九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

ヒトの作業能力の評価法に関する研究 : 自転車運動におけるパワーと運動継続時間直角双曲線関係から推定される一定値パラメータ(W´)の生理的規定要因

三浦, 朗

https://doi.org/10.11501/3168349

出版情報：九州芸術工科大学, 1999, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

第4章

パワーと運動継続時間関係から推定される一定値パラメータ（W'）と大腿部筋横断面積の関係

4-1　目的

P-t 直角双曲線と漸近線に囲まれる一定値パラメータ W'（Fig. 1 参照）は単位が仕事量（Joule）になることにより，生体の持つ一定のエネルギー容量を表すと予想され，その規定要因としては，筋中のグリコーゲン含有量，ATP・PCr 含有量さらにミオグロビンやヘモグロビン O_2 貯蔵量といったものが候補にあげられる．第2章および第3章において，高強度運動中の主要な無酸素性のエネルギー供給のエネルギー源としての筋内 Cr と PCr，もしくはいずれか一方の含有量増大が W'の増大をもたらしたことと，筋内グリコーゲン量の減少が W'の減少を引き起こしたことを述べた．筋内グリコーゲン含有量や PCr 含有量といった高強度運動における主要なエネルギー源の貯蔵量の量的側面を規定する要因として，次に仮説したものは，作業筋量である．繰り返し述べてきたように，W'がエネルギー量を表すことからも筋内の ATP，PCr やグリコーゲン量といったエネルギー基質の含有量に関連している可能性が高い．一般に，骨格筋の単位容積あたりのエネルギー基質量は標準値によって示され（Spriet 1995 の総説を参照），もちろん筋繊維組成の違いといった個体差はあるものの，やはり筋量自体が増大

すれば，それら無酸素性エネルギー基質の量自体も増えるものと予想される．そこで，筋量自体がW'の大小関係をある程度は規定しているのではないかと考え，筋量の代用の指標として，自転車運動における作業筋である大腿部筋横断面積を求め，両者の関係を検討することとした．

従来，筋横断面積とパフォーマンスとの関係を見た先行研究は，等尺性最大筋力との関係において広く知られている（Ikai and Fukunaga 1968, Maughan and Nimmo 1984）．また，Davies（1992）は，最大努力の連続での等速性脚筋出力時の最大パワーと骨を含む筋横断面積との間に正の相関関係があることを報告している．さらに，秋間ら（1992）は，40 秒間の全力自転車駆動運動における，運動開始後 30 秒から 40 秒に発揮された平均パワー（最大無酸素パワー）と大腿部筋横断面積の関係について報告し，筋横断面積が大きいものほど最大無酸素パワーの値が大きいこと，また，単位筋横断面積あたりの最大無酸素パワーには差がないことを明らかにし，高強度運動におけるパワー出力を支える活動筋の横断面積とパフォーマンスの関係に言及している．

以上のことから，本研究において，無酸素性エネルギー貯蔵量を反映すると考えられる W'が作業筋の横断面積と関係があるか否か確かめることは，W'の生理的規定要因を探る意味でも大変意義深いことであると考えられる．そこで本章ではW'と筋の横断面積の関係を調べた結果を述べる．

4-2　方法

4-2-1　被検者

被検者は健康な成人男性 14 名 [年齢 : 28.4（21-41） 歳，身長 : 173.4（164-187） cm，体重 69.7（61.2-82.2）kg，体脂肪率 21.1（17.4- 28.7）%，最大酸素摂取量 42.9（32.8-51.7） ml ・ kg^{-1} ・ min^{-1} ; 平均値（範囲）表示] であった．全ての被検者に対して，実験の目的，内容，危険性について十分に説明した．彼らは，実験を途中で辞退できることを周知理解の上，実験に参加することに承諾し同意書に署名した．なお，体脂肪率の測定は，インピーダンス法（TBF-511 : タニタ社製）によって行われた．

4-2-2　筋横断面積の測定

右大腿部横断面像の撮影には，多用途超音波診断装置を用いた（佐藤ら 1998 ; Fig. 9）．撮影部位は，右脚の大腿部，外側上顆最突出点から転子点間の 50%の部位とした．得られた横断面画像から，伸筋群と屈筋群の横断面積を算出し，両者を合計して筋横断面積とした（Fig.10）．なお，屈筋群は各筋の判別が困難であったためにハムストリングス（膝関節屈筋群）に内転筋群を加えたものとした．

Fig. 9 Posture on scanning of the right thigh.

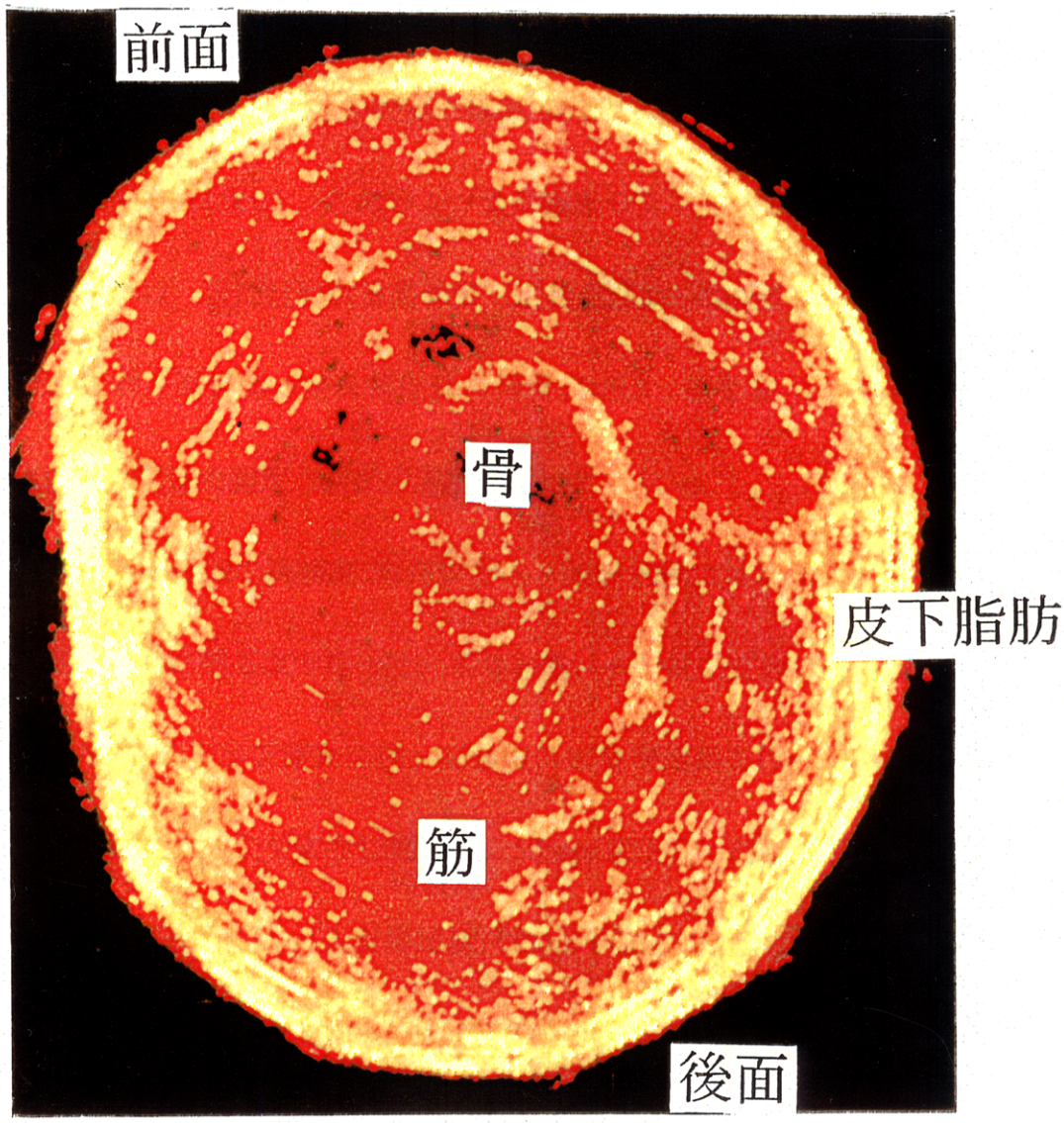

Fig. 10 Cross-sectional image of the right thigh.

4-2-3　パワーと運動継続時間関係の測定

まず各被検者は，電磁式ブレーキによる iso-power タイプの自転車エルゴメータ（232cXL：コンビ社製）を用いたランプ負荷運動テストを行った．テストは 4 分間 20Wのウオームアップ運動の後，毎分 25Wの増加率でランプ負荷運動を疲労困憊に至るまで行われた．このランプ負荷運動テストから得られた各被検者の $\dot{V}O_2max$ と AT は，次に行われる高強度一定負荷運動の強度を決定するための参考とした．なお，高強度一定負荷運動の強度設定は，**第 2 章，2-2-3 パワーと運動継続時間関係の測定**と同様の方法で行った．

次に，各被験者は 4 回の高強度（175W から 400W の間で 4 か 5 種類）の一定負荷運動を疲労困憊に至るまで行った．すなわち，一分間の安静に引き続いて 4 分間 20Wのウオームアップ運動の後，高強度一定負荷運動を行った．その時のペダル回転数は 60rpm でこぐように指示し，50rpm を下回った時点を疲労困憊と定義した．運動中は連続してガス交換諸量（$\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$）および心電図の測定を breath-by-breath タイプの測定装置（エアロモニタ：ミナト医科学社製）で測定した．各運動は，それぞれ最低 4 回ずつ，運動負荷の順序はランダムに行い，高強度一定負荷運動は最低 3 日の間隔をおいて行われた．また，実験中，被検者には，負荷設定や運動継続時間などの情報は全く知らされなかった．

なお，θ_F と W'の推定は，**第 2 章，2-2-3 パワーと運動継続時間関係の測定**と同様の方法で行った．

4-2-4　統計処理

各測定項目は平均値と標準偏差で示した．最小自乗法により各変数間の関係を回帰直線で示した．すべての統計処理はSPSS for Windows, verson 6.01（SPSS社製）によって行われた．なお，統計的有意水準は5%とした．

4-3　結果

θ_Fと W'推定のために 4 回実施した一定負荷高強度運動での P-1/t の関係は，すべての被検者において高い直線性を示した [r^2 = 0.986-1.000].

全被検者におけるθ_F, W', 大腿部筋横断面積の平均値はそれぞれ, 200.0±17.7 W, 12.6±2.9 kJ, 185.3±22.5 ㎠であった.

Fig. 11 に W'と大腿部筋横断面積の関係を示した．W'と大腿部筋横断面積の間には有意な正の相関関係が得られた[Y: W', X: 大腿部筋横断面積 Y=0.0772X-1.71, r^2=0.352; $p<0.05$].

一方，θ_Fと大腿部筋横断面積の間には有意な相関関係は認められなかった [r^2=0.107 ; $p>0.05$].

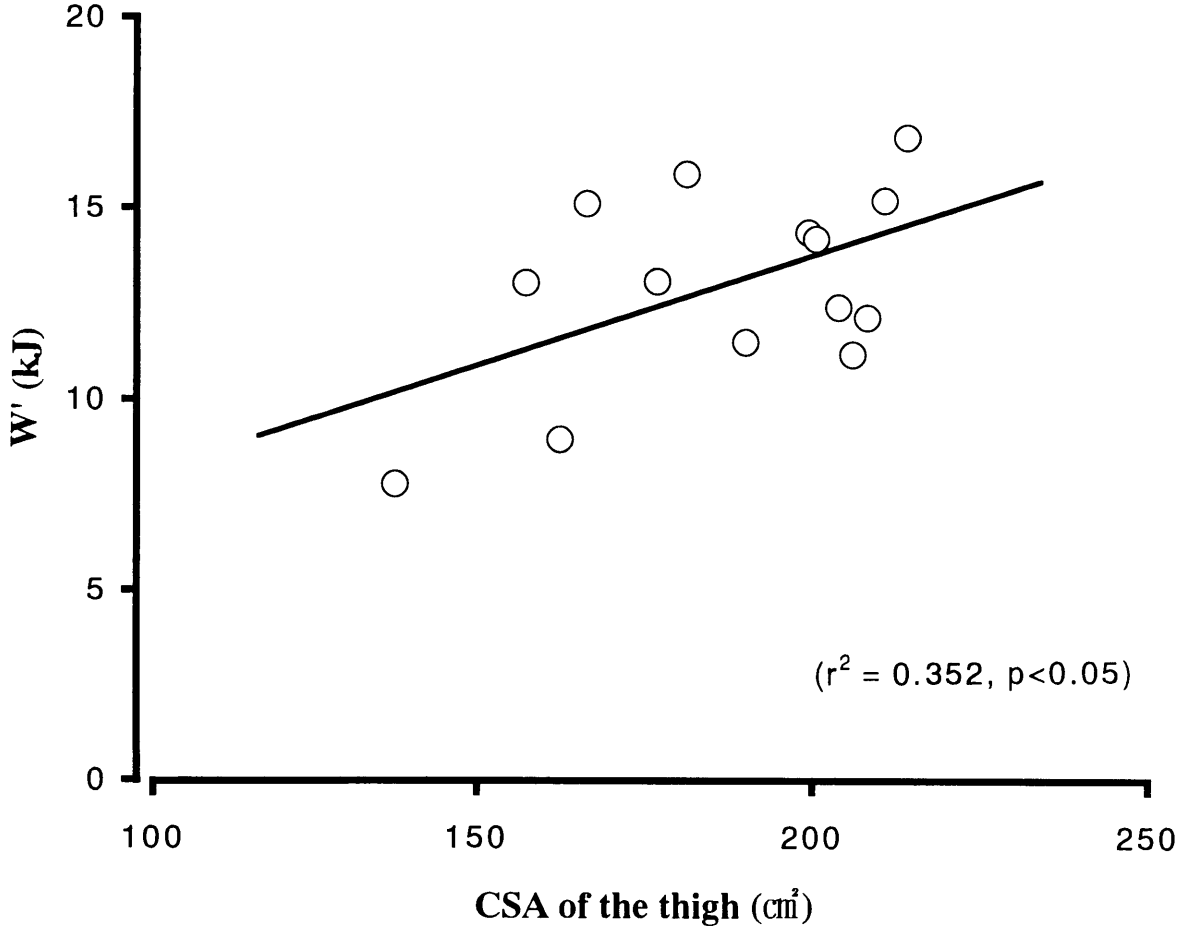

Fig. 11 Relationship between W' and muscle cross-sectional area（CSA）of the thigh.

4-4　考察

高強度運動によって得られた無酸素性作業能力と筋の大きさの関係についての研究は多い．たとえば，Winter et al.（1991）は最大努力による脚自転車駆動運動で得られた出力パワーのピーク値と推定された脚の除脂肪体積の間に有意な正の相関関係があることを報告した．また，近年，Sloniger et al.（1997）は，MRI を用いた研究において，筋の活動したと推定される部分の大きさと，無酸素性作業能力を表す指標のひとつである最大酸素借の間に正の相関関係があることを報告した．これらの研究は，無酸素性作業能力が活動筋量に影響を受けることを意味しており，筋の大きさと無酸素性作業能力との間には強い関連性があることを示唆している．従来，筋横断面積とパフォーマンスとの関係を見た先行研究は，等尺性最大筋力との関係において広く知られている（Ikai and Fukunaga 1968, Maughan and Nimmo 1984）．また，Davies（1992）は，最大努力の連続での等速性脚筋出力時の最大パワーと骨を含む筋横断面積との間に正の相関関係があることを報告しており，高強度運動におけるパワー出力を支える活動筋の横断面積とパフォーマンスの関係に言及している．また，秋間ら（1992）は，40 秒間の全力自転車駆動運動において，運動開始後 30 秒から 40 秒に発揮された平均パワー（彼らはこれを「最大無酸素パワー」と呼んでいる）と大腿部筋横断面積の関係を報告し，単位筋横断面積あたりの最大無酸素パワーには差がないが，筋横断面積が大きいものほど，最大無酸素パワーの値が大きいことを示している．このこ

とは，実に興味深い示唆を与えてくれる．筋の大きさを反映すると考えられる筋横断面積が，短時間に発揮されるような最大パワーを決める重要な要素であるということになるからである．

本研究においても，W'と自転車運動における働筋である大腿部筋横断面積の間に有意な正の相関関係があることが明らかになった．無酸素性エネルギー貯蔵量を反映すると考えられる W'が作業筋の横断面積と関連性があることは，前述の先行研究の結果とあわせて間接的にではあるが W'の無酸素性作業能力の指標としての妥当性を示唆するものである．

第 1 章でも述べたように，筋は化学的エネルギーを機械的エネルギーに変換する．入力としての化学的エネルギーが化学動力機関を介することでその一部が機械的仕事として出力される．したがって，筋内に，多くのエネルギー基質があればより多くの化学的エネルギーを産生することが可能になるはずである．事実，グリコーゲンの枯渇操作が運動継続時間を減少させることは報告され（Hultman and Greenhaff 1992 の総説を参照），筋内 Cr および PCr の増大は，運動後回復期の PCr の再合成の促進をひきおこすことや，間欠的な高強度運動の成績向上をもたらすことが報告されている（Balsom et al. 1993, Greenhaff et al. 1993, Birch et al. 1994, Earnest et al. 1995, Rossiter et al. 1996, Kreider et al. 1998）．また，本論文の第２章においても，Cr 経口摂取によって，無酸素性のエネルギー源としての筋内 PCr 含有量が増大し，結果として W'の増大をもたらすことが確認された．さら

に，第３章においても，筋内グリコーゲン量の減少が W'の減少を引き起こすということを示した．

一般に，骨格筋の単位容積あたりのエネルギー基質の量は，もちろん筋繊維組成の違いといった個体差はあるものの，やはり筋肉量自体が増大すれば，それら無酸素性エネルギー基質の量自体も増えるものと予想される．Spriet（1995）の総説によれば，数多くの先行研究により，筋生検で確かめられた単位筋体積あたりの各エネルギー基質の量は標準値として示されている．このことは，筋肉量自体が増大すればエネルギー基質の量も増えるということを意味している．もちろん，筋繊維タイプによって差はあるが，特にトレーニングを行っていない一般成人において筋繊維組成の影響が強く現れるとは考えにくい．このようなことからも，筋内エネルギー基質の量の影響を強く受けるような高強度運動において，筋の大きさがそのパフォーマンスを左右することは十分考えられることである．繰り返し述べてきたように，W'は，θ_F の運動強度，すなわち，有酸素性作業能力の上限の運動強度より上でなすことができる一定の仕事量を表し，その単位が（Joules）がエネルギー量であることから，筋内の ATP，PCr やグリコーゲン量といった酸素借に対応するエネルギー基質の含有量に関連している可能性が高い．この仮説は，本研究の結果， W'と大腿部筋能断面積の間の有意な相関関係（$r=0.593$, $p<0.05$）によって確かめられた．すなわち，P-t 直角双曲線関係から得られた W'は，強い相関関係ではないが，W'を発揮させた大腿部の筋横断面積に

よって説明され，W'がエネルギー基質の貯蔵量の量的側面を反映する可能性を示唆するものである．