーとの関係	12
3-3. Vmax の平均値による群間比較	13
3-4. TG 群と TP 群との群間比較	13
4. 考察	14
5. 結語	19
6. 参考文献	20
謝辞	25
表	26
図	30

1.緒言

1 - 1.序論

短距離走は、疾走速度が急激に増加する加速局面、疾走速度を維持する中間疾走の局面、および疾走速度が減少する局面に分けることができる^{7),10),14),22)}。加速局面は、走競技のみならず他の競技においてもみられる局面であり、スポーツ競技においてパフォーマンスを決定付ける要因となっている。最も高い疾走速度は中間疾走において出現するが、この最大疾走速度がこれまでの先行研究において疾走能力の指標とされてきた。最大疾走速度を決定する生理学的な要因として、筋線維組成、除脂肪体重、最大無酸素パワー、下肢関節における筋力などが報告されている^{2),4),12),13),17),21),23),24)}。特に下肢関節の筋力については、等速性膝伸展および屈曲筋力、股関節の屈曲および伸展筋力と短距離走における疾走速度との間に有意な相関関係が報告されている^{30),31)}。また、疾走速度と股関節筋力との関係については、これまでバイオメカニクスの研究から様々な知見が報告されている。例えば、疾走動作において下肢関節全体の仕事量のうち、その60%以上が股関節によるものであり、股関節の屈曲および伸展パワーが疾走速度を高めるうえで重要であると報告している⁵⁾。これらバイオメカニクスの研究結果から、高い疾走速度の獲得には股関節のパワー発揮能力が深く関わっていることが示されている。その股関節の筋力発揮を担う大腰筋、ハムストリングス、内転筋群と最大疾走速度との間には有意な関係を認めており^{8),18),19),20)}、これらの筋断面積が大きい者ほど、高い疾走速度を記録している。したがって、高い疾走速度を獲得するためには、股関節における筋力およびパワー発揮能力が重要である。

伊藤ら¹⁵⁾は陸上競技選手のスタートダッシュにおいて、スタート後3歩目から下肢の関節トルクの発揮パターンは中間疾走の発揮パターンに近づき、股関節屈曲パワーが増大すると報告している。また、短距離選手だけでなく、間欠的なダッシュを繰り返す球技の選手においても、股関節屈曲の主働筋である大腰筋が他のスポーツ選手に比べ大きく発達している⁸⁾。しかしながら、実際に加速局面における疾走速度とそれに関わる筋力や発揮されるパワーを測定し、その関連について検証した報告はない。そこで本研究は、股関節のパワー発揮能力と加速局面における疾走速度との関係を明らかにすることを目的とした。

1 - 2. 研究小史

(1). 短距離走における局面の分類

短距離走における疾走速度の変化は、光電管やビデオ分析によって測定されてきた^{7), 10), 12), 14), 22)}。一般に、その疾走速度はスタートから増加し続け、30m～40mの区間で最大に近い速度に達するが、その後も緩やかに増加し、50m～60mの区間において最も高い疾走速度が出現することが示されている¹⁴⁾。さらに、世界および日本の一流短距離選手を対象とした報告においても、50～60mの区間で最も多くの選手が最大疾走速度を獲得している。最大疾走速度に到るまでの疾走速度の変化をみると、スタート後急激に疾走速度は増加し、その後緩やかに最大疾走速度へ到ることが報告されていることから^{14), 22)}、短距離走は急激に疾走速度が増加する加速局面と、最も高い疾走速度が出現する中間疾走局面に分類されている^{14), 16), 22)}。

(2).最大疾走速度と下肢関節筋力との関係

これまで最大疾走速度と下肢筋力との関係について、バイオメカニクス的研究から詳細に検討されている。これらの報告によると、最大疾走速度と脚全体の後方スイング速度には有意な相関関係があり、その主働筋である股関節伸展筋群の重要性を示している。また、股関節伸展速度を効率よく脚全体の後方スイング速度へと変換するには、接地中の膝関節や足関節の角変位を小さくすることが有効であることが示されている¹⁾。股関節屈曲筋群は疾走時の支持期後半に大腿を引きつけ、体幹の後傾を防ぐためエキセントリックな筋力発揮を行い、回復期前半では大腿を引きつけるためコンセントリックな筋力発揮を行うこと、股関節伸展筋群の主な働きは、支持期前半では推進力を増大させ、回復期後半で接地に先立ち、大腿を後方へ回転させるようなコンセントリックな筋力発揮であると考えられている¹⁾。このことから、腰まわりの筋群や膝関節屈曲筋群の伸張性収縮によるトレーニングの必要性を示唆している。一方で、下肢筋群の筋力および最大疾走速度との関係から、等速性条件下における膝関節伸展、屈曲筋力と疾走速度との間に有意な相関関係を認めた報告や^{5),32)}、最大疾走速度と股関節伸展、屈曲筋力との間に有意な相関関係を認めた報告がある^{28),30)}。また、筋の量的な要素が筋力発揮に大きく影響することが、疾走動作に関わる下肢筋群の筋断面積や筋体積と、最大疾走速度との関係から検証されている。それらによると股関節屈曲動作の主働筋である大腰筋、股関節伸展動作の主働筋であるハムストリングス、および股関節伸展、屈曲動作双方に関与する内転筋群の筋断面積が大きいほど、最大疾走速度に優れていることが明らかになっている^{8),18),19),20),28)}。すなわち、最大疾走速度の大きさには、下肢関節の筋

力が影響していることが考えられる。

(3).加速局面における疾走速度と下肢筋力との関係

馬場ら³⁾は加速局面とされるスタート後 1、3、5、9、13、19 歩目の下肢関節トルクを測定した結果、歩数を重ねるごとに疾走速度は増加し、疾走速度の増加に伴って、回復期前半における股関節屈曲トルクおよび膝関節伸展トルク、回復期後半における股関節伸展トルクおよび膝関節屈曲トルクが増加したと報告している。このうちの股関節トルクの増加は、スタート後に大腿の引き上げや振り戻しが徐々に大きくなることへの対応であると考えられている³⁾。膝関節の伸展トルクの増加は、回復期前半における膝関節屈曲を抑制して回復脚を素早く引き出すことに、また回復期後半の膝関節屈曲トルクは下腿の過度な振り出しを防ぎ、下腿および脚を振り戻すのに役立つと考えられている³⁾。足関節について支持期伸展トルクにだけ増加が認められたが、これは増加する支持期の衝撃力に対して身体を支持し、また、支持時間が減少してくることへの適応と考えられている³⁾。一方で、支持期の股関節伸展トルクは、疾走速度の大きさに関わらず膝関節よりも大きな値を示しており、加速局面における股関節伸展トルクは中間疾走と同様であったと報告している^{1),3)}。すなわち短距離疾走において、より高い疾走速度を獲得には支持期の股関節伸展筋群の働きが重要であると考えられている^{1),3),5)}。これらのことから、加速局面の疾走速度には、下肢筋力が影響し、特に股関節筋力が疾走速度を獲得する役割を担っていると考えられる。

1 - 3.本研究の目的

最大疾走速度と股関節筋力、股関節トルクおよび股関節パワーとの関係については多くの知見が報告されているのに対し、加速局面における疾走速度について、股関節のパワー発揮能力を測定し、検証した報告はない。走りはじめてから、疾走速度が最大に到るまでには加速局面が必要であり、そこに関わる因子について着目することは走競技のパフォーマンス向上につながると考えられる。また、競技種目によっては、最大疾走速度に到るまで走ることが稀な種目もあり、加速局面における疾走速度が重要な場合も考えられることから、加速局面について検証することは、走競技以外の種目においても有益な情報となり得ることが期待される。そこで本研究は、加速局面における疾走速度と股関節のパワー発揮能力との関係を明らかにすることを目的とした。

2.方法

2 - 1.被験者

被験者は走動作への習熟度をある程度均一にし、かつそれぞれ異なった走動作の特徴を持つ大学陸上部に所属する健常な男性競技者 18 名とした。その内訳は、100m、200m、110m 障害を専門としている被験者が 7 名、400m を専門としている被験者が 2 名、走り幅跳び、三段跳びを専門としている被験者が 4 名、800m、1500m を専門としている被験者が 5 名であった。本研究に参加した全被験者の年齢、身長、体重の平均値±標準偏差はそれぞれ、 20.5 ± 1.5 歳、 174.4 ± 5.9 cm、 63.6 ± 5.9 kg であった。

全ての被験者に対し、本研究の主旨、内容および危険性について説明し、研究参加の同意を得た。

2 - 2.測定項目

(1).30m 走の測定(図 1)

被験者は屋外の全天候型陸上競技場において、十分なウォーミングアップの後、フラットシューズ(スパイクピン等のない、通常の運動靴)を着用し、スタンディングスタートからの 30m 最大努力走を行った。スタートのタイミングは走者の任意とし、スタート地点および 30m 地点にそれぞれ設置された光電管を走者の体幹部が通過することで、30m 走における疾走タイム(Time)を計測した。また、スタート地点から 10m 後方に三脚で固定されたレーザー式速度計測機(LAVEG Sport LDM-300C, JEN OPTIC 社製)を用いて、サンプリング周波数 100Hz で疾走中における走者の変位を測定した。得られた変位データは時間で微分し、走速度(V)を求め、2 次の Butter worth

low pass filter (遮断周波数 1Hz)を用い、高周波成分を除去した。その後、30m 走において出現した瞬間最大疾走速度(V_{max})をそれぞれ求めた。

(2).MRI による筋断面積の測定

筋断面積の算出は、1.5T の MR 装置(Signa, GE 社製)を用い、磁気共鳴画像法(MRI)により得られた画像から行った。被験筋は、股関節屈曲筋として大腰筋、股関節伸展筋群として、薄筋を除く大腿後部の筋群(ハムストリングス+内転筋群)とした。

(2)-1 腰部の撮影

被験者は MR 装置に設置されているベッド上に仰臥位になり、体の動きを抑えるためにベッドに取り付けられたベルトで固定された。その際、験者はベルトによって被験者の腹部を圧迫しないよう注意した。

被験者の脊椎が撮像されるように体幹部の矢状面および前額面画像(図 2 左、右)を取得した後、大腰筋の断面積がほぼ最大となる²³⁾第 4 腰椎と第 5 腰椎の中央部水平横断面において、厚さ 10mm の T1 強調画像(スピンエコー法、繰り返し時間 500m 秒、エコータイム 13m 秒、FOV48cm×48cm、マトリクス 512×512 ピクセル、NEX1.0)を取得した(図 3)。また撮像の際、呼吸によって生じる腹部の動きを抑えるため、被験者に呼吸を止めるよう指示を与えた。

(2)-2 大腿部の撮像

大腿前部および後部の筋断面積の算出には大腰筋と同様に MRI を用いて得られた画像から行った。右大腿部を被験側とし、被験者は撮

像の際に、ベッド上に仰臥位になり、膝関節を完全に伸展させた。その際、験者は被験者の大腿部がベッドに付かないように注意した。はじめに下半身の矢状断面画像を撮像し、右足の大転子最上端部および大腿骨下端を決定した。大転子最上端を 100%、脛骨頭を 0%とし、大転子最上端から 5%毎の横断画像を得た。分析対象画像は 50%部位の横断画像とした。

(2)-3 筋断面積算出

取得した分析対象画像をコンピューターに取り込み、画像解析ソフト (Osiris4 ,Geneva University Hospital 社製)を用いて、筋断面積を算出した。一人の被験者につき各部位ごと 3 回ずつトレースを行い、その平均値を採用した。尚、トレースは同一の検者が行い、3 つの評価値の変動係数は 3%以下であった。なお、この検者は、事前に 50 例の再現性テストを行い、筋断面積の評価において、3%以下の変動係数であった。

(3).股関節のパワー発揮能力の測定

(3)-1 測定装置

等張力性負荷装置(パワープロセッサー VAIN 社製)を用いて測定した。この装置は測定装置本体からワイヤーを引き出す形になっており、軸の回転パルス検出装置、ワイヤーの負荷装置およびワイヤーを軸に巻き取るための小型モーターから構成されている。巻き付けてあるワイヤーの牽引速度は、軸に取り付けたロータリーエンコーダーから 1/500 回転ごとに出力されるパルス間隔より求めた。一方、ワイヤーの張力は、引張り用ロードセルによって直接測定され、A/D 変換機

を介して 500Hz でコンピューターに取り込まれた。軸の回転時間はワイヤーが牽引される方向の線速度に演算処理され、時間軸に対する速度曲線を求めた。さらに力曲線と速度曲線を 5msec 毎に乘じパワー曲線をもとめ、パワー曲線の極大値をピークパワーとした。(図 5)。

(3)-2 動作規定

支持脚と遊脚の交叉動作である疾走動作に特異的なパワーを測定するため、図 6 に示した姿勢から、股関節の屈曲である大腿の振り上げ動作(Thigh pull up : TPU、図 6 上)および股関節の伸展動作である大腿の振り下ろし動作(Thigh pull down : TPD、図 6 下)を実施した。すなわち、被験者は体幹と支持脚を斜めにし、両腕で鉄性のフレームを掴み、上体を固定した姿勢で、TPU および TPD 動作を最大努力で行った。

(3)-3 測定手順

実験に先立ち、被験者の膝にベルトを介してパワープロセッサー本体から伸びているワイヤーを取り付け、TPU および TPD における等尺性最大筋力を測定した。その際の股関節角度は、事前に被験者の右肩峰、右大転子、右膝関節中心に取り付けたマーカーによって規定した。TPU においては股関節 180° 伸展位、TPD においては、大転子から膝関節中心を結んだ線が地面と水平となる角度とした。

得られた等尺性最大筋力(Force max : F max)を 100%とし、この装置の電圧－張力関係から、20%、25%、30%、35%、40%Fmax に相当する電圧をそれぞれ決定し、TPU および TPD 動作によって、ワイヤー引き出すことで股関節において発揮されたパワーを測定した。動作

を開始する関節角度は、TPU 動作においては、股関節 180° 伸展位、TPD 動作においては、大転子から膝関節中心を結んだ線が地面と水平となる股関節角度に設定した。被験者は 20%F_{max} に相当する負荷からはじめ、5%ずつ負荷を漸増させ、TPU 動作および TPD 動作が完遂出来なくなるまで繰り返した。

測定の際、被験者には、支持脚の踵をヒールベース(UESAKA)から離さず、両腕を伸ばし、上体を動かさないよう指示を与えた。各電圧 2 回ずつ測定し、試行中に被験者の上体が動く、支持脚がヒールベースから離れるといった動作が確認された場合、また、1 回目と 2 回目のパワーの差が 100W 以上認められた場合は再試行とした。

各電圧において得られたパワーの値のうち、最高値を被験者の股関節パワーとして採用した。

2 - 3.統計処理

各筋断面積および各股関節パワーについては、絶対値および被験者の体重当たりで評価した。得られた各測定値において、平均値および標準偏差を算出し、30m 走における疾走タイム(Time)および瞬間最大疾走速度(V_{max})と各測定値の関係を、ピアソンの積率相関分析を行い、検証した。その後、全被験者における V_{max} の平均値から、被験者を上位 9 名(Good 群 : G 群)および下位 9 名(Poor 群 : P 群)に分類し、高い V_{max} を獲得する要因について検証するため相関関係が認められた項目について、対応のない T 検定を用い両群間における各項目の差を検定した。

さらに、本研究では、各被験者における、V_{max} の値に対する Time の値に着目し、最小二乗法を用いて、V_{max} - Time 関係についての回

帰直線を求めた。その後、回帰直線の下側に位置する被験者を、Vmax に対し、Time に優れる群(Time Good 群：TG 群)と、Vmax に対し、Time に劣る群(Time Poor 群：TP 群)に分類した(図 7)。この処理によって、被験者を Vmax のみならず、Time についても考慮し、加速の様式についても言及できると考えられる。TG 群および TP 群における差の検定を、対応のない T 検定を用いて行った。尚、いずれの検定においても、有意水準は 5%未満とした。

3.結果

3 - 1.Time と筋断面積および股関節パワーとの関係

表 1 に Time と筋断面積および股関節パワーとの関係を示した。
Time と右大腰筋断面積、右大腰筋断面積 / 体重、および右大腿部断面積との間に相関関係は認められず、右大腿部断面積 / 体重との間にのみ有意な相関関係が認められた。(r=-0.535, P<0.05)

Time と股関節パワーとの関係については、Time と股関節屈曲パワーおよび股関節屈曲パワー / 体重、股関節伸展パワーおよび股関節伸展パワー / 体重との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。
(r=-0.558, P<0.05., r=-0.607., P<0.01., r=-0.639, P<0.01., r=-0.678, P<0.01)

3 - 2.Vmax と筋断面積および股関節パワーとの関係

表 2 に Vmax と筋断面積および股関節パワーとの関係を示した。
Vmax と右大腰筋断面積、右大腰筋断面積 / 体重および右大腿後部断面積との間に相関関係は認められず、右大腿後部断面積 / 体重との間にのみ有意な相関関係が認められた。(r=0.52, P<0.05)

Vmax と股関節パワーとの関係については、Vmax と股関節屈曲パワー、股関節屈曲パワー / 体重、股関節伸展パワーおよび股関節伸展パワー / 体重との間に、それぞれ有意な相関関係が認められた。
(r=0.484, P<0.05., r=0.516, P<0.05., r=0.585, P<0.05., r=0.607, P < 0.01)

3 - 3.Vmax の平均値による群間比較

全被験者における Vmax の平均値から、被験者を上位 9 名 (Good 群 : G 群) および下位 9 名 (Poor 群 : P 群) に分類し V max の平均値から G 群および P 群に分類した。本研究において得られた V max の平均値は 9.34m/s であり、各群における身長および体重の平均値 ± 標準偏差はそれぞれ G 群 : $172 \pm 3.81\text{cm}$ 、 $64.11 \pm 4.37\text{kg}$ P 群 : $176.78 \pm 6.74\text{cm}$ 、 $65.44 \pm 4.72\text{kg}$ であった。表 3 および図 8~15 に G 群と P 群の群間比較の結果を示した。Time において、G 群が P 群に比べ、有意に低かった。(P<0.01) 他の項目に関しても、G 群が P 群に比べ、有意に高い値を示した。

3 - 4.TG 群と TP 群との群間比較

各被験者における、Vmax の値に対する Time の値に着目し、最小二乗法を用いて、Vmax-Time 関係についての回帰直線を求め、その後、回帰直線の下に位置する被験者を、Vmax に対し、Time に優れる群 (Time Good 群 : TG 群) と、Vmax に対し、Time に劣る群 (Time Poor 群 : TP 群) に分類した。各群における身長および体重の平均値 ± 標準偏差は TG 群 : $173.0 \pm 5.66\text{cm}$ 、 $64.71 \pm 4.39\text{kg}$ 、TP 群 : $175.43 \pm 6.95\text{kg}$ 、 $66.14 \pm 4.78\text{kg}$ であった。

表 4 に TG 群と TP 群の群間比較の結果を示した。Time において TG 群が TP 群に比べ、有意に低い値を示した (P<0.05)。また、股関節伸展パワーおよび股関節伸展パワー / 体重において、TG 群が有意に高い値を示した (P<0.05, P<0.05)。

4. 考察

本研究の目的は、加速局面における疾走速度と、股関節のパワー発揮能力との関係を検証することであった。一流短距離選手においては、疾走速度はスタートから増加し続け、30m～40mの区間で最大に近い速度に達するが、その後も緩やかに増加し、50m～60mの区間において最大疾走速度に達することが示されている^{7),10),14),22)}。また、伊藤ら¹⁵⁾は短距離選手では30mを過ぎた地点において、最大疾走速度が観察されると述べており、多くの先行研究において、スタートから30mまでの区間では最大疾走速度は出現しないことが示されている。本研究において出現した疾走速度は、すべての被験者において30m以前に、疾走速度の減少を認めておらず、Vmaxと同等の速度であったため、さらに高い疾走速度を得るための加速の局面であったと推察される。このことから、本研究における被験者は30m以降さらにVmax以上の疾走速度を獲得することが予想される。したがって本研究において得られたTimeとVmaxは、加速局面における疾走タイムと疾走速度をそれぞれ表していると考えられた。

股関節伸展筋力と最大疾走速度との関係を検証した報告によると、男子スプリンターの最大疾走速度と、股関節伸展筋力との間には有意な相関関係があることが報告されている^{5),30)}。股関節伸展筋群は、疾走時の支持期において身体を前方へ加速させ、回復期後半において接地に先立ち、大腿を後方へ回転させるようなコンセントリックな筋力発揮を行うことが示されており、股関節伸展筋群の筋力発揮が、最大疾走速度を高めるうえで重要なことが報告されている。スタートから中間疾走までの加速局面においては、支持期において股関節伸展トルクが、常に大きな値を示しており、最大疾走速度が出現する中間疾走

の局面と同様な値であることが報告されている^{3),15)}。本研究においても **Vmax** および **Time** とともに、股関節伸展パワーおよびその体重比と、大腿後部断面積およびその体重比との間に有意な相関関係が認められた。股関節伸展筋力が高い疾走速度を獲得する上で、疾走距離に関係なく関与していることは先行研究において示されており^{15),16)}、加速局面に限定した本研究の結果もそれを支持するものである。また、筋断面積において、ハムストリングスおよび内転筋群の筋断面積の大きさと疾走速度との間には有意な相関関係がある^{19),29)}。加速局面に限定した本研究においても、ハムストリングスおよび内転筋群を合わせた大腿後部断面積と疾走速度との間に有意な相関関係が認められた。スタートダッシュにおける筋活動を検証した伊藤らは¹⁵⁾、スイング期後半において股関節伸展筋群である大殿筋およびハムストリングスに強い筋放電が観察され、両者が共同的に股関節伸展トルクを発揮していたと報告している。すなわち、本研究において、認められた **Vmax** および **Time** と、股関節伸展パワーおよびその体重比、大腿後部断面積との間の有意な相関関係は、加速局面における疾走速度に股関節伸展パワーが影響を及ぼしていることを示唆していよう。

Vmax および **Time** と股関節屈曲パワーとの間に有意な相関関係が認められたが、股関節屈曲動作の主働筋である大腰筋断面積およびその体重比との間には、有意な相関関係は認められなかった。股関節屈曲動作においては、大腰筋のほかに、内転筋群も補助的に関与することが示され、この他に股関節屈曲に関わる筋として、大腿直筋の関与も考えられる。大腿直筋は、下前腸骨棘から膝蓋靭帯を通して脛骨粗面に付着している^{24),29)}。大腿直筋は、疾走中スイング期前半における大腿の引き上げ動作に関連する股関節屈曲トルクの局面において、筋活

動が認められており^{24),29)}股関節屈曲に共同的に働くと示されている。これらのことから、本研究において股関節屈曲動作に内転筋群および大腿直筋が関与し Vmax および Time と股関節屈曲パワーとの間に有意な相関関係が認められたにも関わらず、その主働筋である大腰筋断面積と有意な関係になかった可能性が考えられた。

本研究において、加速局面における疾走速度と股関節パワーとの間に有意な関係が示唆されたが、高い Vmax を獲得する要因について検証するため、さらに被験者を Vmax の平均値から上位群(Good 群 : G 群)と下位群(Poor 群 : P 群)とに分類し、両群間における差異を検討した。その結果、G 群は P 群に比べ、股関節屈曲および伸展パワーに優れ、大腰筋および大腿後部断面積についても大きかった。股関節伸展パワーは加速局面において重要な役割を担うと考えられるが^{1),7),15),16)}、股関節屈曲パワーは加速局面よりもむしろ速度を維持する中間疾走の局面において重要であるとされている^{1),7),15)}。しかし、伊藤ら⁷⁾、馬場ら³⁾は、スタートダッシュにおける下肢関節のトルクおよび関節パワーの発揮パターンを検証した研究において、加速の初期段階であるスタート後 3 歩目から、股関節の屈曲トルクおよびパワーが増大し、下肢関節のトルクおよびパワーの発揮パターンは、中間疾走時の発揮パターンに近づくことを示している。この他に、股関節伸展パワーが大きいほど、後方にスイングされた脚を前方へ切り返す股関節屈曲パワーが大きくなるとの報告もある^{1),29)}。以上のことから、加速局面において高い疾走速度を得ることができる者は、股関節伸展パワーにすぐれ、かつ屈曲パワーにおいても優れていることが示唆された。すなわち、加速局面において高い疾走速度を得るためには、股関節の伸展パワーおよび屈曲パワー双方を高めることが有効である

うと考えられた。

本研究において出現した **Vmax** と **Time** に着目すると、**Vmax** が同程度であっても、**Time** において差が生じている場合が認められた。このことは、**30m** という加速局面に限定した距離でも、被験者によって疾走速度獲得の様式が異なることを示している。すなわち、**Vmax** に対し、**Time** に優れる者は、早い段階で **Vmax** を獲得していると考えられる。一方、**Vmax** に対し、**Time** に劣る者は、より **Vmax** を獲得するまでに時間を要していることを意味する。そこで、**Vmax- Time** 関係に基づいて、回帰直線の下に分布する **Vmax** の獲得が早い群(**TG** 群)と、回帰直線の上に位置する **Vmax** の獲得が遅い群(**TP** 群)に被験者を分類した。その結果、**TG** 群は股関節伸展パワーだけが **TP** 群より有意に大きく、股関節屈曲パワーや筋断面積において有意差は認められなかった。短距離選手においては、他の競技選手に比べ、大腿部の特異的な発達が認められており^{18),19)}、その中でも疾走速度に優れる者ほど、股関節伸展に関わる筋群が発達していることが明らかにされている^{17),18),19)}。しかし本研究においては、股関節伸展に関わる筋群である大腿後部断面積において、**TG** 群と **TP** 群との間に有意差は認められなかった。このように、筋断面積が同等であるのに、出力に差があるということから筋断面積あたりの筋力に差があると考えられる。筋力は筋断面積に比例するが^{10),11)}、筋断面積あたりの筋力には、筋線維組成および発火頻度や運動単位の動員などの神経系の要因が強く影響を及ぼしており^{25),26),27)}、大きな筋力を発揮する際には、高閾値の運動単位が動員されることが示されている^{25),26),27)}。高いスピードやパワーを発揮する場合には、運動単位の動員順序に従わず、初めから高閾値の運動単位を動員し、筋の収縮速度および筋パワーを高

めている可能性が考えられている²⁷⁾。これらのことから考えると、TG 群が TP 群よりも股関節伸展パワーに優れているにも関わらず筋断面積は同等であった要因として、TG 群は、股関節伸展動作において、高い閾値の運動単位を動員し、筋パワーおよび収縮速度を高めていたため、筋断面積あたりの筋力に優れていたことが推察される。多くの運動単位を動員し、かつ股関節の伸展動作が重要なトレーニング種目であるパワークリーンやスナッチといったクイックリフトトレーニングを実施した研究において、最大疾走速度よりも 10m 通過時における疾走速度の増加がみとめられており^{9),29)}、股関節伸展パワーを高めることが、Vmax を短時間で獲得させるために有効であることが考えられる。

以上のことから、加速局面において疾走速度を得るためには、股関節屈曲パワーおよび伸展パワーともに重要であるが、より短い時間で Vmax に到るためには、股関節伸展パワーが特に関与していることが示唆された。

5.結語

加速局面における疾走速度と股関節屈曲および伸展パワーとの間に有意な相関関係がみとめられた。また、加速局面において早い段階で V_{max} に到るためには、股関節伸展パワーが特に関与していることが示唆された。

6.参考文献

- 1) 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要 9 : 229-239.
- 2) 麻場一徳・勝田 茂・高松 薫・宮下 憲(1990) スプリンターの疾走能力と外側広筋の筋繊維組成および筋毛細血管分布との関係.体育学研究 35 : 253-260.
- 3) 馬場崇豪・和田幸洋・伊藤 章(2000) 短距離走の筋活動様式. 体育学研究 45 : 186-200.
- 4) Costill, D.L., Daniels, J., Evans, W., Frink, W., Krahenbuhl, G., and Saltin, B.(1976) Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. J. Appl. Physiol. 40 : 149-154.
- 5) 深代千之・若山章信・原田康弘(1991) トップアスリートの体力とパフォーマンス ―陸上・短距離選手について―.体育の科学 41 : 262-268.
- 6) Fukashiro, S.(1988) Moment of force and mechanical power in joints during leg extension. In : Biomechanics XI-B : G. D. Groot. Free Univ. Press, Amsterdam. Pp. 938-942.
- 7) 羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久(2003) 100m走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化.J.jp. J. Sports, Biomech. Exerc.7 : (3),193-205.
- 8) 星川佳広・飯田朝美・村松正隆・内山亜希子・中嶋由晴(2006) 高校生の競技種目別の大腰筋断面積.体力科学 55 : 217-228.

- 9) Hori, N., Newton, R.U.,K. and Stone, M.H.(2005) Weightlifting exercise enhance athletic performance that requires high-load speed strength. Strength Cond.J.27 : No.4,50-55.
- 10) 猪飼道夫・芝山秀太郎・石井喜八(1963) 疾走能力の分析 ―短距離走のキネシオロジー―.体育学研究 7(3) : 59－70.
- 11) Ikai, M., Fukunaga, T.(1968) Calcilation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurements. Int. Z. Angew. Physiol. 26 : 26-32.
- 12) 生田香明・中塘二三生・根木哲朗・播本定彦(1980) スプリンターのパワー発現.体育学研究 29 : 143－151.
- 13) 生田香明・根木哲朗・栗本嵩志・播本定彦(1980) 敏捷性・筋力・パワーからみた短距離疾走能力.体育学研究 26 : 111－117.
- 14) 伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・加藤謙一(1992) ルイス, バレルと日本トップ選手のキックフォーム.Jpn. J. Sports Sci. 11 : 604－608.
- 15) 伊藤 章・斉藤昌久・淵本隆史(1997) スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー,および筋放電パターンの変化.体育学研究 42 : 71－83.
- 16) 伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道(1998) 100m の中間疾走局面における疾走動作と速度との関係.体育学研究 43 : 260-273.

- 17) 加百俊郎・山本正嘉・金久博昭(1989) 各種パワーテストの成績と 100m タイムとの関係. 競技力向上のスポーツ科学 I, 朝倉書店, 東京, pp.225-229.
- 18) 勝田 茂・久野譜也・坂井悠二(1993) MRI による一流アスリートの大腿部筋組成. 筑波大学体育科学系紀要 16 : 107-119.
- 19) 狩野 豊・高橋英幸・森丘保典・秋間 広・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂(1997) スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係 体育学研究 41 : 352-359.
- 20) 久野譜也・金 俊東・衣笠竜太(2001) 体幹深部筋である大腰筋と疾走能力との関係. 体育の科学 51 : (6), 412-413.
- 21) Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J. T., and Komi, P.V. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristic, force production and relaxation of sprinters. Scand. J. Sports Sci. 3 : 16-22.
- 22) 宮下 憲 世界トップスプリンターの疾走分析(1992) バイオメカニクス学会誌 Vol.16, No.2.
- 23) Meckel, Y., Atterbom, H., Grodjinovky, A., Bensira, D., and Rotstein, A.(1995) Physiological characteristics of female 100 metre sprinters of different performance level. J. Sports Med. Phys. Fitness 35 : 169-175.
- 24) Marras, W. S., Jorgensen, M. J., Granata, K. P. & Wiand, B., (2001) Female and male trunk geometry : size and prediction of the spine loading trunk muscle derived from MRI. Clin. Biomech. 16 : 38-46.

- 25) Newton, R.U., W.J. Kraemer, K., Hakkinen, B.J., Humphries, and A.J. Murphy.(1996) Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements: Implications for power development. J. Appl. Biomech. 12(1) : 31-43.
- 26) Sale, D. G.(1986) Neural adaptation in strength and power training. In; Human Muscle Power, N.L. Jones, N. McCartney, and A.J. MacComas, eds. Champaign, IL : Human Kinetics. Pp. 289-307.
- 27) Sale, D. G.(1987) Influence of exercise and training on motor unit activation. Exerc. Sports. Sci. Rev. 15 : 95-151.
- 28) 田川武弘(1993) 陸上競技選手の下肢筋力特性とその評価基準. 第 44 回日本体育学会大会号.
- 29) Tricoli, V., Lamas L., Carnevale R., Ugrinowitsch C.(2005) Short-term effect on lower-body functional power development : Weightlifting vs. Vertical jump training programs. J. Strength Cond. Res.19(2) : 433-437.
- 30) 渡邊信晃・榎本好孝・狩野 豊・安井年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂(1999) スプリンターの筋横断面積と疾走速度との関係における性差.陸上競技研究 39 : 12－19.
- 31) 渡邊信晃・榎本靖士・大山卞圭悟・宮下 憲 尾縣 貢・勝田茂(2003) スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係 体育学研究 48 : 405－419.

- 32) 山本利春・山本正嘉・金久博昭(1992) 陸上競技における一流
および二流選手の下肢筋出力の比較 —100m 走・走り幅跳び・
三段跳び選手を対象として—. Jpn. J. Sports. Sci. 11 : 72-76.

謝 辞

私の修士論文作成にあたり主査である岡田純一准教授には終始懇切丁寧なご指導を賜り厚く御礼申し上げます。副査である磯繁雄教授、土屋純准教授をはじめコーチング科学領域の先生方には多大なるご指導を賜りこの場を借りて厚く御礼申し上げます。早稲田大学スポーツ科学部助手の杉崎範英先生、岡田研究室の飯島康平氏には論文作成に関するアドバイスを頂き、実験にも協力して頂きましたことを厚く御礼申し上げます。また、本研究に被験者として協力して頂きました早稲田大学競走部の皆様にも感謝いたします。

終わりにになりましたが、皆様の御健康とさらなる発展を心よりお祈りしております。

2009 年 1 月 15 日

岡先聖太

表

表 1 Time と筋断面積および股関節パワーとの関係

	右大腰筋断面積	右大腰筋断面積 / 体重	右大腿後部断面積	右大腿後部断面積 / 体重
Time	n.s	n.s	n.s	-0.535 *
	股関節屈曲パワー	股関節屈曲パワー / 体重	股関節伸展パワー	股関節伸展パワー / 体重
Time	-0.558 *	-0.607 **	-0.639 *	-0.678 *

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$, n.s : no significant

表 2 Vmax と筋断面積および股関節パワーとの関係

	右大腰筋断面積	右大腰筋断面積 / 体重	右大腿後部断面積	右大腿後部断面積 / 体重
V max	n.s	n.s	n.s	0.52 [*]
	股関節屈曲パワー	股関節屈曲パワー / 体重	股関節伸展パワー	股関節伸展パワー / 体重
V max	0.484 [*]	0.516 [*]	0.586 [*]	0.607 ^{**}

* : P<0.05, ** : P<0.01, n.s : no significant

表 3 G 群と P 群における群間比較

測定項目	G群			P群		
	平均値	±	標準偏差	平均値	±	標準偏差
Time (sec)	4.06	±	0.08**	4.25	±	0.06
Vmax (m/s)	9.59	±	0.18**	9.08	±	0.14
右大腰筋断面積 (cm ²)	23.2	±	2.7**	19.2	±	2.5
右大腰筋断面積/体重 (cm ² /kg)	0.36	±	0.04**	0.3	±	0.04
右大腿後部断面積 (cm ²)	96.4	±	8.46*	86.64	±	10.2
右大腿後部断面積/体重 (cm ² /kg)	1.50	±	0.07**	1.32	±	0.12
股関節屈曲パワー (W)	1236	±	289**	892	±	140
股関節伸展パワー (W)	1187	±	242*	945	±	213
股関節屈曲パワー/体重 (W/kg)	19.2	±	3.73**	13.7	±	2.4
股関節伸展パワー/体重 (W/kg)	18.5	±	3.5**	14.5	±	3.4
			**:P<0.01		*:P<0.05	

表 4 TG 群と TP 群における群間比較

測定項目	TG群		TP群	
	平均値	± 標準偏差	平均値	± 標準偏差
Time (sec)	4.06	± 0.08**	4.19	± 0.06
Vmax (m/s)	9.52	± 0.28	9.33	± 0.25
右大腰筋断面積 (cm ²)	20.7	± 3.59	22.7	± 2.84
右大腰筋断面積/体重 (cm ² /kg)	0.32	± 0.05	0.35	± 0.06
右大腿後部断面積 (cm ²)	92.8	± 9.63	93.28	± 8.19
右大腿後部断面積/体重 (cm ² /kg)	1.43	± 0.11	1.42	± 0.15
股関節屈曲パワー (W)	1194	± 363	999	± 232
股関節伸展パワー (W)	1235	± 262*	956	± 190
股関節屈曲パワー/体重 (W/kg)	18.3	± 4.79	15.31	± 4.30
股関節伸展パワー/体重 (W/kg)	19.1	± 3.86*	14.57	± 3.25

** : P<0.01 * : P<0.05

図

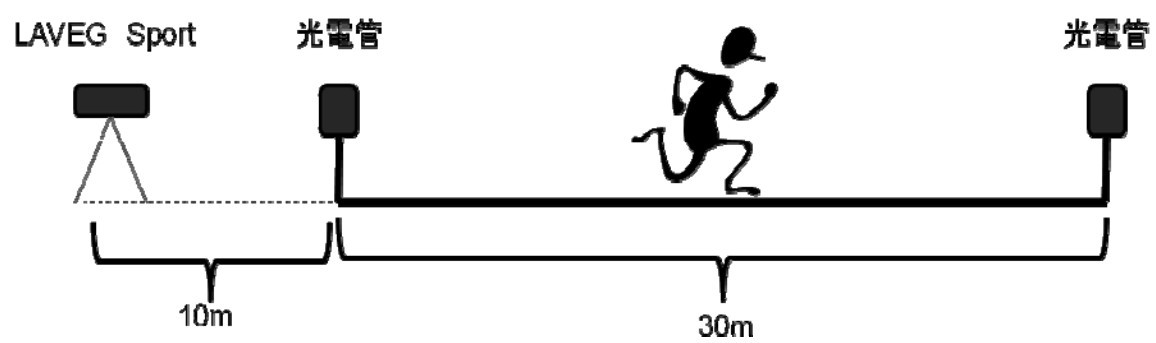


図 1 30m 走見取り図

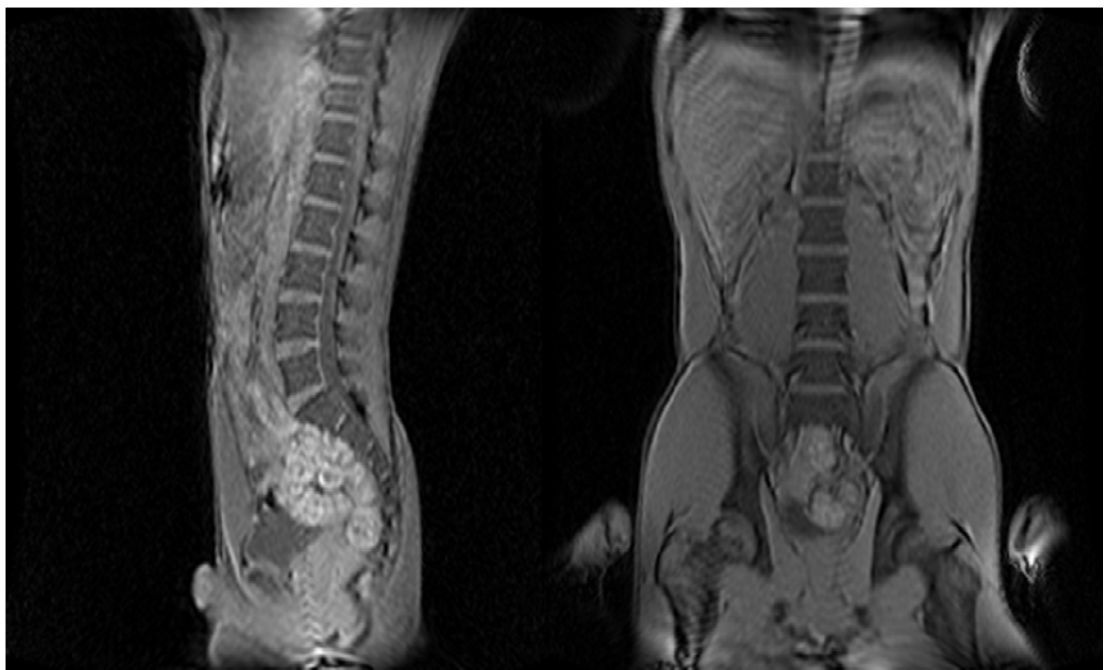


图 2 左-矢状面画像 右-前额面画



図 3 第 4 腰椎と第 5 腰椎の中央部水平断

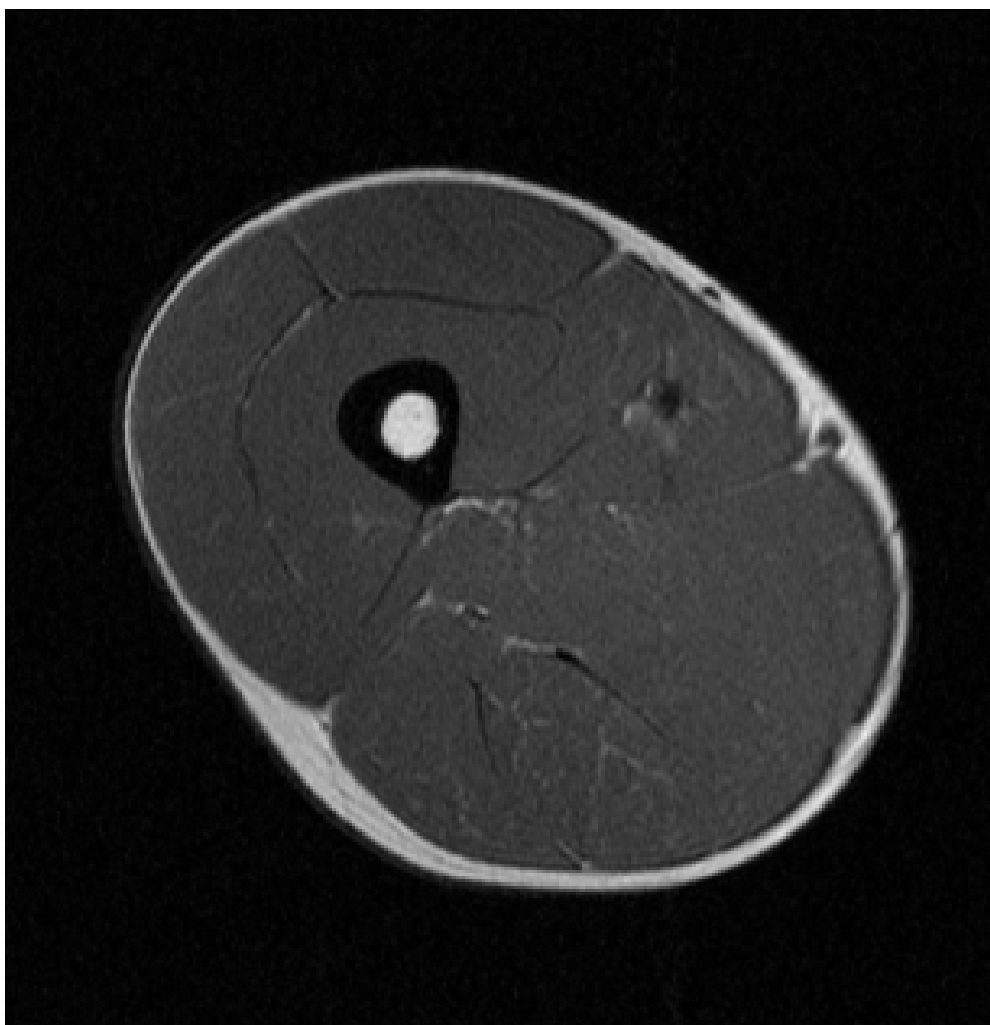


图 4 右大腿 50%部位水平横断画像

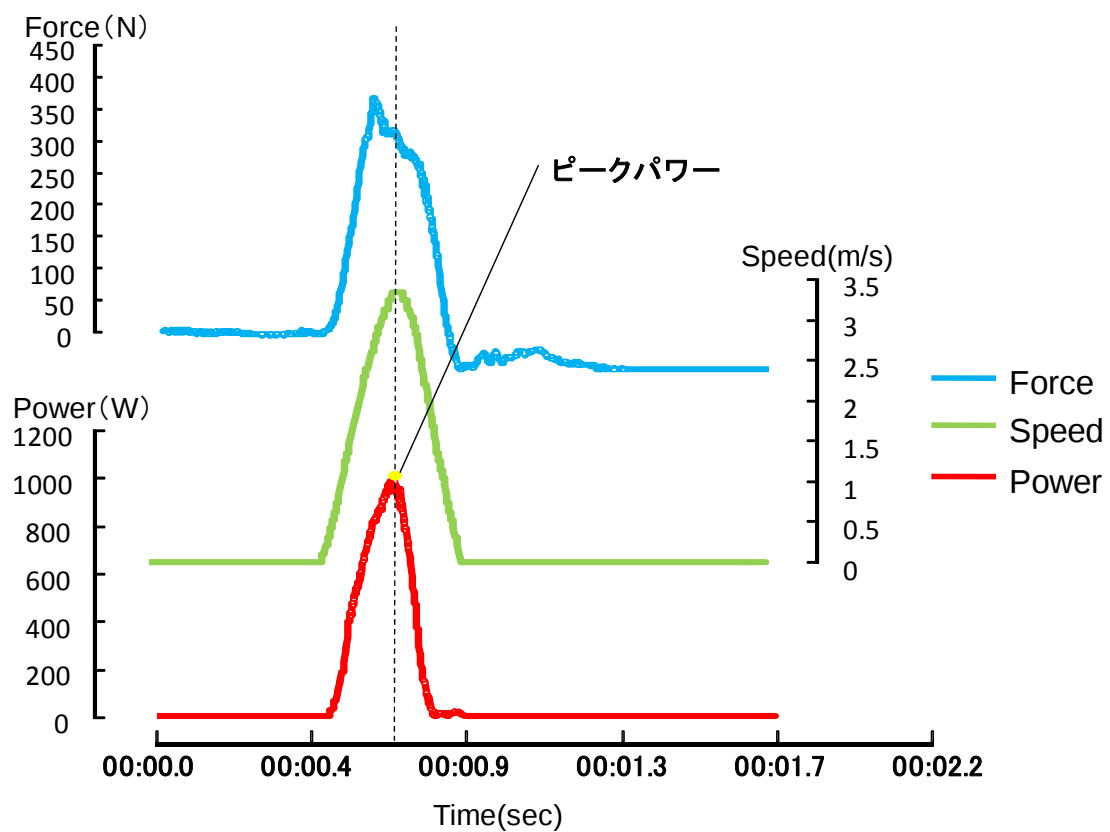


図 5 パワープロセッサによって測定された力、速度、パワー曲線およびピークパワー典型例

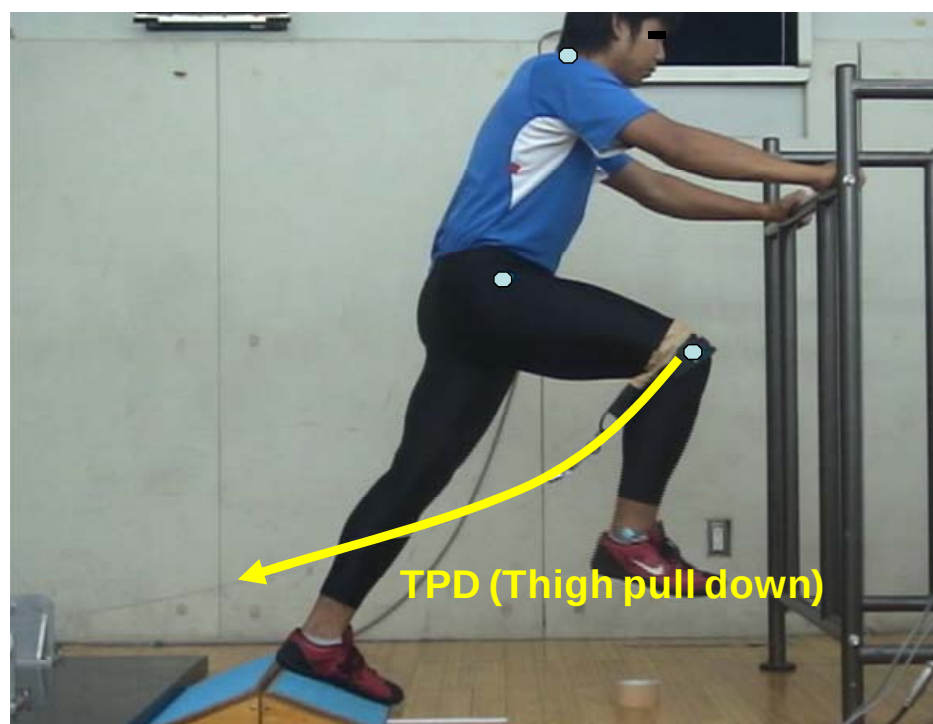
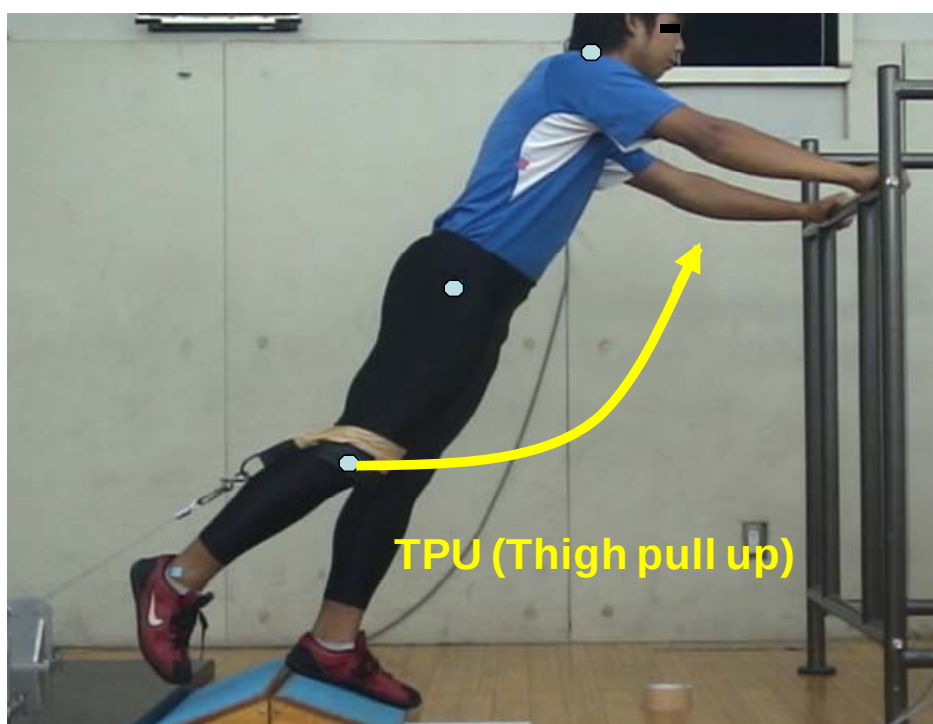


図 6 TPU(上)および TPD(下)

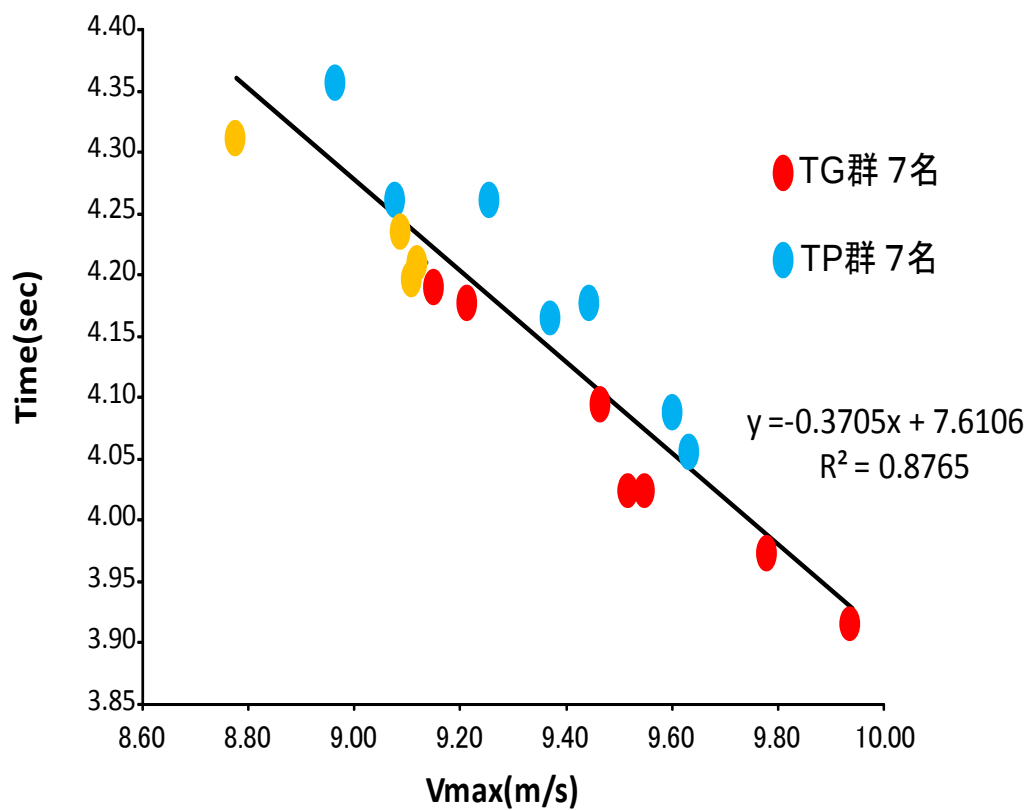


図 7 回帰直線の上下での群分け

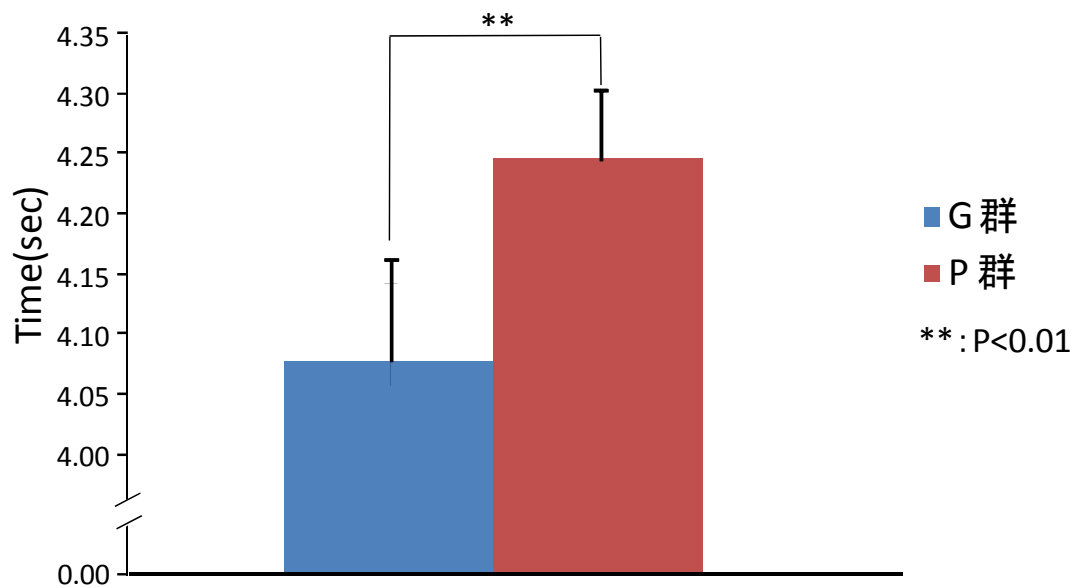


図 8 G 群と P 群における Time

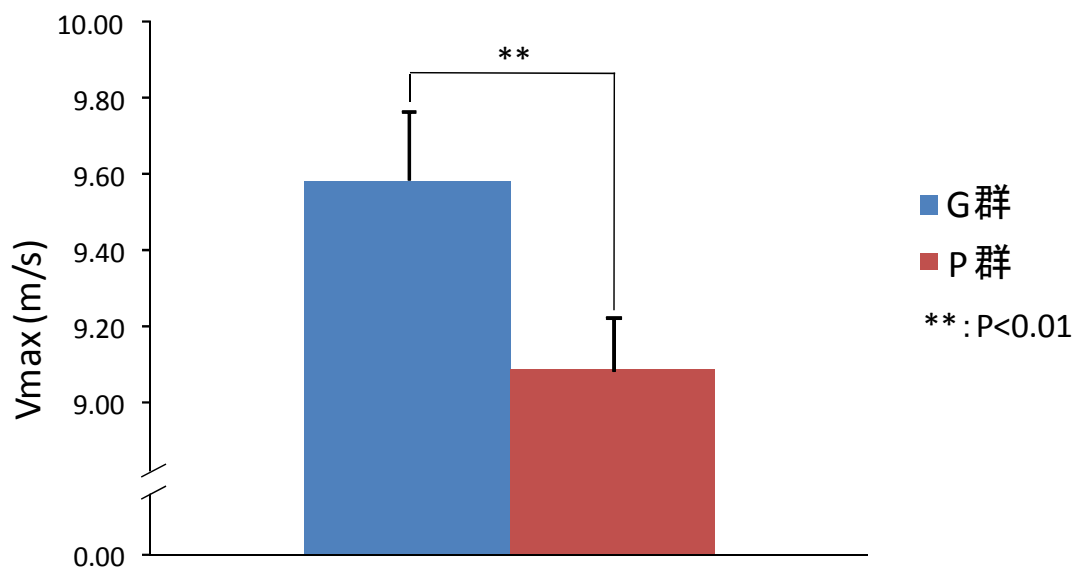


図 9 G 群と P 群における Vmax

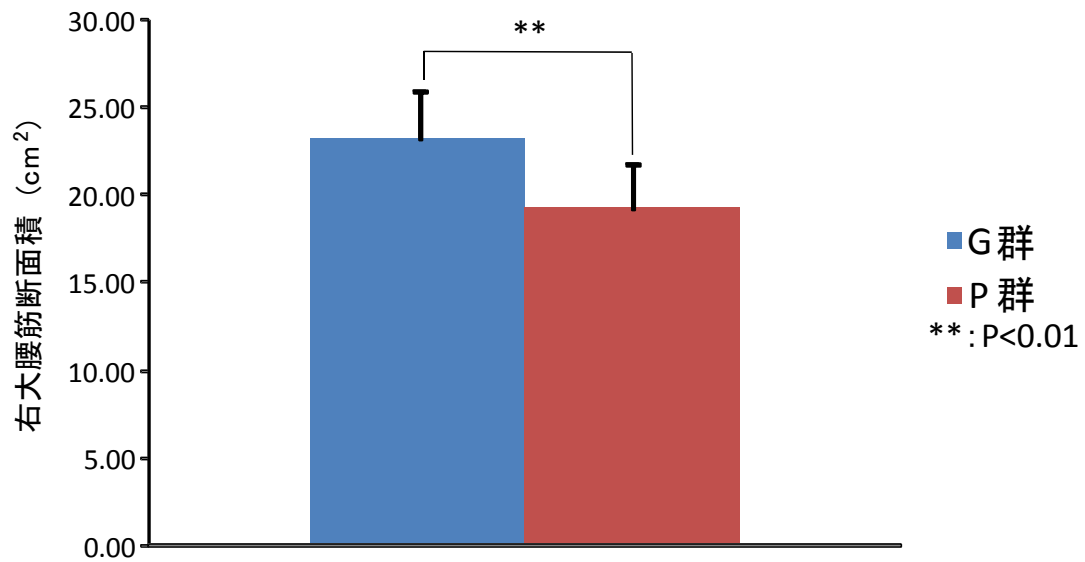


図 10 G 群と P 群における右大腰筋断面積

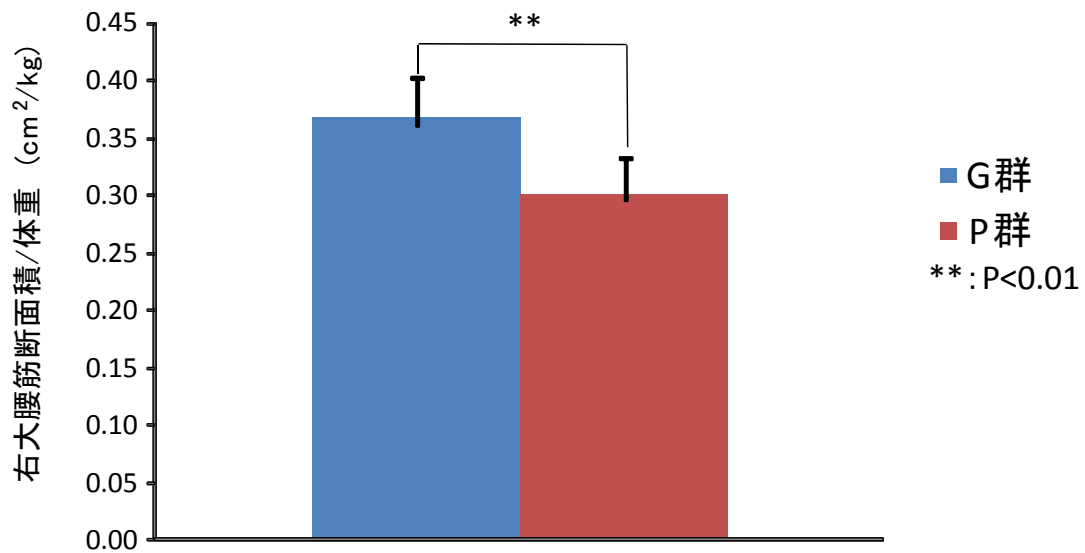


図 11 G 群と P 群における右大腰筋断面積 / 体重

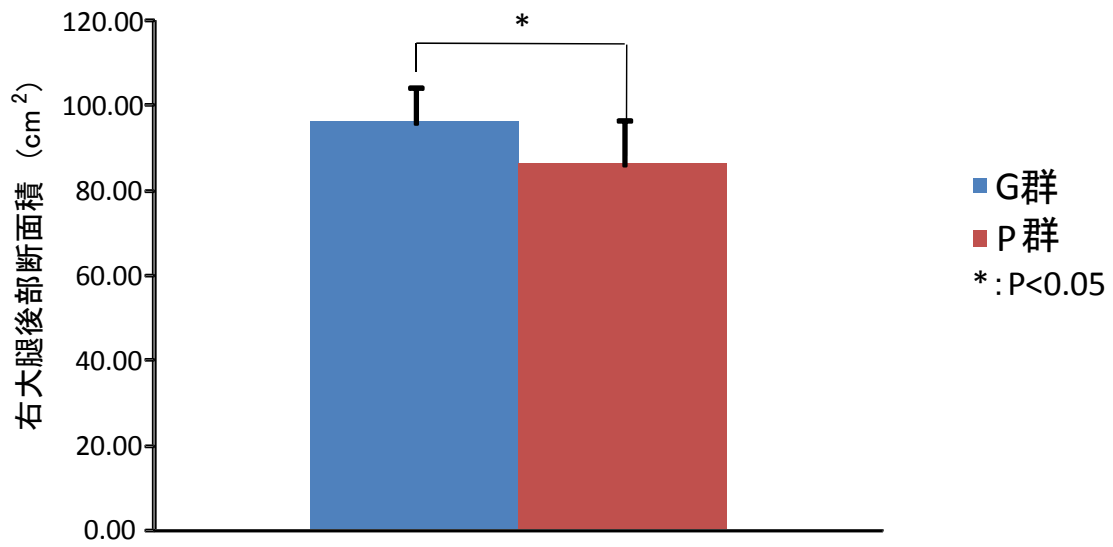


図 12 G 群と P 群における右大腿後部断面積

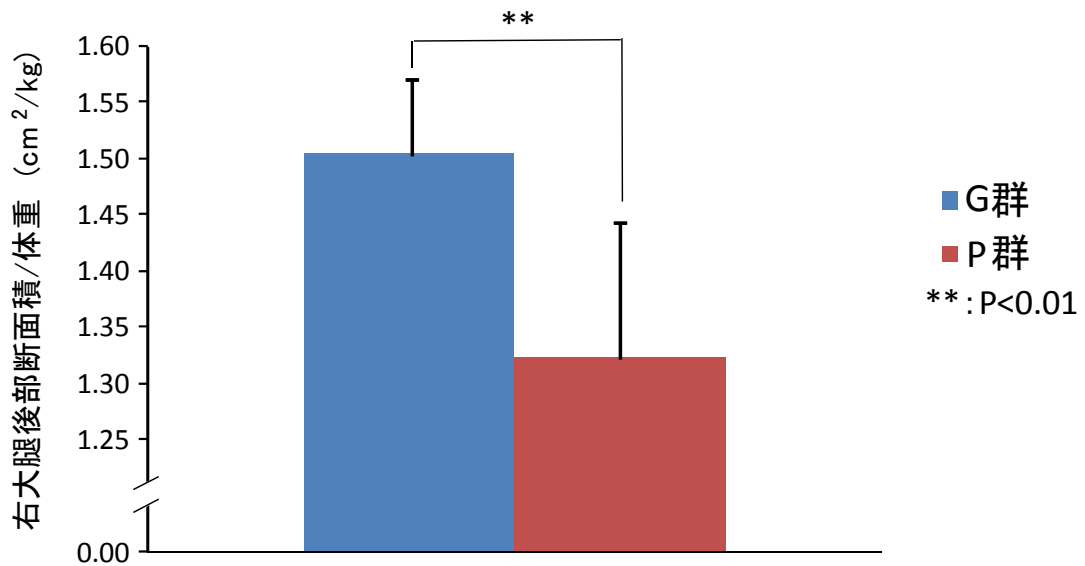


図 13 G 群と P 群における右大腿後部断面積 / 体重

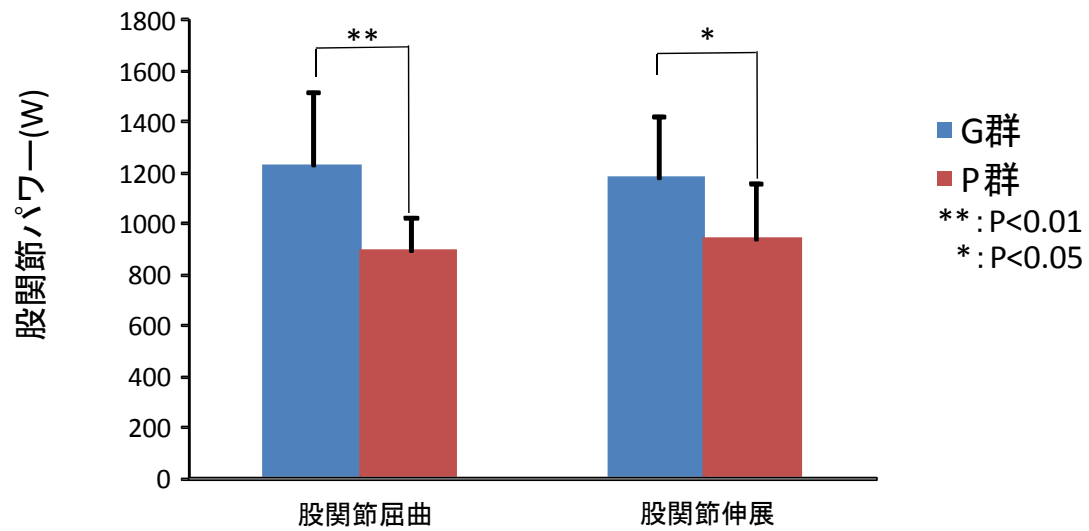


図 14 G 群と P 群における股関節パワー

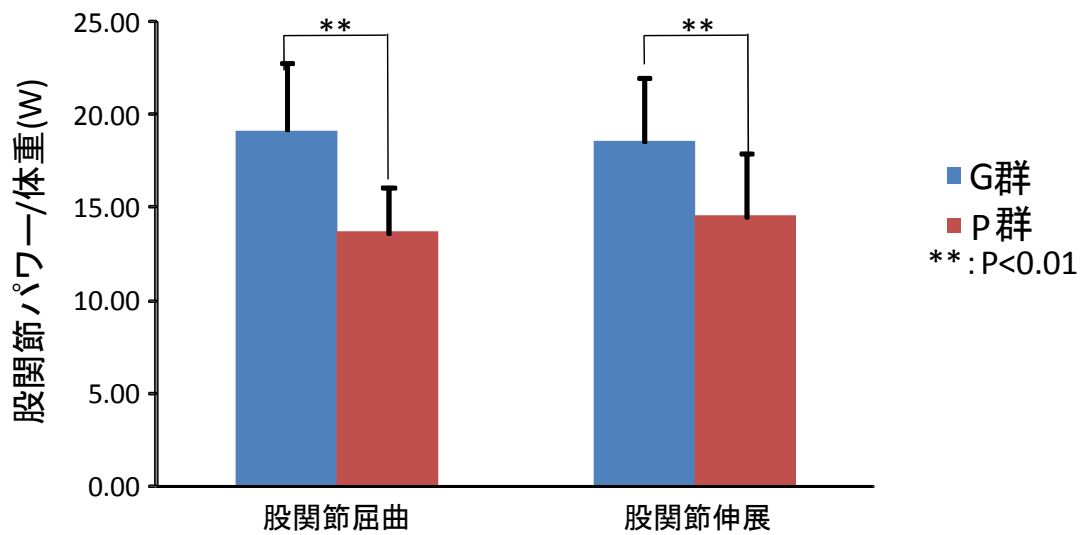


図 15 G 群と P 群における股関節パワー / 体重

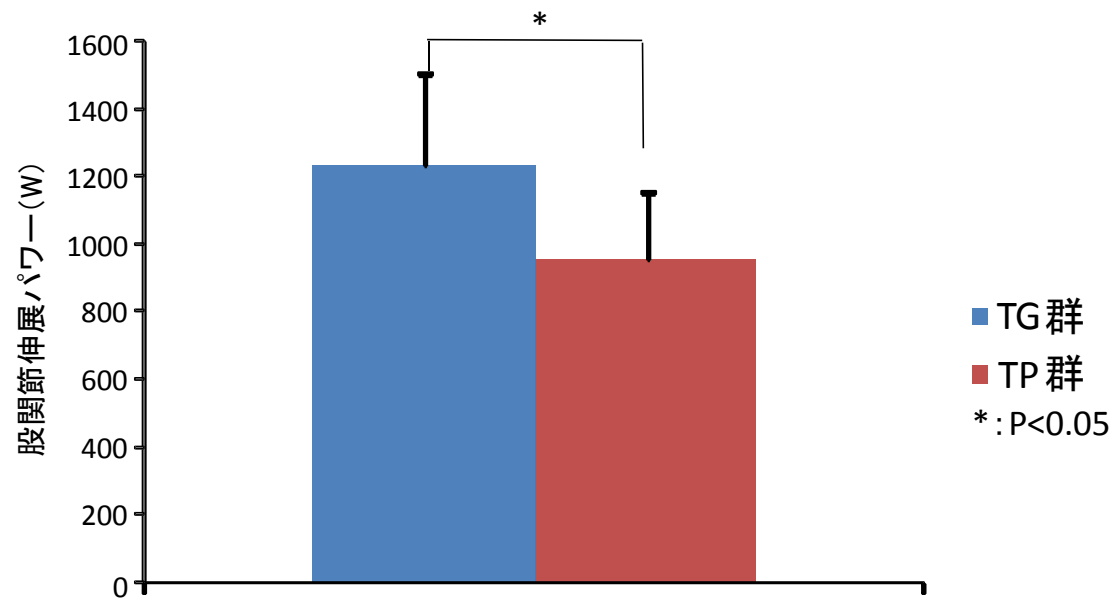


図 16 TG 群と TP 群における股関節パワー

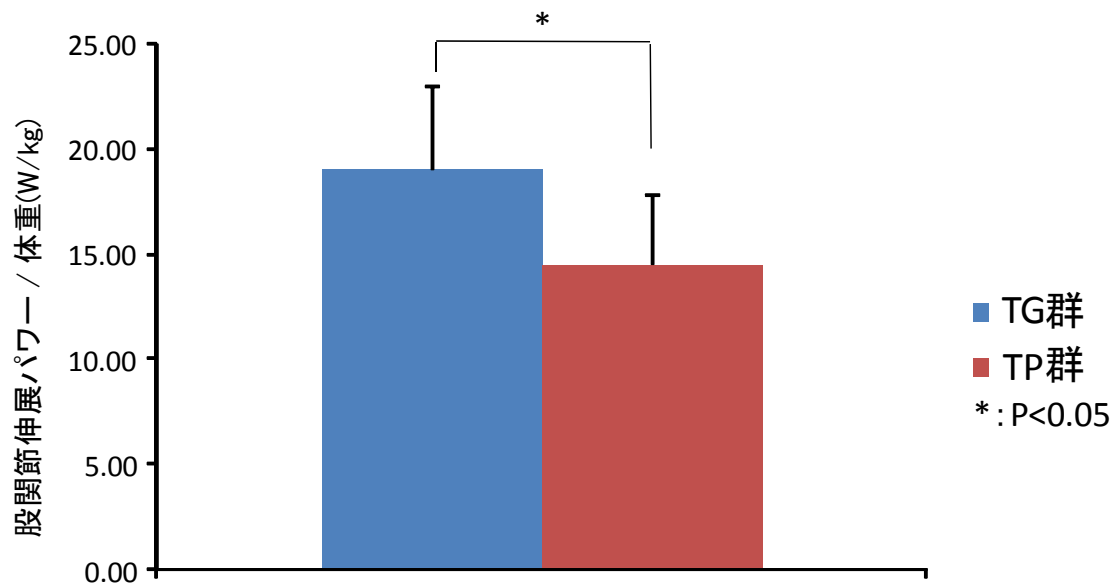


図 17 TG 群と TP 群における股関節パワー / 体重