

博士 (人間科学) 学位論文

ヒトの歩・走パワー発揮能力に関する研究

Study on the Power Output

During Walking and Running in Human

2003年 1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

柳谷 登志雄

YANAGIYA, Toshio

「ヒトの歩・走パワー発揮能力に関する研究」

目 次

第 章	緒言	2
第 1 節	序	2
第 2 節	研究小史	2
第 3 節	機械的パワーにより歩・走能力を捉える試みの意義	7
第 4 節	本研究の目的	8
第 章	走パワー測定方法の開発	9
第 1 節	装置	10
第 2 節	推進力の妥当性の検討	12
第 3 節	走エルゴメータ走タイムとグラウンド走タイムとの比較	17
第 4 節	走パワーの再現性	20
第 5 節	筋放電量からみた歩・走動作の比較	24
第 6 節	結論	29
第 章	歩・走パワー発揮能力にみられる性差	30
第 章	歩・走パワーの加齢変化	37
第 章	スポーツ選手の走パワー発揮能力	44
第 1 節	スプリント走パワーの競技種目差	44
第 2 節	全力疾走を繰り返し行う際の走パワー発揮能力の性差	55
第 章	総括論議	66
第 章	要約	71
引用文献		73
謝辞		79
資料		80

第 I 章 緒言

第 1 節 序

歩行や走行動作はヒトの基本的な身体運動のひとつであり、ヒトが日常生活を送る上で必要な体力(生活体力)の主要素といえる。また、多くのスポーツ活動が歩行および走行動作をその成り立ちの基盤としており、特に疾走能力はスポーツパフォーマンスを決定する主要因であるといえる。それゆえ、歩・走能力を客観的に計測する方法の確立は、日常生活から競技スポーツ活動までの幅広い領域において身体能力を評価する上で重要である。従来から歩・走行動作の測定方法に関しては種々なアプローチがなされ、多くの研究がなされてきた。本章ではこれまでになされてきた数多くの歩・走行動作に関する研究をレビューするとともに、方法上の問題点を探ろうとするものである。

第 2 節 研究小史

ここでは、ヒトの歩行・走行動作に関連した先行研究を、1)歩・走能力を速度変化から客観的に捉える試みに関する研究、2)歩・走中の機械的エネルギーを定量する試みに関する研究の2つの観点から概説する。

1) 歩・走速度変化を捉える試みに関する研究

歩行能力や走行動作の指標として、最も頻繁に用いられ、そして簡便に測定可能なものとして、ある一定の距離を移動するのに要した時間を時計や映像を用いて計測する方法がある。この方法は、陸上競技歩・走種目においてもよく用いられるものである。

疾走中の速度変化を客観的に捉える試みは、19世紀末から様々な方法により行われてきた。例えば Marey (1884) は電氣的スイッチによる方法で疾走速度変化を記録している。彼は、走路に沿って支柱を立て、その支柱に可動性の横木を、走者が走路を疾走する際に身体が触れるように直角に取り付けた。この横木の動きは電氣的に記録されるようになっており、この方法を用いて、Marey (1884)は一定距離間隔毎の疾走

時間を測定した。1928年にはBestら(1928)が、ヒモの牽引により疾走速度の経時的変化を測定している。かれらはヒモの一端を走者の腰部に固定し、他端をヒモ巻き装置に巻き込み、走者がトラックを疾走するに連れてヒモが出るようにした装置を用いて速度変化を記録した(図1.1)。この方法では、風によりヒモがたるまなように工夫する、また、走者がヒモによる抵抗により疾走を妨げられないといった工夫が必要であった。1927年には、FurusawaとHill(1927)がマグネットとコイルによる方法で速度変化を記録している。彼らは、トラックに一定の間隔をおいてコイルを取り付けた柱を立て、胸にマグネットを固定した走者がコイルに近づくのに伴いコイル中に電流が生じるという方法を考案した。

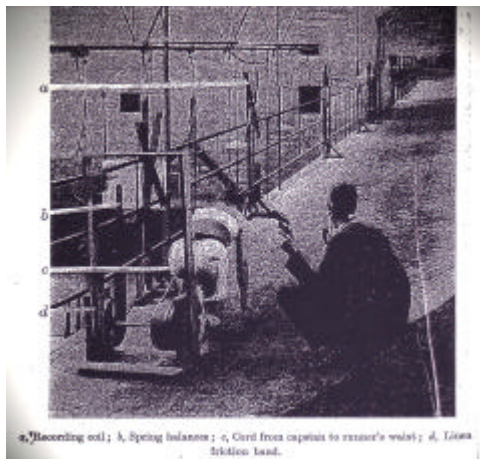


図 1.1 ヒモの牽引法による疾走速度変化の記録 (Bestら 1928)

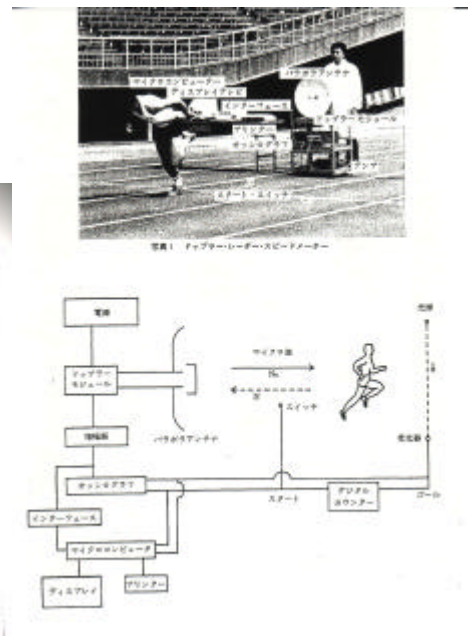


図 1.2 マイクロ波を用いた疾走速度変化の測定 (後藤ら 1984)

日本国内では、1937年に鈴木らが、光電管を用いて疾走速度変化を記録する方法で疾走速度の変化を測定している。また、武政ら(1948)は、ストップウォッチを用いた方法を用いて、疾走速度変化の記録を行っている。彼らはストップウォッチを持った検者をコースに沿って一定距離間隔で配置し、走者が各検者の前を通過した時間を記録させた。さらに、1962年に佐藤と近藤(1962)によりヒモの牽引による方法が行われている。しかしながら、この方法には、Best(1928)と同様、風によりヒモが弛む、走者が

ヒモによる抵抗により疾走を妨げられるという問題点が生じた。また、猪飼ら(1963)は光電管セルを用いて疾走速度の変化を測定することを試み、その結果から疾走時の推進力、最高速度そして速度逓減率を求めた。これに対して、菅原と前田(1984)は光電式ロータリーエンコーダーに取り付けた軽量のヒモを牽引することで、そして深代ら(1997)は電動式リールを用いて、微少な力で巻き取られる軽量のヒモを牽引することで、これらの問題の一部を解決した。

最近では、疾走速度変化の測定にはビデオカメラを用いて通過時間を記録する方法が一般的であるが、それ以外にもマイクロ波(後藤ら 1984, 図 1.2)やレーザー(松尾と金高 2001)を用いた方法も試みられている。

2) 歩・走行中の機械的エネルギーを定量する試みに関する研究

歩・走行動作の機械的エネルギーを計測する方法に関して数多い研究がみられる。

Furusawaら(1927)は、100m疾走の推進力が体重の70%であるとして、100m疾走時の仕事を「推進力×100m」で算出した。また、Fenn(1930)は、身体重心の移動から求めた仕事を「外的仕事量」、身体重心周りで四肢運動によりなされる仕事を「内的仕事量」と定義し、外的仕事量を圧力盤で、そして内的仕事量を高速度写真でそれぞれ求め、両者の正の仕事を加えることで総仕事量を算出する方法を開発した。また、Cavagnaら(1964)は圧力盤を用いて、等速度走行時、スタートダッシュ時における重心移動の外的仕事量を測定した。その後、この圧力盤法により、種々の速度における歩・走行時のパワー測定、スタートダッシュ時の仕事量やパワーの測定が行われた(Fukunagaら1980)。圧力盤による歩・走行時の仕事量やパワーの測定では、比較的正確に力学的測度を得ることが可能である。しかしながら、この方法では問題点として、測定可能な歩数が、圧力盤の枚数により制限されるため、歩・走行時のパワーを連続的に記録することは困難であるという問題点を持つ。また、この方法は実験のセッティングやデータ解析が煩雑であり、簡便に多数の被験者に対して適用することが出来るものではない。

Margaria(1966)は、運動時間が4~5秒以内の全力運動で発揮された機械的パワーが、高エネルギーの酸化化合物の分解エネルギーだけに起因しているという観点が

ら、階段を全力で駆け上がる際の上昇速度を測定し、そこから換算された機械的パワーを最大無酸素パワーとして定義した。この方法は、ストップウォッチのみで簡便にエネルギーの測定が可能であるという利点から、疾走動作中に発揮される機械的パワーの測定法として広く普及した (Di Prampero ら 1964 ,Davis ら 1971 ,Ayalon ら 1975 ,Thorstensson ら 1975 ,Komi 1977 ,Burke ら 1979 ,Kitagawa ら 1980 ,Starck 1981 ,Evans ら 1981 ,Bosco ら 1983)。しかしながら、この方法では、実際に身体が発揮している力を直接測定しているものではないので、エネルギーの変化を捉えられていないという問題は残る。

Lakomy (1987) は自走式トレッドミルを利用して、疾走中の機械的パワーを測定する方法を開発した (図 1.3)。この方法は、被験者が腰部ベルトに固定されたワイヤを、牽引しながら疾走するというものであり、トレッドミルのベルト速度とワイヤの牽引力との積からパワーを算出した。この方法を用いることにより、全力疾走中のパワーを、歩数を制限されることなく測定することが可能となった。また、この方法では、単発疾走時のパワーのみならず、間欠的疾走時に発揮されるパワーも容易に測定することが可能であった。そのため、Lakomy の報告以後、多くの研究者によって利用されるようになり (Brooks ら 1988 ,Hamilton ら 1991 ,Nevill ら 1993 ,Drust ら 2000 ,Tong ら 2001)、スプリント走のトレーニング効果やスプリント走時の代謝変化が検証された。さらに Falk ら (1996) は Lakomy (1987) の方法を発展させ、トルクモータでトレッドミルベルトの回転を制御することで、体重がトレッドミルベルトに及ぼす摩擦力を軽減させる方法を提示した (図 1.4)。これにより、体重の比較的重い被験者で大きく発生するトレッドミルベルトの摩擦が軽減され、より正確な速度変化を捉えることが可能となった。また、Falk は腰部ベルトにロッドを固定することで、推進力をより正確に測定できるようにした。しかしながら、Lakomy や Falk らの方法では、運動中、身体の動きが不安定であり、また、被験者自身がトレッドミルベルトの動きを制限する必要があるという新たな問題点が生じた。したがって、これらの方法では競技選手もしくは日常活動的な若年被験者を対象として、十分に装置に慣れた後に実験や測定を行う際には有用であるものの、子どもや高齢者を対象として実験・測定を行う際には安全面での問題点が存在した。

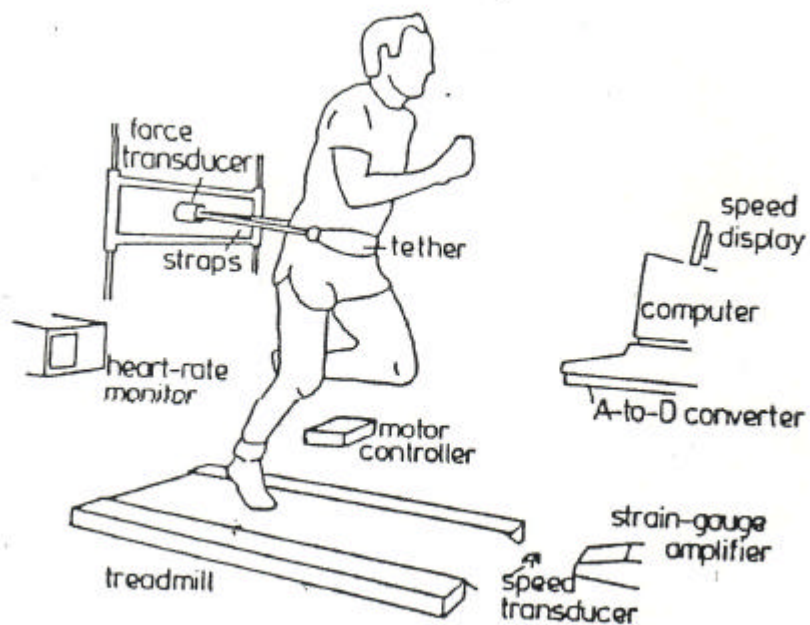


図 1.3 自走式トレッドミルのベルト速度とワイヤの牽引力によるパワー測定方法

(Lakomy 1987)

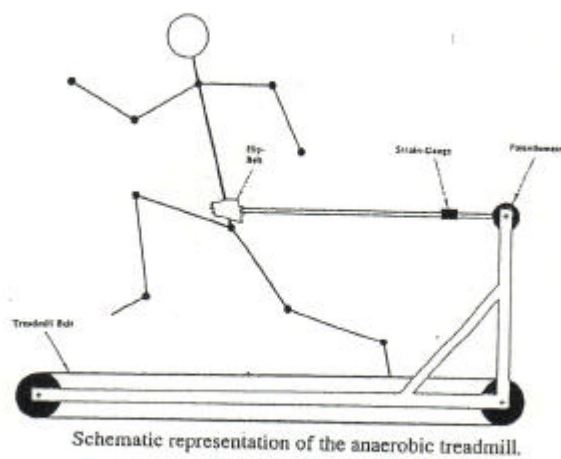


図 1.4 トルクモータトレッドミルのベルト速度とロッドの牽引力によるパワー測定方法

(Falk ら 1996)

第3節 機械的パワーにより歩・走能力を捉える試みの意義

機械的パワー（以下、パワー）とは、単位時間あたりの仕事率であり、「力×速度」により求められる。これを実際の身体運動に当てはめるならば、運動により身体外部へと作用した力と運動の速度の積ということになり、特に歩・走の場合には、身体の発揮した力と身体重心の移動速度ということになる。

単に歩・走行能力を測定・評価するのであれば、先述の通り、一定距離を移動するのに要した時間（以下、タイム）を計測する方法が最も簡便であり、その測定は特殊な機材や熟練した検者を必要ともせず、距離を計測するための巻き尺と時間を計測するための時計（以下、ストップウォッチ）さえあれば可能である。実際に、この方法により測定・評価を行った研究は数多く行われており、それらでは、その簡便さから多人数を対象とした調査結果を報告している。

単に歩・走行動作のパフォーマンスを比較・評価するのであれば、上記のように歩・走タイムを記録する方法で十分であると思われる。しかしながら、歩・走行を筋収縮の結果として現れる身体運動の一つであるとして捉えるならば、動作により発揮した力と運動の速度、そして両者の積であるパワー（歩・走パワー）として捉え、それぞれに関する検討をする方が合理的である。また、歩・走行のような移動運動では、自身の体重が直接的に運動負荷として作用する。従って、タイムによるパフォーマンス評価では同タイムであったとしても、被験者の体重が異なれば、筋もしくは身体の発揮する推進力やパワーは異なるわけであり、タイムのみの評価では不十分である。さらに、歩・走パワーを体力測定の際の指標として用いる際には、歩・走能力を筋力や関節トルクといった他の項目と同一の指標に並べることが可能であり、このことは、歩・走パワー発揮能力のメカニズムなどを解明する際に有効と考えられる。

第4節 本研究の目的

本研究ではヒトが歩行、走行する時の機械的パワーを計測するためのエルゴメータ

(走エルゴメータ)を開発し,この走エルゴメータを用いて,ヒトの歩・走パワーの男女差, 加齢変化, スポーツ競技特性 について明らかにしようとするものである.

特別に運動やスポーツを行っていない一般人を対象に,子どもから高齢者までの幅広い年齢層を対象として研究を行うという観点に立てば,運動の形態が実際の歩・走動作に類似しているとともに,なるべく簡便に,そして安全に測定可能な方法が必要となる.そこで,第 II 章「走パワー測定方法の開発」では,歩・走行時の機械的パワーを測定する方法を開発することを目的とした.

次に第 III 章「歩・走パワー発揮能力にみられる性差」では,一般成人に関して,歩・走パワーの発揮能力の男女差について検討すること,また,男女それぞれについて歩・走パワーを決定する因子を明らかにすることを目的として検討した.

さらに,身体機能は加齢により低下するが,その原因として,これまでに筋力,筋量の減少,筋を神経支配する運動ニューロンや運動神経線維の数の減少,そして速筋線維の選択的減少や速筋線維から遅筋線維への筋線維タイプの移行などが考えられている.そこで,第 IV 章「歩・走パワーの加齢変化」では,広範囲な年齢層を対象として,歩・走パワーの加齢に伴う変化を調べることを目的とした.

最後に,第 V 章「スポーツ選手の走パワー発揮能力」では,スプリント走パワー発揮能力の競技種目差(第一節)と間欠的スプリント走パワー発揮能力の性差(第二節)を明らかにすることを目的とした.

第 II 章 走パワー測定方法の開発

歩・走パワーを測定する場合、圧力盤を用いて床反力を測定する方法（圧力盤法）が古くから行われている（Fenn 1930, Cavagna 1964, Fukunaga 1981）。この方法は、測定可能な歩数が、圧力盤の枚数により制限されるため、歩・走パワーの連続的記録は困難である。また、この方法は実験のセッティングやデータ解析が煩雑であり、簡便に多人数を対象とした測定には不向きである。これに対して、トレッドミルを用いた測定方法（Lakomy 1987, Falk ら 1996）を用いることにより、上記のような圧力盤法における問題点が克服される。しかしながら、Lakomy や Falk らの方法では、測定可能な運動が全力疾走に限られること、ワイヤやロッドを腰部ベルトで身体に固定するために被験者への負担が大きいこと、そして、被験者自身がトレッドミルベルトの速度をコントロールする必要があることから、運動中の姿勢が不安定になり、初心者や子ども、そして高齢者を対象とした測定には不向きであるという問題が生じてきた。

そこで、本研究では走エルゴメータを用いて上記の問題点を克服し、最大下速度から全力疾走までの速度における歩・走パワーを測定する方法を開発した。本章では、この方法による測定値の妥当性と信頼性について検討した。

第 1 節 装置

本研究で用いた装置（走エルゴメータ）では、被験者が行う運動形態は、トレッドミル上で前方に設置されたハンドルを両手で握りながら歩行もしくは走行を実施するというものであった。図 2.1 に歩・走パワー測定の実験装置の全景および走エルゴメータの構造を示す。走エルゴメータは自走式トレッドミル部（Sprint Runner, Hoggan Health Industries, Inc.）と高さの調節が可能なハンドル部（図 2.2）からなる。自走式トレッドミル部の走行面は幅 580mm、長さ 1100mm であり、ベルトの前後端には直径 168mm のドラムが配置されており、ベルト回転時には、このドラムが慣性車輪の役割を果たす。前後端ドラムの間には、直径 30mm のローラーが 36 本配置されており、歩・走行時に発生するベルトの摩擦抵抗を軽減する役割を果たしている。また、走行面の傾斜角度は 0 度（水平）に設定されており、トレッドミルベルトは水平方向に 24.5N の力が作用すると回転を始める。ハンドル部の握り部分は直径 34mm のパイプからなり、ハンドルの高さは、被

験者の身長に合わせて,走行面から900~1700mmの範囲で調節することが可能である.

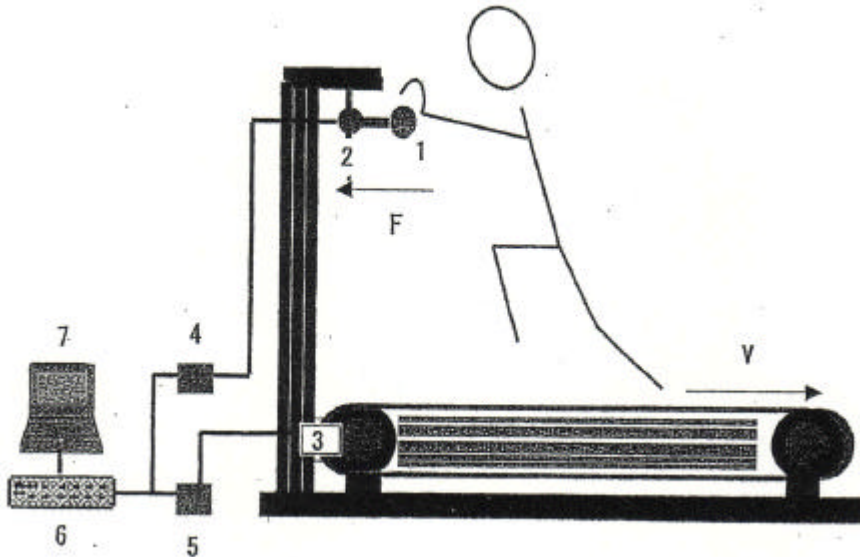


図 2.1 歩・走パワー測定の全景と装置の構造

図中の数字 1? 7はそれぞれ, 1)ハンドル, 2)荷重センサ, 3)パルス発生装置, 4)ストレインアンプ, 5)パルスカウンタ, 6)AD変換器, 7)PCを示す. また, FとVはそれぞれ, 推進力とトレッドミルのベルト速度を示す. FとVの積によりパワーを算出する.

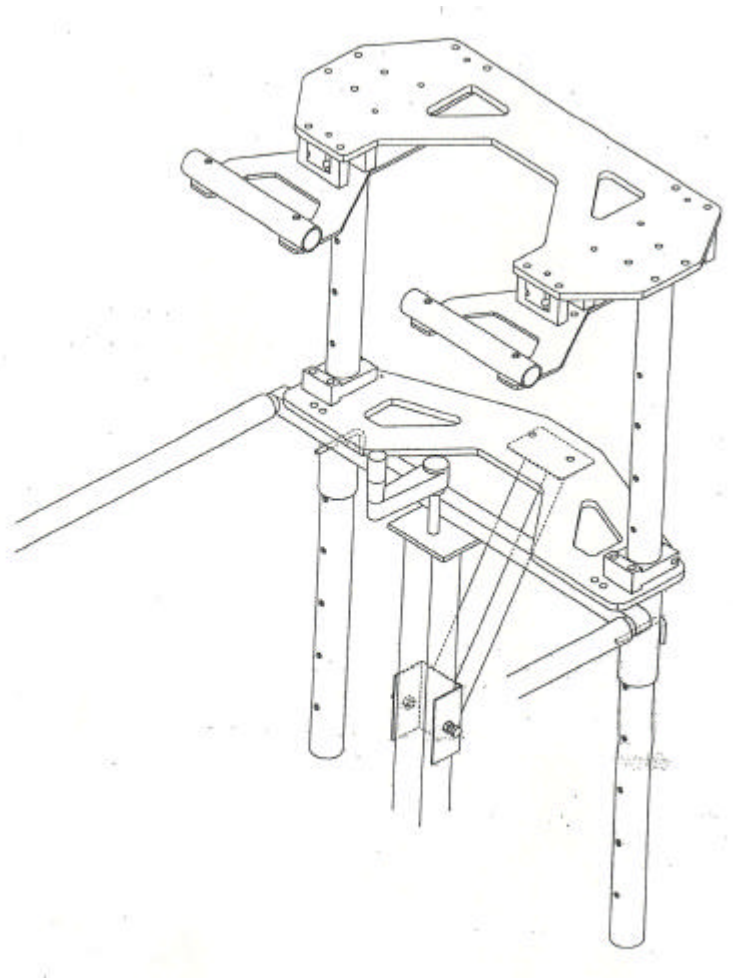


図 2.2 装置のハンドル部の構造

歩・走パワー (P) はハンドル部に作用した推進力 (F) と、トレッドミルベルトの回転速度 (V) との積を逐次算出することで求めた。 F はハンドル部に作用した推進力を、エアスライダを介してロードセル (LTZ-100, 分解能 6000, 入出力抵抗 3500, 共和電業社製) によりブリッジ電圧 10V で検出し、ストレインアンプ (WGA-100, 共和電業社製) を用いて換算定数 10V / 100kgf で増幅した。一方、 V は前端ドラム部にドラム回転検出用のエンコーダプレート (72パルス / ドラム一回転, 537mm / ドラム一回転) と透過型フォトインタラプタ (GP3A32, 電源電圧 5VDC, シャープ社製) とから測定した。すなわち、フォトインタラプタからの発光をエンコーダプレートが遮断する際に発生する単位時間あたりのパルス数から、 FV 変換器 (TDP-3301A-E, 入出力範囲 0.0006Hz ~ 100KHz, 分解能 6400, アナログ出力更新時間 0.01 秒, ココリサーチ社製) を用いて、換算定数 10V / 時速 36km で、速度を算出した。 F と V のアナログ信号を AD 変換器 (PowerLab 16s, AD Instruments 社製) を用いてデジタル化した後、パーソナルコンピュータ (Apple PowerBookG3/233, Apple Computer Inc.) に取り込み、ソフトウェア

(Chart4.1.1, AD Instruments 社製)上でVとFの積を逐次算出しパワー(P)とした。

第2節 推進力の妥当性の検討

(1) 目的

走エルゴメータを用いた測定では、被験者が両手でハンドルバーを握り、そこに作用する力を推進力として測定している。一方、グラウンドでの歩・走動作では、実際には、脚で地面を蹴ることにより推進力を発揮している。このことはハンドル部で測定される力を推進力としてパワーを算出する方法が妥当であるかどうかの疑問が生じる。そこで本節では、走エルゴメータにおいて、ハンドルバー部で推進力を測定する方法の妥当性について検討した。

(2) 方法

1) 被験者

成人男性10名(年齢 29.8 ± 7.8 歳,身長 167.6 ± 5.2 cm,体重 61.7 ± 11.0 kg)が本実験に被験者として参加した。被験者らの体調は良好であったが、日常、特に定期的なトレーニングや特定のスポーツ種目などは実施していなかった。全ての被験者は、実験への参加に際して、本実験で用いる測定装置を用いた歩・走行に熟練していた。測定に先立ち、各被験者には本実験の目的および参加に際しての身体への負担、危険性などを説明し、実験に参加する旨の同意書を得た。

2) 実験内容

本実験では、走エルゴメータおける歩・走行中の推進力について、ハンドル部に作用した推進力(F_{am})と圧力盤から得られた推進力(F_{fp})とを比較した。実験に際して、第II章・第1節で記した装置を、自走式トレッドミル部とハンドル部に分解し、自走式トレッドミル部を2枚の圧力盤(9281B, Kistler, Switzerland)上に設置した(図2.3)。それぞれの圧力盤は床面に固定した。また、ハンドル部を圧力盤およびトレッドミル部とは分離して設置した。

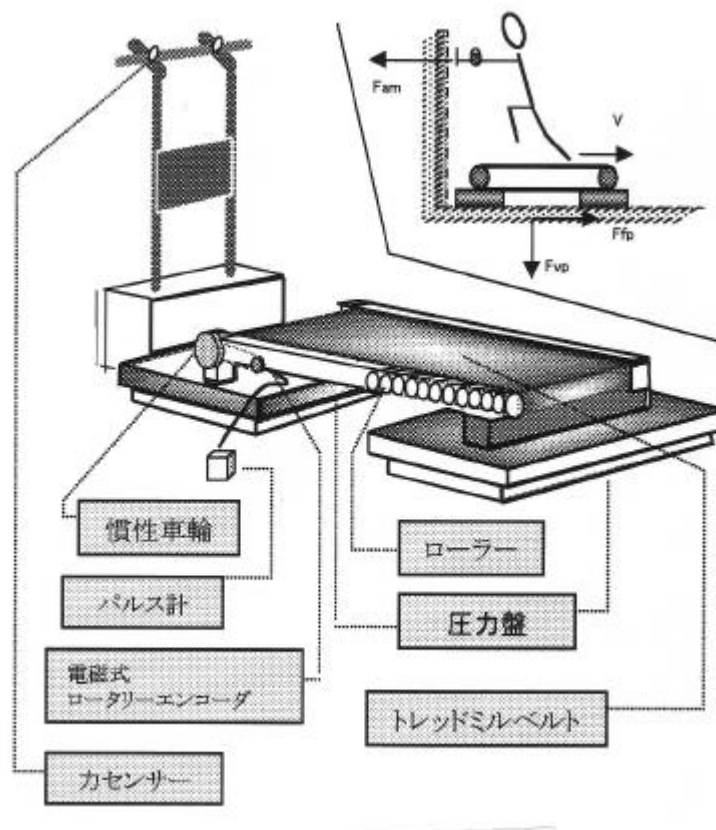


図 2.3 実験の設定

各被験者が、圧力盤上に設置した自走式トレッドミル上で以下の試行を実施した。試行は低速および高速歩行、低速、中速および高速走行、全力スプリン疾走の6試行であった。被験者にはスプリン疾走を除いた各試行において、ほぼ一定速度で歩行もしくは走行をするように指示した。スプリン疾走は立位で静止した状態から、出来るだけ素早く最大速度に達するまで全力でダッシュし、数秒間にわたり最大速度を維持した。

各試行において、エルゴメータ走における最大速度付近の6歩分の平均速度 (MV)、 MV に相当する F_{am} および F_{fp} の時間平均値 (それぞれ MV 、 MF_{am} および MF_{fp}) を分析の対象とした。また、 MF_{am} および MF_{fp} と MV との積をそれぞれハンドルにより測定したパワー (MP_{am}) および圧力盤により測定したパワー (MP_{fp}) とした。なお、6歩分のステップサイクルは、圧力盤の鉛直床反力 (F_v) 曲線から読みとった。

3) 統計処理

歩行および走行における MP_{am} と MP_{fp} の比較にはピアソンの相関係数を用いた。また、 MP_{am} と MP_{fp} との分散の差の検定には一元配置の分散分析が用いられた。これらの統計処理においても、 $P < 0.05$ をもって有意とした。

(3) 結果

図 2.4 にスプリント走の加速相から最大速度出現時までの V , F_{am} , F_{fp} および F_v の典型例 (被験者は 27 歳 , 体重 65kg) を示した . 一般的にスプリント走では , V の増加は F_{am} と F_{fp} の増加の後に出現した . また , P_{am} の最大値は V の最大値より早く出現し , その出力は約 1000W であった (図 2.4) .

スプリント走における MV と MV に対応する各変数の平均値を表 2.1 に示した . スプリント走では , MF_{am} は MF_{fp} の約 96% であった . MF_{am} と MF_{fp} の間 , および MP_{am} と MP_{fp} の間に有意差はみられなかった .

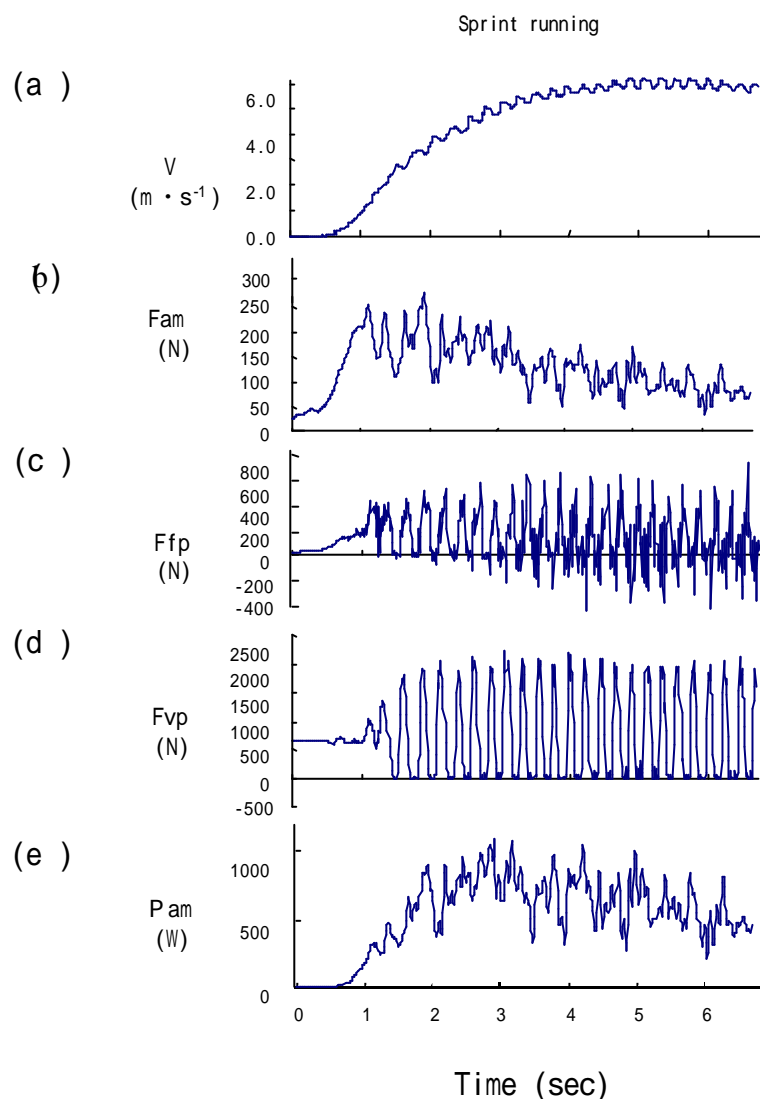


図 2.4 エルゴメータおよび圧力盤から出力したデータの典型例
 V : ベルト速度 , F_{am} : ハンドル部で測定した力 , F_{fp} : 圧力盤で測定した水平方向床反力 , F_v : 圧力盤で測定した垂直方向床反力 , P_{am} : ハンドル部で測定したパワー

表 2.1 スプリント走中に発揮された推進力とパワー

	V (m/s)	MFfp (N)	MFam (N)	MPfp (W)	MPam (W)	MPfp/bw (W/kg)	MPam/bw (W/kg)
Sprinting	4.84 (0.51)	112.2 (8.86)	107.75 (13.59)	543.53 (77.16)	521.73 (84.36)	7.95 (1.72)	7.67 (2.05)

図 2.5 には、6種類の速度での歩・走行時におけるMPfp とMPam との関係を示す。
両測定変数間には有意な相関係数 ($r=0.982$, $p<0.001$) が得られた。

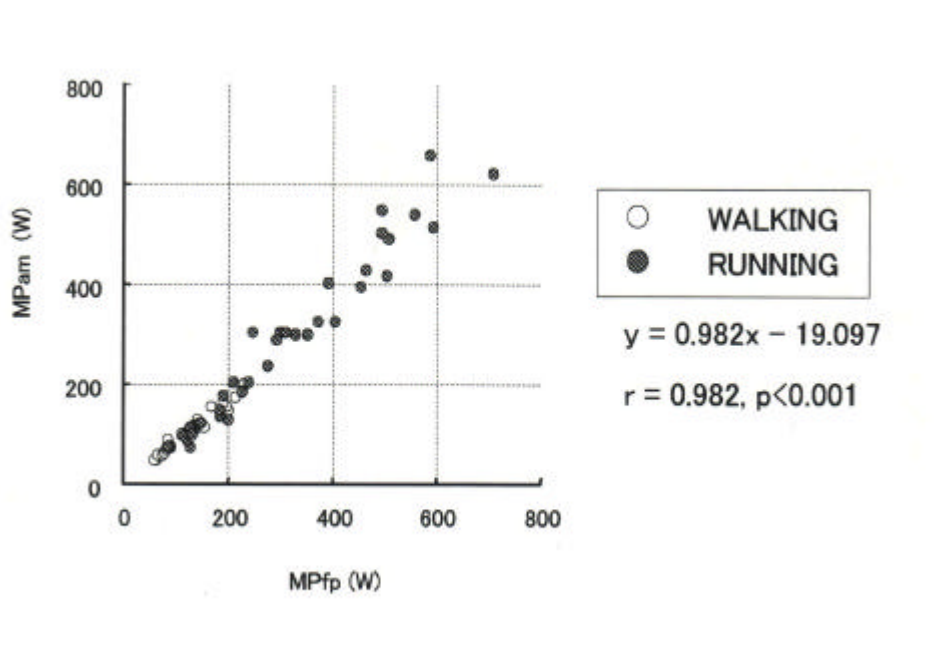


図 2.5 圧力盤の水平床反力から測定した平均パワー (MPfp) とエルゴメータのハンドル部で測定した平均パワー (MPam) との関係

(4) 考察

走パワーに関する先行研究では、推進力を測定する方法として圧力盤を用いた測定方法 (Cavagna 1975)、ワイヤやロッドを牽引する力を測定する方法 (Lakomy 1987, Falk ら 1996)、そして電動型トレッドミルに圧力盤を埋設する方法 (Kram 1989) が用いられてきた。圧力盤を用いる方法では、実験のセットアップやパワーの定量が煩雑であり、多人数を対象とした測定には不向きであった。また、牽引力を推進力とする方法では、腰部ベルトでワイヤやロッドを固定する必要があるために、被験者の身体への負担が大きいこと、そしてトレッドミルベルト速度を被験者自身が制御する必要があることが問題点としてあげられた。また、圧力盤を埋設したトレッドミルを用いた方法では、ベルト速度がモータにより制御されるという問題点があった。一方、本研究で開発した方法では、ハンドルバーを両手で握りながら歩・走行するために、運動の形態が実際の歩行や走行とは若干異なるものの、従来法における上述の問題点を克服した有用な方法であると考えられる。

本節では、ハンドルバーを押す力 (F_{am}) と脚でトレッドミルベルトを蹴る際に水平方向に作用する力 (F_{fp}) について、それぞれの6歩分の平均値 (それぞれ MF_{am} と MF_{fp}) を比較した。その結果、 MF_{am} と MF_{fp} の間には有意な相関係数が得られ、また、 MP_{am} と MP_{fp} とでは統計的に有意差が見られず、本測定法の妥当性が示された。

図 2.5 にみられるように、 MP_{fp} と MP_{am} との間には高い有意な相関関係がみられた。このことは低速から高速に至るまで、また歩行から走行まで、ハンドルバーによるパワー測定法が適切であることを示すものである。

MP_{am} の最大値はスプリント走において得られた。スプリント走におけるパワーは、絶対値では $543.53 \pm 77.16W$ (体重あたりでは $7.67 \pm 2.05W$) であった。先行研究のトレッドミルでワイヤもしくはロッドを牽引しながら疾走する方式の装置では、Falk ら (1996) が 16 歳の少年を対象としてスプリント走時のパワーを測定しており、絶対値で $598W$ 、体重あたりで $9.3W$ の値を報告している。また、Cheatham ら (1986) は $534.4 \pm 85W$ という報告をしており、これらの値は本実験のパワー値とほぼ近い値であった。

以上のことから、ハンドルバーに作用する力の測定から走パワーを算出する本測定方法は、走能力評価方法として使用することが可能であると考えられた。

第3節 走エルゴメータ走タイムとグラウンド走タイムとの比較

(1) 目的

走エルゴメータを用いた歩・走パワーの測定では、ハンドルバーを握りながら歩・走行する。したがって、運動の形態という観点からみれば、走エルゴメータを用いた歩・走行は、実際の歩・走行とは若干異なる。そこで、本節では、走エルゴメータを用いたスプリント疾走能力が屋外における全力疾走能力(グラウンド走能力)を反映するものであるかどうかを確認する目的で研究を行った。

(2) 方法

3)

1) 被験者

高校生陸上競技選手 18 名(男子 10 名,女子 11 名,身長 $173.9 \pm 4.7\text{cm}$,体重 $64.9 \pm 6.9\text{kg}$)が本実験の被験者として参加した。被験者の男女別の身体的特徴については表 2.2 に示す。各被験者はいずれも陸上競技の瞬発性種目を専門とする選手であり、各自の専門種目において、前年度の高校生を対象とした全国大会もしくは地区大会に出場し、各種目の専門的トレーニングを日常的に実施していた。測定に先立ち、被験者には本研究の目的および測定の内容と安全性についての説明を行い、全ての被験者、被験者の保護者およびコーチから同意書を得た。なお、全ての測定は 12 月から3月のオフシーズントレーニング期間中に実施し、トレーニング時間終了から 40 時間以上の間隔をあけて行った。

表 2.2 被験者の身体的特徴

<i>Group</i>	<i>N</i>	<i>Age</i> [yrs]	<i>Height</i> [cm]	<i>Weight</i> [kg]
<i>Female</i>	<i>N=10</i>	16.3 (0.7)	173.9 (4.70)	64.9 (6.90)
<i>Male</i>	<i>N= 8</i>	16.5 (0.5)	164.4 (4.70)	53.0 (0.80)

Mean (±SD)

2) 実験内容

第 II 章 第一節に記した走エルゴメータを用いて、スプリント走パワー (RP) の測定を実施した。なお、被験者らは走エルゴメータでのスプリント走を違和感なく実施できるように十分に練習を行った上で測定に臨んだ。RP の測定では、被験者に対して、立位で静止した状態から、出来るだけ速やかに最大速度に到達するように疾走すること、5 秒間にわたり全力疾走をすることを指示した。続いて、十分に休息をとった後に、全天候型陸上競技場において、50m 疾走タイム (T50) の計測を行った。被験者らは通常のランニングシューズを履き (ノースパイク)、立位で静止した状態からスプリント疾走を行った。50m 疾走タイムは、スタート地点における合図で記録を開始し、ゴールラインの通過までの時間を計測した。なお、タイムは電気式ストップウォッチを用いて百分の一単位で行い、百分の一秒を四捨五入した。

T50 の比較には、スタート直後から5秒間の RP の平均値 (RP_{5s}) および最大速度前後 6歩分の RP の平均値 (MP) の 2種類の RP を用いた。

3) 統計処理

RP と T50 の比較にはピアソンの相関係数を用いた。また、RP と T50 との分散の差の検定には一元配置の分散分析が用いられた。何れの統計処理においても、 $P < 0.05$ をもって有意とした。

(3) 結果

図 2.6 には T50 と RP_{5s} および MP との関係を示す。RP_{5s} および MP と T50 との相関係数は、それぞれ $r=0.689$ および $r=0.739$ であった。また、体重あたりの RP_{5s} (RP_{5s}/bw) および MP/bw と T50 との相関係数は、それぞれ $r=0.639$ および $r=0.635$ であった。さらに、走エルゴメータによるスタート後 5秒間の平均速度 (RV_{5s}) および最大速度 6歩分の平均速度 (MV) と T50 との相関係数は、それぞれ $r=0.773$ および $r=0.779$ であった。

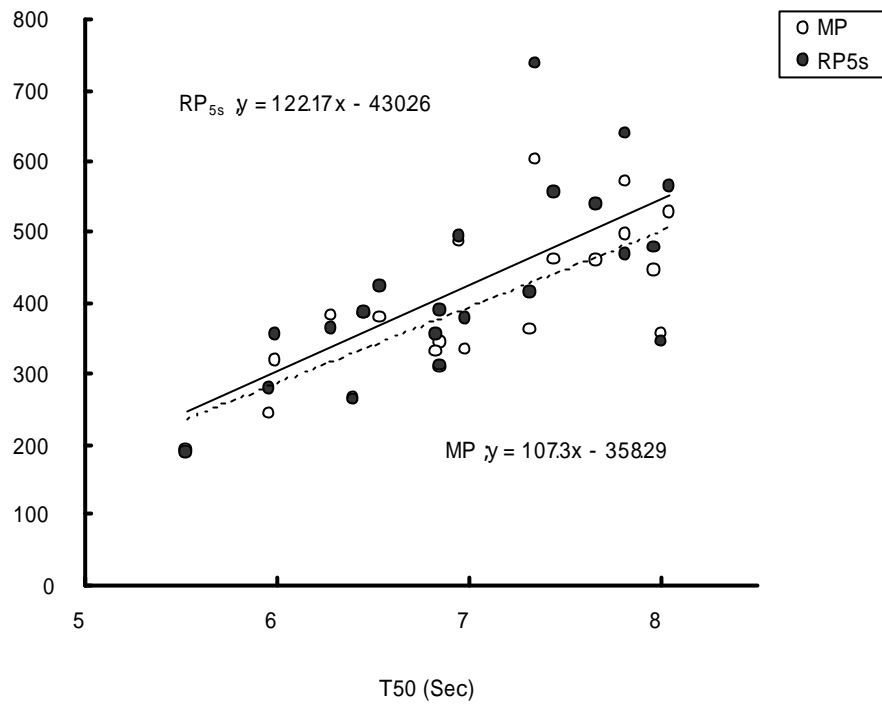


図 2.6 T50 とMP および RP_{5s} との関係

(4) 考察

走エルゴメータで発揮された走パワー (RP) はグラウンド走でのスプリントパフォーマンスと統計的に有意な高い相関関係が得られ, RP が疾走能力を表す指標として有効であることが確認された. なかでも, T50 との相関がより高かったのは MP であった. RP_{5S} にはスプリント疾走における加速局面のパワーも含まれる. また, T50 は加速局面も含んだ疾走タイムである. 従って, 当初は T50 との相関が高いのは RP_{5S} であると予測していた. しかしながら, 相関係数がより高いのは, RP_{5S} よりむしろ MP であった. いずれにしても, これらの結果から, 本方法による機械的パワーの測定値が被験者の全力疾走能力を反映するものであることが示唆された.

スプリント走時のピーク速度は $4.84 \pm 0.51 \text{m/s}$ であった. この値はグラウンドでのスプリント走速度よりもかなり低値である. この原因としては, 走エルゴメータによる走行では, トレッドミレベルトに対してドラムの慣性負荷が作用していることが考えられる. さらに, 走エルゴメータによる走行では, 両腕を水平位置にまっすぐに伸ばしハンドルバーを押し必要があるため, 運動中に腕の動きが制限されたことも走速度低下の原因として考えられる. しかしながら, この方法では, ハンドルバーを握ることで, スプリント走中もしくは全力走行中に身体を支持することができるため, 特に子どもや高齢者を被験者として測定を行う際には, 安全性を確保することができるという利点があげられる.

以上のことから, 走エルゴメータによる全力走パワーの測定値はグラウンド走能力を十分に反映したものであることが確認された.

第 4 節 走パワーの再現性

(1) 目的

同一個人が最大努力で作業を遂行した際に発揮される機械的パワーは, 常に一定の値であるとは限らない. しかしながら, 体力測定の一項目として歩・走パワーの測定を採用する際には, その測定値には高い再現性があることが求められる. また, 測定値を横断的あるいは縦断的に比較する際には, 測定値の変動の程度を確認しておく必要がある. そこで研究では, 同一個人が走エルゴメータを用いて最大努力でスプリント走を行う際に発揮される機械的パワーの再現性を確認する目的で行われた.

(2) 方法

1) 被験者

成人男女 83 名 (若年者 43 名, 年齢 22.19 ± 4.47 歳, 高齢者 40 名, 66.08 ± 7.44 歳) が被験者として本研究に参加した。被験者らは, 本研究への参加に先立ち, 研究目的および参加に伴う身体への負担等についての十分な説明を受け, 同意した上で参加した。

2) 実験内容

被験者らは, 第 2 章・第 1 節の走エルゴメータによる全力疾走時の走パワーの測定を, 最低でも半日以上の間隔を空けて 2 度行った (1 回目 = Test, 2 回目 = Retest とする.)。

3) 統計処理

Test と Retest の比較にはピアソンの相関係数を用いた。また, Test と Retest との分散の差の検定には一元配置の分散分析が用いられた。さらに, 各個人の Test と Retest における発揮パワーから, 測定値の差 (Limit of Agreement) と変動係数 (CV) が求められた。

(3) 結果

図 2.7 に Test と Retest の結果を示す。スプリント走パワーテストの結果, Test における全被験者の発揮パワーは 318.3 ± 252.56 W であり, Retest における全被験者の発揮パワーは 332.5 ± 248.99 W であった。Test と Retest における発揮パワーには, 有意差はみられなかった。また, Test と Retest との間には有意な相関係数 ($r=0.971, p<0.001$) が得られた。Test と Retest における測定値の差 (LA; Limit of Agreement) は -14.1 ± 60.34 W であった。また, LA の割合 (%LA) は $30.8 \pm 26.23\%$ であった。Test と Retest における変動係数 (CV) は $13.2 \pm 11.30\%$ であった。

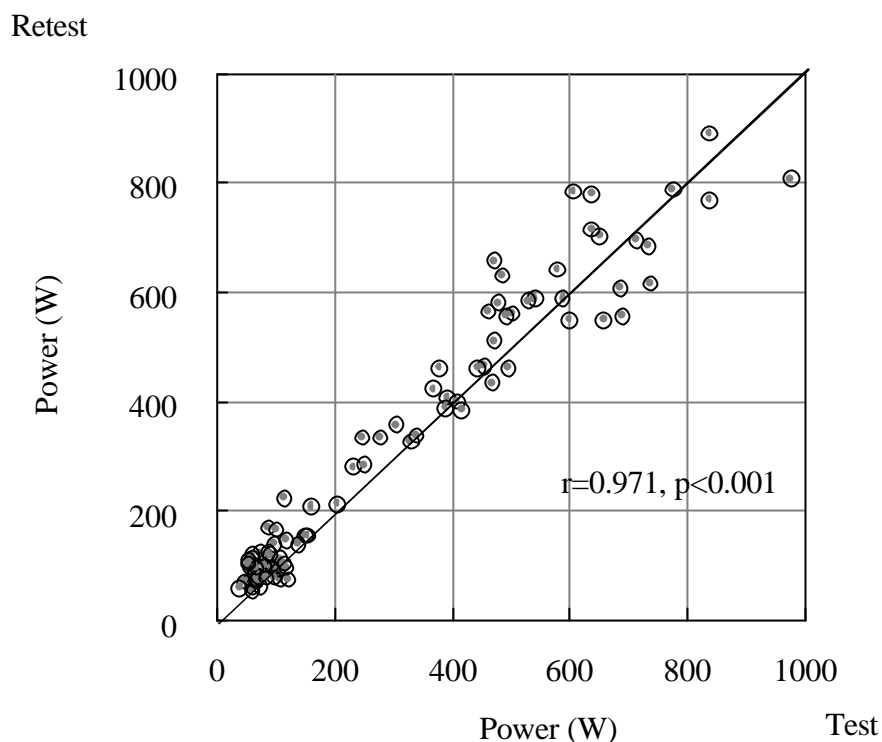


図 2.7 スプリン走テストの再現性テストの結果

Retest の結果を若年者と高齢者に分けてみると、若年者の Test と Retest における発揮パワーはそれぞれ $527.5 \pm 174.48\text{W}$ および $543.2 \pm 158.15\text{W}$ であり、両測定値間の相関係数は $r=0.892$ であった。一方、高齢者の Test と Retest における発揮パワーは、それぞれ $93.5 \pm 35.73\text{W}$ および $105.9 \pm 42.73\text{W}$ であった。また、両測定値間の相関係数は $r=0.690$ であり、若年者の方が高齢者より高い相関が得られた。

若年者の LA は $-15.7 \pm 78.60\text{W}$ であり、一方、高齢者の LA は $-12.4 \pm 31.56\text{W}$ であった。一方、若年者と高齢者の LA には有意な差は見られなかった。しかしながら、%LA は若年者と高齢者でそれぞれ $12.2 \pm 8.90\%$ および $30.8 \pm 26.23\%$ であり、高齢者の方が有意に高い値を示した。

CV は、若年者と高齢者で、それぞれ $8.3 \pm 5.58\%$ および $18.6 \pm 13.35\%$ であり、高齢者の方が有意に高い CV を示した ($p < 0.05$)。

(4) 考察

二度のスプリント走パワー測定の結果、両測定値の間には高い相関関係がみられた。歩・走パワーの測定を体力テストの項目として採用する際には、測定値に、高い再現性があることが求められる。体力測定における測定値の変動については、技術的変動 (Technical Variability) と生体的変動 (Biological Variability) とに分けて考えられており (Katch ら 1982, Coggan ら 1984)、技術的変動の少なさが測定法の信頼度を表すものであるという知見が一般的である。また、採用する測定方法に関しては、生体的変動の可能性について検討をしておく必要がある。

本測定方法における走パワーの2度の測定値には、 $r=0.971$ という相関係数が得られた。先行研究においては、走動作以外の身体動作における、機械的パワー測定値の再現性テストの結果が報告されている。古屋ら (1986) は脚伸展パワーテストにおいて、 $r=0.995$ ($p<0.001$) の高い相関係数を報告している。また、Cybex マシンなどを用いた等速性関節トルクの測定では、 $r=0.98$ から 0.99 の高い再現性が報告されている (Moffroid ら 1969, Lesmes ら 1978, Johnson と Siegel 1984)。一方、階段駆け上がりテストでは $r=0.85$ であった (Margaria 1966)。階段駆け上がりテストにおいてテストの再現性が低かった理由としては、このテストが測定機器によるものではないこと、多関節動作であることが考えられる。これらの報告値と比較すると、本実験の結果は、他の動作で測定機器を用いた値とほぼ等しく、また、動作様式の類似した階段駆け上がりテストの再現性よりも高い値が得られた。

再現性テストの結果を、高齢者と若年者に分けてみると、若年者の方が高い相関係数が得られた。従って、高齢者を測定する際には、動作に対する慣れや疲労の影響を考慮して測定を実施する必要があることが示唆された。しかしながら、高齢被験者の場合には、力やパワーの発揮に対する生体的変動が若年被験者に比較して大きいことも考えられる。そのことを考慮に入れると、相関係数の比較では高齢者が若年者よりも劣るものの、高齢者における測定値の再現性は統計的には有意であり、走エルゴメータによるパワー測定の有効性が示される。

以上のことから、本研究に用いた走エルゴメータ法で発揮される走パワーの測定の再現性は充分達成されていると判断された。

第 5 節 筋放電量からみた歩・走動作の比較

(1) 目的

走エルゴメータを用いた歩・走行では、両腕でハンドレバーを握りながら運動を行うために、実際のグラウンドにおける歩・走行とは運動の形態が若干異なり、特に両腕の動きが制限されるといえる。そこで、本節では、歩・走行における体幹および下肢の動きについて、筋放電量の変化から、走エルゴメータを用いた歩・走行とグラウンドにおける通常の歩・走行とを比較した。

(2) 方法

1) 被験者

成人男子 1 名 (年齢 30 歳, 身長 167.0cm, 体重 75 kg) が被験者として本実験に参加した。被験者は日常、とくに定期的な運動習慣はないものの、走エルゴメータを用いた歩・走行には慣れていて、被験者は、本実験に先立ち、本実験の目的および参加に伴う身体への負担などに関する説明を十分に受けた上で本実験に参加した。

2) 実験内容

被験者はエルゴメータ走およびグラウンド走の両方において、以下の試行により歩行もしくは走行を実施した。実施した試行は低速、中速および高速度での歩行と走行、およびスプリント疾走であった。被験者の右側下肢筋群より筋放電量を記録した。筋放電量は、直径 3cm の表面電極 (ブルーセンサー, NEC-GE マルケット社製) を用いて双曲誘導により、電極間距離 3cm で取得した。筋電図の取得はテレメータ方式のバイオアンプ (MultiTelemeter, 日本光電社製) を用いて行い、受信機より取得したデータを AD 変換器 (PowerLab 16s, AD Instruments 社製) を用いてデジタル化した後、サンプリング周波数 1kHz でパーソナルコンピュータ (Apple iBook/ 500/ Dual USB, Apple Computer Inc.) に取り込み、ソフトウェア (Chart4.1.1, AD Instruments 社製) 上で全波整流した後に、片脚 3 歩分の平均筋放電量 (mEMG) を算出した。歩数の特定は、歩・走行中に被験者の右側方よりビデオカメラ (VFC-1000, FOR.A 社製) により、フレームレート 90Hz で映像を撮影し、歩・走動作を解析することで行った。撮影したビデオ画像は、10 芯の ETHERNET 用ストレートケーブルを用いて、カメラから直接パーソナルコンピュータに取り込み、AVI 形式で保存した。AVI ファイルを基に、動作解析用ソフトウェア (Winanalyze 1.55, Mikromak 社ドイツ製) を用いて、歩・走動作の解析を行

った。

(3) 結果

図 2.7 に、エルゴメータ走とグラウンド走での低・中・高速度における歩・走行、そしてスプリン疾走における3歩分筋電図による平均電圧 (mEMG) 変化を示す。歩・走速度の増加に伴う筋放電パターンと mEMG 量が、両環境間で著しく異なるのは腹部であり、グラウンド走では歩・走速度の増加に伴い腹部の筋放電量が顕著に現れるのに対して、エルゴメータ走では筋放電量の顕著な増加は示されなかった。一方、下肢筋群では両環境ともに、何れの部位の mEMG も歩・走速度の増加に伴いほぼ同じパターンで増加した。

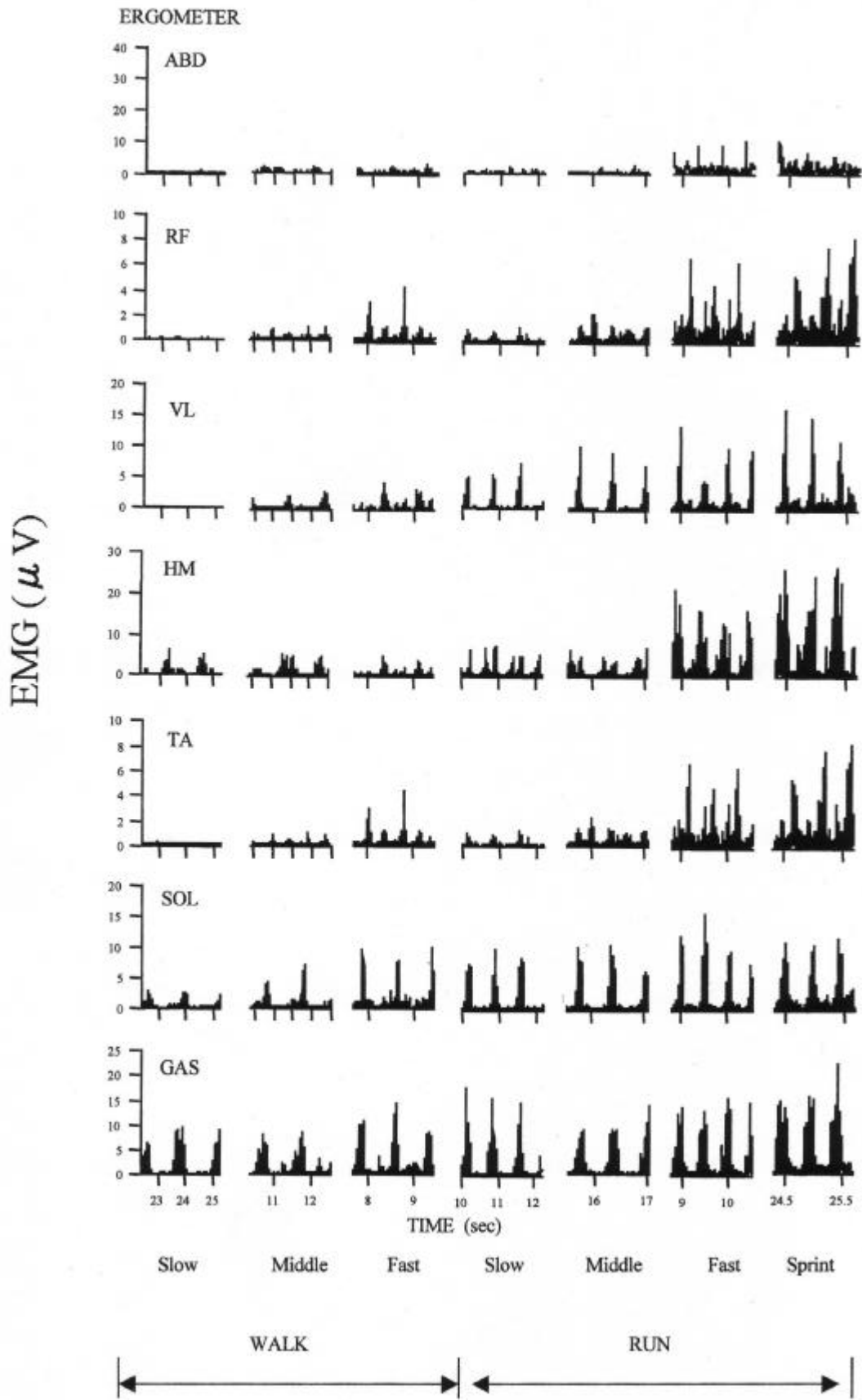


図 2.8.a 速度変化に伴う筋放電量変化 (エルゴメータ走)

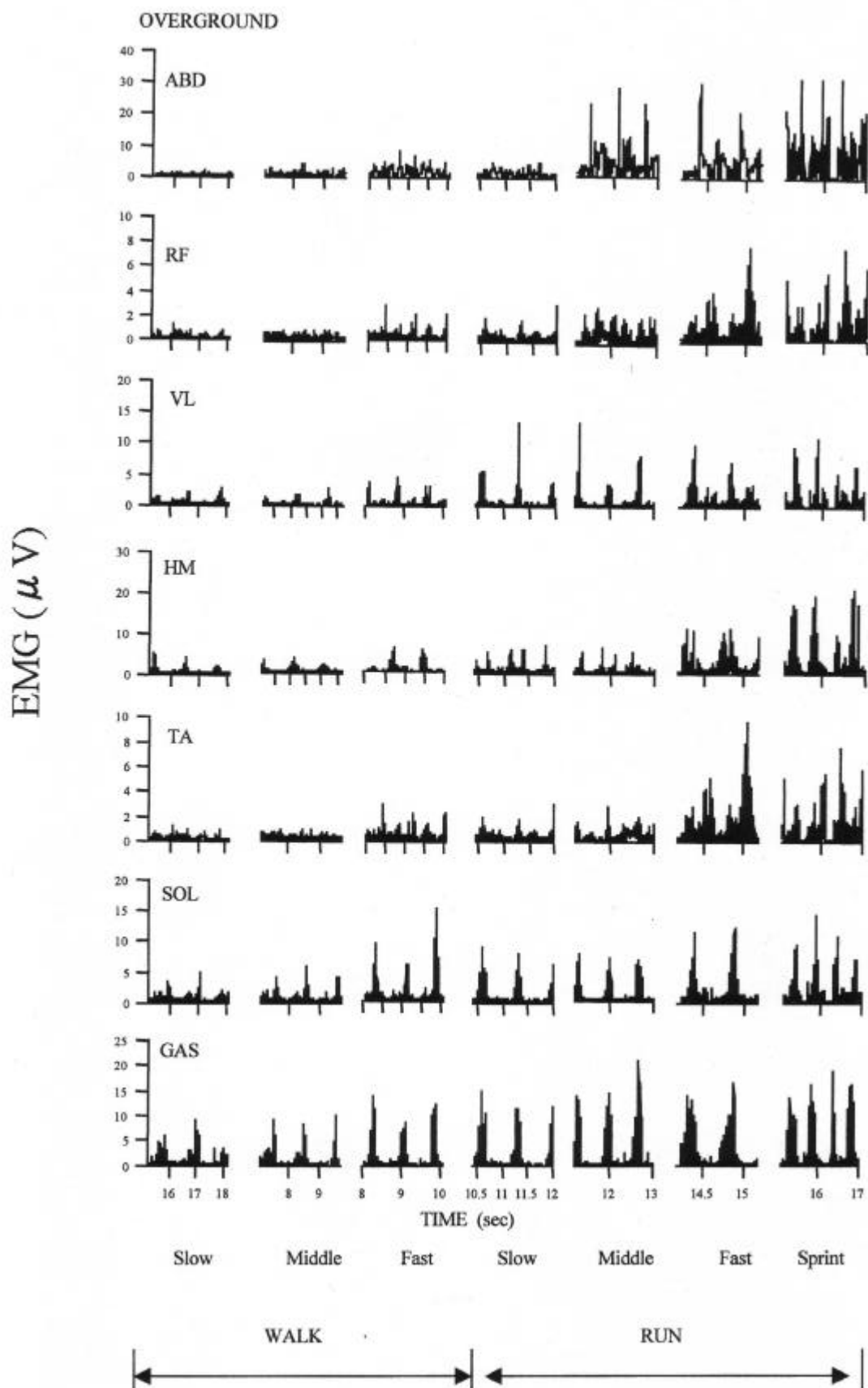


図 2.8.b 速度変化に伴う筋放電量変化 (グラウンド走)

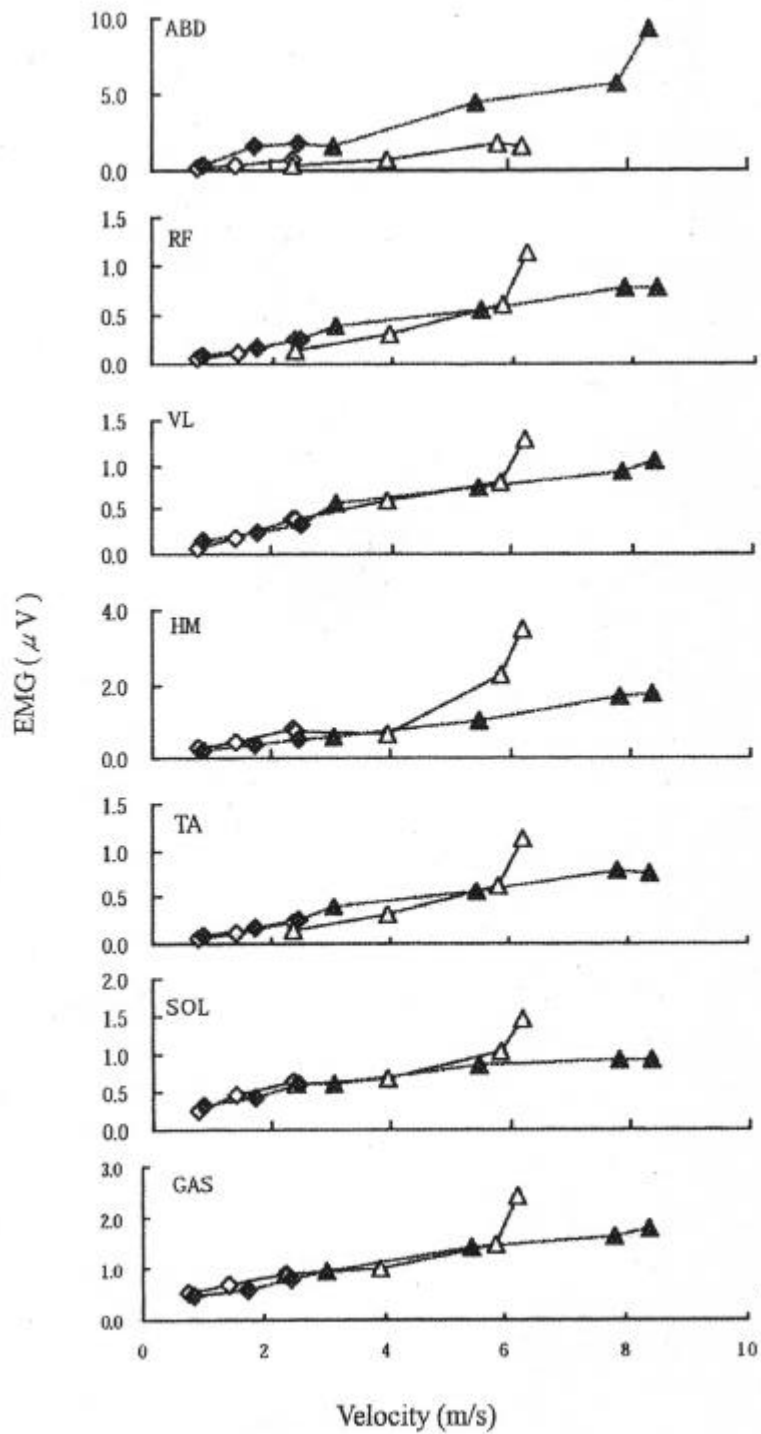


図 2.8.c 速度変化に伴う筋放電量変化 (片脚 3歩分の mEMG)

ER とOG はそれぞれエルゴメータ上とグラウンド上での歩・走行を示す。

△ はそれぞれグラウンド上での歩行と走行を示し、○ はそれぞれエルゴメータ上での歩行と走行を示す。

(4) 考察

本実験では、エルゴメータ走とグラウンド走での mEMG を比較した。その結果、走エルゴメータを用いたスプリント走とグラウンド走では、腹筋の mEMG 量は大きく異なるものの、低速歩行から高速走行に移行するのに伴う下肢の mEMG 値は、ほぼ同様の増加を示した。また、スプリント疾走では、エルゴメータ走とグラウンド走では走速度は異なるものの、両環境における下肢の mEMG 量はほぼ同値であった。このことはエルゴメータ走ではあっても最大努力で疾走した場合には、それに応じた筋活動が下肢筋において発揮されていることを示すものである。

以上のことから、走エルゴメータ法による下肢筋群の活動パターンはグラウンド走時のそれとほぼ同じ傾向を示し、下肢の筋活動からみた場合にはエルゴメータ走の評価はグラウンド走のそれを代表するものであると考えられる。

第 6 節 結論

本章では、走エルゴメータ法による歩・走パワー測定について、推進力測定法の妥当性の検討(第 2 節)、走パワー発揮能力とグラウンド走能力との比較(第 3 節)、走パワー測定値の再現性の検討(第 4 節)、そして筋放電量からみたエルゴメータ走とグラウンド走の動作の比較(第 5 節)を行った。その結果、エルゴメータによる推進力の測定値は水平方向床反力をほぼ代表し、走パワー発揮能力はグラウンド走能力を意味した。そして走パワー測定値の高い再現性がみられた。さらに、走エルゴメータによる歩行・走行時の EMG 変化から、下肢筋についてはグラウンド走において発揮されるのと同様の筋放電がみられた。これらの結果から、走エルゴメータ法による歩・走パワー測定が走能力評価として有効であると考えられた。

第 III 章 歩・走パワー発揮能力にみられる性差

(1) 目的

競技スポーツの記録は,一般的にみて,男子の方が女子よりも良い.この背景としては,身体組成や運動機能など,様々な点で男子が女子よりも優れていることがあげられるが,特に,一般的に女性の身体は男性に比較して,脂肪の量が多く,筋の量が少ないことが筋パワーや身体の動作スピード,そしてスポーツパフォーマンスにおける性差の要因となっている.しかしながら,筋パワーの男女差は,発揮パワーを除脂肪体重あたりで正規化した場合にもみられる現象(Bosco と Komi 1980 や Skelton ら 1994)であり,このことから,パワー発揮能力の男女差の原因を単に筋量の差のみに帰すことはできない.特に,種々な筋が複雑に作用しあう動作で発揮されるパワーでは,単なる筋の機能以外の要因も考えなければならない.

そこで,本章では,若年成人男女を対象として,歩・走パワー発揮能力の男女差を明らかにすること,そして歩・走パワーを決定する要因を,身体組成および筋機能の側面から明らかにすることを目的とする.

(2) 方法

1) 被験者

成人男女 88 名(女子 29 名, 23.8 ± 3.28 歳,男子 59 名, 24.1 ± 3.24 歳)が被験者として本研究に参加した.被験者の身体的特徴を表 3.1 に示す.測定に先立ち被験者に対して,本研究の目的および測定の実施内容,参加に伴う身体への負担に関する十分な説明を行い,各被験者から参加に関する同意書を得た.なお,本研究は東京大学大学院生命環境科学系倫理委員会の承認を得て行われた.

表 3.1 被験者の身体的特徴

Group	N	Height [cm]	Weight [kg]	%FAT [%]
Female	N=29	158.0 (5.47)	50.9 (4.59)	19.9 (4.31)
Male	N=59	172.4 (5.03)	67.6 (10.10)	16.0 (5.27)

Mean (± SD)

2) 歩・走パワーの測定

歩・走パワー(それぞれ歩P,走Pとする)の測定は,本論文第 4 章・第 2 節に示す方法で行った.被験者は本測定に先立ち,走エルゴメータを用いた歩行・走行に慣れることを目的として,以下のウォーミングアップを実施した.まず,被験者はエルゴメータ前方に設置された速度計を見ながら時速 3km,4km および 5km の 3 種類の速度で,各 60 秒間ずつ,連続的に歩行した.歩行終了後,被験者自身の主観による低速・中速・高速の 3 種類の速度で,各 5 分ずつ走行した.ウォーミングアップ終了後,3 分間の完全休息をとった後にテストを行った.テストの内容は,全力での歩行と走行をそれぞれ 7 秒間ずつ実施するものであった.なお,歩行と走行の間には約 1 分の休息を挟んだ.

7 秒間の全力歩行もしくは走行のうち,ほぼ最大速度が出現した時点の前後 6 歩分に対応する速度,力およびパワーの平均値を分析の対象とした.なお,歩数の特定は,速度の振幅から読みとった.また,歩数と速度から 6 歩分の平均ピッチとストライド長を算出した.

以上の方法により算出した走行時のパワー,速度,ピッチおよびストライドを,それぞれ走P,走V,走SF および走SL とした.また,歩行時のそれらを,それぞれ歩P,歩V,歩SF および歩SL とした.

2) 筋厚の測定

超音波画像診断装置(SSD500, ALOKA 社製)を用いて,Abe ら(1994)の方法に従い,大腿直筋(RF),大腿部前面(QF),大腿部後面(HM),下腿部前面(TA)および下腿部後面(GAS)の筋厚を測定した.各部位の測定位置は,大腿部が近位から 50%,下腿部が近位から 30%の部位であった.測定時の被験者の姿勢は安静立位であり,超音波発振周波数は 5MHz もしくは 3.5MHz であった.超音波横断画像に基づき,皮下脂肪と筋,筋と骨の各組織間の境界線を筋厚として分析した.なお,各部位の筋厚値に含まれる筋群は,QF では大腿直筋および中間広筋,HM では大腿二頭筋長頭と短頭,半膜様筋および半腱様筋,TA では前脛骨筋および長指伸筋,GAS では腓腹筋内・外側頭およびヒラメ筋であった.

3) 関節トルクの測定

関節トルクの測定には等尺性トルクメータ(VINE 社製)を用いた.股関節屈曲およ

び膝関節伸展・屈曲トルクは、椅座位で股関節と膝関節の角度が90度の状態で測定を実施した。足関節底屈・背屈トルクは椅座位で股関節角度90度、膝関節角度0度(完全伸展位)および足関節角度90度で測定を実施した。被験者は各試行において3秒間の力発揮を行い、そのうちの最大値が採用された。

4) 統計処理

いずれの項目においても測定結果は平均値±標準偏差により表した。また、平均値における各群間の差の有意性は、Studentのtテストにより検定を行った。測定値間の相関の指標としてピアソンの相関係数を求めた。相関係数の有意性についてはFisherの r の変換による検定により判定した。また、歩・走パワーに影響を及ぼす要因として、増加法の変数選択重回帰分析(ステップワイズ法)を用い、性別、身長、体重および筋厚から歩・走パワーをそれぞれ予測するための一次関数式を求めた。さらに、関数の当てはまり具合の有意性を検定した。

(3) 結果

1) 走Pと歩P

女子と男子の走Pと歩Pの測定結果を表3.2に示す。女子の走Pは男子の54.1%であり、走Pには有意な性差がみられた。また、走Pを体重あたりで比較した場合には発揮パワー(走P/bw)の男女差は小さくなり、女子のパワーは男子の71.2%であった。走Vについて女子は男子の74.3%であり、その差は統計的に有意であった。走Vをピッチ(走SF)とストライド長(走SL)からみた場合、走SFと走SLの両方に有意な性差がみられ、女子の走SFと走SLはそれぞれ男子の90.9%および80.4%であった。

歩Pについても有意な男女差が見られたが、男女差は走Pよりも小さく、女子の歩Pは男子の84.4%であった。一方、体重あたり歩P(歩P/bw)は女子が男子よりも高値であり、女子は男子の101.4%であったが統計的な有意差はみられなかった。歩Vには有意な性差がみられ、女子の歩Vは男子の90.0%であった。歩Vをピッチ(歩SF)とストライド長(歩SL)からみた場合には、女子の歩ピッチは男子の102.8%であったが、この差は有意ではなかった。一方、歩SLには有意な性差がみられ、女子の歩SLは男子の87.8%であった。

表 3.2 歩 走パワーの測定結果

			Female N=29	Male N=59
Running	Power	[W]	166.70 (67.01)	308.27 (116.04)
	Power	[W/kg]	3.29 (1.38)	4.62 (1.72)
	Velocity	[m/s]	3.76 (0.84)	5.06 (0.96)
	Force	[N]	42.94 (8.84)	59.26 (14.31)
	Step Frequency	[Hz]	3.90 (0.50)	4.29 (0.50)
	Step Length	[m]	0.96 (0.16)	1.18 (0.20)
Walking	Power	[W]	71.44 (23.74)	91.78 (27.73)
	Power	[W/kg]	1.40 (0.42)	1.38 (0.41)
	Velocity	[m/s]	2.08 (0.37)	2.31 (0.41)
	Force	[N]	33.69 (5.92)	39.12 (5.91)
	Step Frequency	[Hz]	2.90 (0.46)	2.82 (0.44)
	Step Length	[m]	0.72 (0.07)	0.82 (0.09)

Mean (± SD)

2) 下肢筋厚

表 3.3 に下肢筋厚の測定結果を示す . 下肢筋厚は何れの部位 (RF , QF, HM , TA , GAS) においても男子が女子よりも高値であった . 6部位のうちで最も群間の差が大きかったのは GAS であり , 女子の GAS は男子の 84.7% であり , ついで HAM の差が大きく , 女子は男子の 85.2% であった . 最も性差が小さかったのは TA であり , 女子は男子の 88.6% であった .

表 3.3 下肢筋厚の測定結果

RF : 大腿直筋 , QF : 大腿前部 , HM : 大腿後部
TA : 下腿前部 , GAS : 下腿後部

	Female N=29	Male N=59
RF	23.13 (3.05)	27.04 (3.56)
QF	45.91 (6.36)	52.63 (7.15)
HM	55.59 (5.53)	65.28 (6.63)
TA	27.58 (3.41)	31.13 (2.86)
GAS	60.50 (5.18)	71.47 (6.51)

Mean (± SD) mm

3) 関節トルク

両群における関節トルクの測定結果を表 3.4 に示す。関節トルクは HF, KE および KF の何れも男子が女子より有意に高かった。関節トルクのなかで最も性差が大きかったのは KF であり, 女子の FK は男子の 47.7% であった。次いで性差が大きかったのは KE であり, 女子の発揮トルクは男子の 52.4% であった。最も性差の少なかったのは HF であり, 女子の発揮トルクは男子の 58.6% であった。

表 3.4 下肢関節トルクの測定結果

	Female N=29	Male N=59
Hip Flexion	99.5 (22.30)	169.7 (38.56)
Knee Extension	88.0 (25.36)	168.0 (47.32)
Knee Flexion	51.5 (13.83)	107.9 (26.79)
Plantar Flexion	107.5 (41.61)	192.3 (53.57)
Dorsiflexion	18.9 (3.27)	30.4 (6.45)

Mean (\pm SD) Nm

4) 歩・走パワーと下肢筋厚, 関節トルクとの関係

表 3.5 に歩・走 P と筋厚および関節トルクとの相関係数を示した。全データを分析の対象とした場合, いずれの関節トルクも走 P との間に強い相関関係にあった ($r=0.654 \sim 0.710$)。なかでも, 走 P との相関が最も高かったのは HF であった。相関係数を男女別に見た場合には, 男子では走 P との相関が最も高かったのも HF であったが ($r=0.613$), 女子では, 相関係数が最も高かったのは KF であった ($r=0.344$)。一方, 全データにおいて歩 P との相関係数が最も高かったのは KF であった ($r=0.511$)。歩 P は男女ともに, KF との相関係数が最も高かった, (女子 $r=0.531$, 男子 $r=0.389$)。

走 P と最も高い相関係数を示した筋厚は, 男女全体で見ただけの場合には, HAM ($r=0.585$) であった。男女別に見た場合でも男女ともに HAM (それぞれ $r=0.391$ および $r=0.371$) との相関係数が最も高かった。歩 P との相関係数がもっとも高かった筋厚部位は, 男女全体では HM ($r=0.471$) であった。しかしながら, 女子では GAS ($r=0.481$)

がもっとも高く,男子では RF ($r=0.369$)が最高値を示し,性別による差異がみられた。変数選択重回帰分析の結果,走 P と歩 P を予測するための一次関数式を求めた。求められた関数式のあてはまり具合はとも有意であり($p<0.001$),走 P を目的変数とする一次式の説明変数としては性別 (回帰係数=-81.145)と HM の筋厚 (回帰係数=6.239)が選択された。一方,歩 P を目的変数とする一次式の説明変数として RF の筋厚 (回帰係数=1.758)と HM の筋厚 (回帰係数=1.201)が選択された。

表 3.5 歩・走パワーと関節トルク,筋厚との相関関係

		N	Correlation Coefficient		
			All	Female	Male
Running	Muscle Thickness	Rectus Femoris (88)	0.500 ***	0.136 NS	0.371 **
		Quadriceps Femoris (88)	0.341 ***	0.248 NS	0.120 NS
		Hamstrings (88)	0.585 ***	0.371 *	0.391 **
		Tibialis Anterior (88)	0.397 ***	0.324 NS	0.139 NS
		Gastrocnemius (88)	0.565 ***	0.269 NS	0.340 **
	Joint Torque	Hip Flexion (88)	0.710 ***	0.119 NS	0.613 ***
		Knee Extension (88)	0.675 ***	0.338 NS	0.514 ***
		Knee Flexion (88)	0.654 ***	0.344 NS	0.446 ***
	Walking	Muscle Thickness	Rectus Femoris (88)	0.432 ***	0.205 NS
Quadriceps Femoris (88)			0.228 *	0.237 NS	0.044 NS
Hamstrings (88)			0.471 ***	0.361 *	0.348 **
Tibialis Anterior (88)			0.352 ***	0.096 NS	0.295 *
Gastrocnemius (88)			0.453 ***	0.481 **	0.265 *
Joint Torque		Hip Flexion (88)	0.348 ***	0.173 NS	0.156 NS
		Knee Extension (88)	0.431 ***	0.378 *	0.270 *
		Knee Flexion (88)	0.511 ***	0.531 **	0.389 **

Values are correlation coefficient (r)

表 3.6 歩・走パワーを予測する回帰分析の結果

Equation	R	R ²	P
走 P= -98.979-81.145Gdr+6.239HM _{MT}	0.638	0.407	<.0001
歩 P= -34.763+1.758RF _{MT} +1.201HM _{MT}	0.511	0.261	<.0001

Gdr :性別, HM_{MT} 大腿後部筋厚, RF_{MT} :大腿直筋筋厚

(4) 考察

本章では、走エルゴメータ法による走Pと歩Pの測定値の男女差を比較した。その結果、歩Pと走Pは、ともに男子が女子の値を大きく上回った。また、重回帰分析により歩Pと走Pの決定因子を検討した結果、走PにはHMの筋厚が、歩PにはRFおよびHMの筋厚があげられた。

つまり、歩行であれ走行であれ、大腿後部の筋群が走及び歩パワーを決定する因子として検出された。HMの働きとしては、股関節伸展と膝関節屈曲が考えられ、これらの動作は、歩・走行中に大きな推進力によりストライド長を獲得する上で重要な役割を果たすと考えられる。HMの収縮により発揮される力は、その解剖学的付着部からみて、股関節伸展と膝関節屈曲トルクを生み出すものである。本研究においても、歩・走パワーと最も高い相関関係を示した関節トルクは股関節屈曲および膝関節屈曲であった。一方、RFは股関節屈曲および膝関節伸展動作に作用する筋群である。これらの動作の歩・走運動に及ぼす働きとしては、後方に蹴った脚を前方にスイングすることであり、ピッチを高める上で重要な役割を果たすと考えられる。

先行研究により、歩・走行の速度やストライド長は下肢筋力と有意な相関関係にあることが報告されており(Bohannonら1996, Cunninghamら1982, 淵本ら1999, Johanssonら1987, 金ら2000, Ringsbergら1999, Shinkaiら2000, 田井中ら2002), 歩・走行における下肢筋力の重要性が示唆されている。本研究においても歩Pと走Pは関節トルクや下肢筋厚との間に有意な相関を示した。また、関節トルクと筋厚は何れの部位や試行にも有意な性差を示した。従って、歩・走Pに男女差をもたらした要因の一つとして、特に大腿後部を中心とした下肢筋群における形態やそれによる力発揮特性が関係すると考えられた。

(4) 結論

本章では成人男女における歩・走パワー発揮能力の性差について、下肢筋厚および下肢関節トルクとの関係から検討した。その結果、歩パワーと走パワーには、ともに有意な性差がみられた。しかしながら、これらを体重あたりでみた場合には、走パワーには性差がみられたものの、歩パワーには性差はみられなかった。相関分析の結果、歩パワーには大腿直筋と大腿後部の筋厚が、そして走パワーには大腿後部筋厚と性別が影響を及ぼすことが示された。

第 IV 章 歩・走パワーの加齢変化

(1) 目的

ヒトにとって歩行や走行(以下,歩・走行)は生活の基本となる身体運動であり,加齢に伴い歩・走行能力が低下することは即ち,快適に生活することや有意義な社会的活動を行うことを身体的に制限されることを意味する.そのため,ヒトの歩行能力の加齢に伴う変化についてはこれまでも多くの研究者により報告されている(Himannら1987,Bohannonら1996,Cunninghamら1982,DeVitaら2000,淵本ら2000,淵本ら1999,淵本ら1998,形本ら2000,形本ら1998,金ら2000,Marey1887,Ringsbergら1999,Shinkaiら2000).これらの報告の多くは,歩・走行能力の指標として速度を用いるのが一般的であった.

歩・走行もまた,他の身体運動と同様に筋の機能により為される運動であるため,その能力は速度のみならず,その際に身体により作用された力,およびその両者の積である機械的仕事率(パワー)により評価する必要がある.歩行と走行中の機械的パワーの算出には圧力盤で測定した床反力と加速度計あるいはビデオ映像により求められた速度とを用いるのが一般的である.しかしながら,この方法は,実験のセッティングやデータ解析が煩雑であるために,多大な時間と労力を要する.また,パワーを測定出来る歩数は圧力盤の枚数に限定されるため,これまでのところ多人数を対象とした測定・評価には不向きであるとされてきた.このため,歩・走パワーの加齢変化について,広範囲の年齢層について報告した研究は少ない.そこで,本章では走エルゴメータを用いて,多人数を対象とした歩・走パワーの加齢に伴う変化について横断的に検討することを目的とした.

(2) 方法

5) 被験者

成人男性 209 名 (39.35 ± 15.68 歳, 20 ~ 73 歳) が本研究に被験者として参加した. 被験者らは健康であったが, 日常において習慣的にスポーツトレーニングは実施していなかった. 測定に先立ち, 被験者らは本研究の目的および参加に伴う身体への負担などに関する十分な説明を受け, 同意した上で測定に参加した. 被験者らは, 年齢により 20 歳代, 30 歳代, 40 歳代, 50 歳代, 60 歳代および 70 歳以上の 6 群に分類された. 各群の人数, 平均年齢, 身長および体重は表 4.1 に示す.

表 4.1 群別被験者の身体的特徴

群<人数>	Age [yrs]	Height [cm]	Weight [kg]
20 歳代 <70>	23.20 (3.29)	172.78 (5.67)	67.13 (11.03)
30 歳代 <51>	34.57 (2.82)	171.99 (5.25)	70.91 (10.40)
40 歳代 <30>	44.43 (3.21)	168.87 (5.44)	66.03 (8.42)
50 歳代 <31>	53.61 (3.14)	166.67 (4.99)	64.89 (7.25)
60 歳代 <15>	65.47 (2.61)	160.63 (5.15)	58.30 (4.19)
70 歳代 <12>	71.67 (0.89)	160.98 (4.49)	57.95 (6.55)

平均値 ± (SD)

6) 歩・走パワー測定

歩・走パワーの測定と評価は第 II 章・第 1 節の装置を用いて,第 III 章・第 2 節 (2)の方法で行った.

7) 統計処理

各測定項目について,年齢群毎の平均値および標準偏差を算出した.なお,各変数における群間の比較は一元配置の分散分析で行い,分散に有意差の認められた場合には,Scheffe 法により多重比較検定を行った.また,各群における歩行と走行の変数間の比較には,対応のある t 検定を実施した.

(3) 結果

1) 歩・走パワー

歩・走パワー測定の結果を図 4.1 に示した.20 歳代の歩 P と走 P はそれぞれ, $108.37 \pm 49.39W$ および $296.39 \pm 101.64W$ であった.以降,走 P と歩 P はともに加齢に伴いほぼ直線的に低下する傾向を示した.しかしながら,その低下率は,歩行と走行とではやや異なり,70 歳代における歩 P と走 P はそれぞれ $61.94 \pm 19.97W$ および $119.10 \pm 36.63W$ であった.

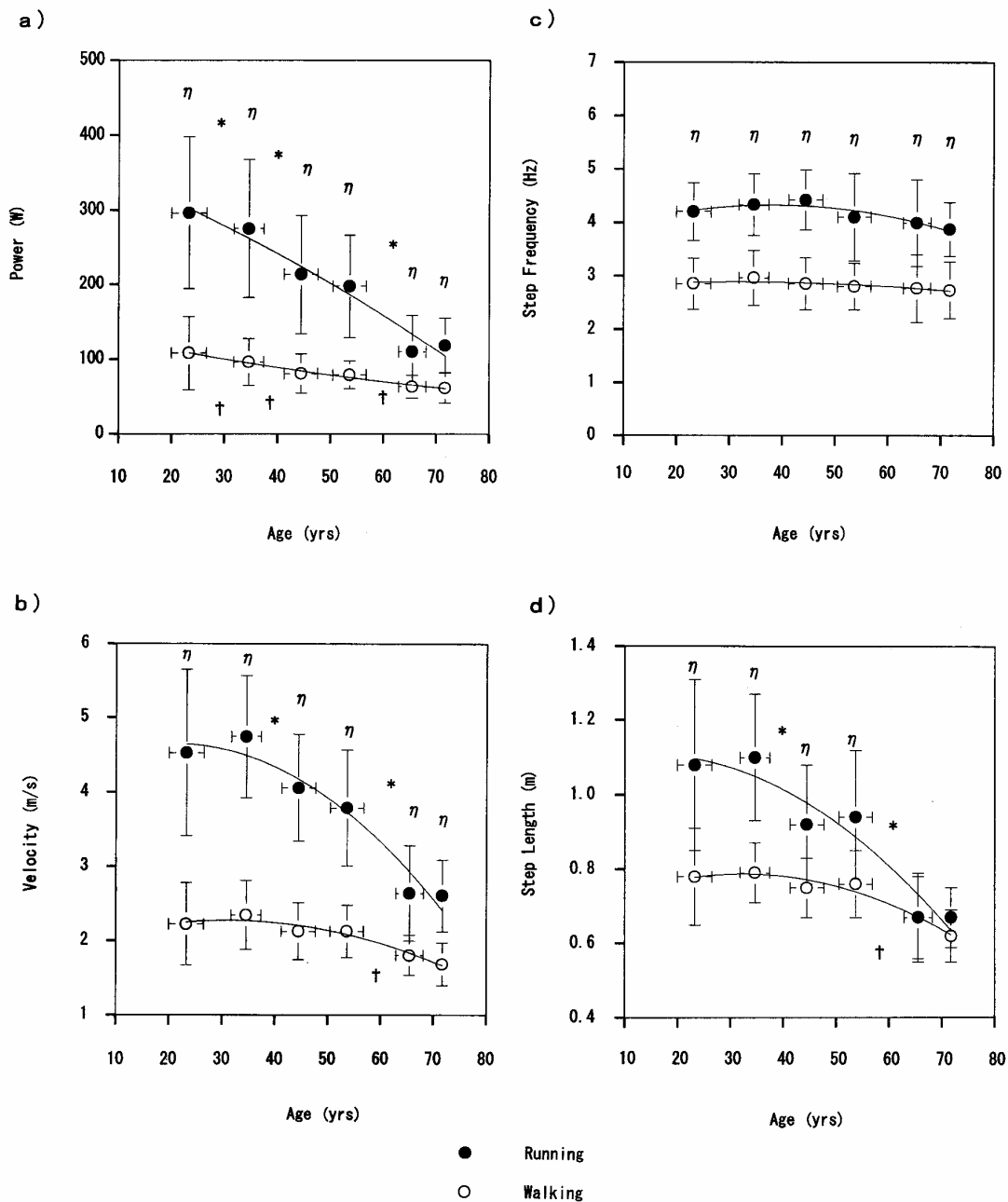


図 4.1 加齢に伴う
 a)パワー , b)速度 , c)ピッチおよび d)ストライドの変化

図中の*は走行における群間の差 , †は歩行における群間の差 ,そして η は歩行と走行の間の差を示す ($p < 0.05$).

2) 歩・走速度

20 歳代における歩 V と走 V は ,それぞれ $2.23 \pm 0.55\text{m/s}$ および $4.53 \pm 1.12\text{m/s}$ であった .以降 ,およそ 50 歳代に至るまで ,歩 V には有意な変化は見られなかった .しかしながら ,歩 V は 50 歳代以降に有意な低下を示し ,60 歳代では $1.81 \pm 0.27\text{m/s}$,さ

らに 70 歳代においては $1.69 \pm 0.29\text{m/s}$ であった。走 V は加齢に伴い低下する傾向を示し、70 歳代の走 V は $2.61 \pm 0.48\text{m/s}$ であった。

3) ピッチとストライド長

20 歳代における歩 SF と走 SF は、それぞれ $2.86 \pm 0.48\text{Hz}$ および $4.21 \pm 0.54\text{Hz}$ であった。その後、ストライド長は加齢に伴い僅かな減少を示すものの、歩 SF と走 SF には統計的に有意な変化はみられず、70 歳代の歩 SF と走 SF は、それぞれ $2.74 \pm 0.53\text{Hz}$ および $3.88 \pm 0.50\text{Hz}$ であった。以上のように、ピッチが加齢により有意な変化を示さなかったのに対して、ストライド長は速度の加齢変化と同様に、ある年代を境界として急激な低下を示した。つまり、20 歳代の歩 SL と走 SL はそれぞれ、 $0.78 \pm 0.13\text{m}$ および 1.08 ± 0.23 であり、50 歳代まではほとんど変化せず、50 歳代ではそれぞれ $0.76 \pm 0.09\text{m}$ および 0.94 ± 0.13 であった。しかしながら、その後は急激に低下し、60 歳代においては歩 SL と走 SL とでそれぞれ $0.67 \pm 0.12\text{m/s}$ および $0.67 \pm 0.11\text{m}$ であり、さらに 70 歳代においてはそれぞれ 0.62 ± 0.07 および 0.67 ± 0.08 であったが、歩・走行間に有意差がみられなかった。

(4) 考察

歩 P と走 P の加齢に伴う変化について、20 歳代から 70 歳代の男性を対象として検討した。その結果、歩 P と走 P はともに加齢に伴い直線的に低下する傾向を示した。しかしながら、歩 P と走 P では、加齢による低下量が異なった (10 歳あたりの低下量は歩 P と走 P でそれぞれ 10W と 30W)。一方、歩 V と走 V は若年群 (20 ~ 30 歳代) でピークを示し、その後は歩 V と走 V とでそれぞれ 50 歳代および 40 歳代まではほぼ一定の値を示し、その以降は加齢に伴い直線的に低下した。加齢に伴い走パワーが直線的に低下するという傾向は、先行研究において、四肢関節の伸展・屈曲動作パワーが 40 歳代から低下を始め、その後も加齢とともに直線的に低下するという報告 (Funato ら 1994) と同様の傾向である。

一方、垂直跳び動作では、力とパワーは 20-30 歳代でピーク値に至り、その後はおよそ 45-50 歳まではその値を維持し、それ以降の年齢では低下するという報告もある (Bosco と Komi 1980, Viitasalo ら 1985, Young 1992)。パワーの加齢変化が直線的

であるか、ある年齢を境界として急激な低下を示すかについては、力と速度、それぞれの加齢に対する低下の割合による。本実験では、高齢者群（70歳代）の走パワーは若年者群のおよそ40%を示した。この背景には、走速度と推進力が加齢に伴いともに低下した（それぞれ高齢者の60%および65%）ことがある。これに対して、筋パワーの加齢変化に関する先行研究（BoscoとKomi 1980）では、筋パワーの低下には力の低下は伴わず、速度の低下が大きく影響を及ぼすことが報告されている。しかしながら、本研究で比較しているパワーと速度とは、最大速度での歩・走行時に発揮されるパワーであり、これに対して、先行研究の多くでは、最大パワーを発揮した時の力と速度を比較しており、先行研究とのパワーの加齢変化の様相にみられる差異は、パワー算出方法の違いによるものであるかもしれない。

歩行能力の加齢変化に関してはこれまでに多くの報告がなされているが、走行能力の加齢変化に関しては、著者の知るところでは、歩行と比較して極めて少ない。Himann（1988）は歩行速度の加齢変化について、19歳から102歳までの被験者を対象として調査している。Himannの報告によると、歩行速度の低下率は、62歳までは男性と女性とでそれぞれ2.5%と4.5%であり、62歳以降の低下率は、男性と女性でそれぞれ16%と12%であることを報告している。運動学的な分析による高齢者歩行の特徴としては、歩行の1周期が加齢とともに長くなること、そして立脚期が延長し、遊脚期が短くなることがあげられる（Murrayら1970、Murrayら1970、Kanekoら1990）。また、歩行能力の加齢変化に関する運動力学的分析も報告されている。山田ら（1989）とLarishら（1988）は歩行時の床反力測定により、若年者と高齢者の同一歩行速度条件では、蹴り出し期の推進力の差が見られることを報告している。同一速度歩行時の推進力が高齢者の方で低いということは、高齢者の歩パワーが低いということを意味し、これらの結果は本論文における、速度の加齢変化が曲線的であるのに対してパワーの加齢変化が直線的であるという結果を支持するものである。さらに、関節モーメントや関節パワーからみた研究では、高齢者は下肢関節モーメントのなかでも、蹴りだし期の膝伸展と足底屈パワーが若年者より小さく、股関節伸展のパワーに関しては若年者より高齢者の方が大きいという報告がある（DeVitaら2000）。このことは、加齢により蹴りだし期の足底屈が低下するため、歩行中により大きな推進力を発揮するためには、股関節伸展力に依存せざるを得ないということを示唆する。

本論文の第III章の結果から、若年者の歩パワー発揮能力には大腿直筋と大腿後部の筋が影響を及ぼし、走パワー発揮能力には大腿後部の筋が影響を及ぼすことが

示された。先行研究では、歩行速度および歩幅に相関するのは膝伸展筋力と足底屈筋力であり、歩行速度と歩幅を低下させるこれらの筋群の偏曲点は、膝伸展筋力では 250N であり、足底屈筋力では 400N であることが報告されている (Fuchimoto ら 1999)。本実験の結果、歩・走行時のピッチには加齢による影響がみられなかったのに対して、ストライド長は速度の加齢による低下と同様の低下を示した。従って、本研究では、加齢に伴う下肢筋力の低下により推進力が低下し、それによりストライド長の低下による速度の低下が起こり、結果として歩・走パワーが低下した可能性が示唆される。

歩パワーと走パワーの加齢に伴う低下率が異なった理由としては、もともと歩行と走行ではフォームが異なることから、動作で主として用いられる筋が異なり、さらに筋機能の加齢変化の仕方が筋毎に異なることがあげられる。本論文第 III 章の結果、走エルゴメータによる歩パワーに影響を及ぼす要因として、大腿直筋と大腿後面の筋厚があげられ、一方、走パワーに影響を及ぼす要因としては大腿後面の筋厚があげられた。大腿直筋の歩行動作における機能的な役割は、股関節屈曲動作と膝伸展動作であり、具体的には後方に蹴った脚を前方に振り戻すといふ動作である。これらの動作は、歩・走行では高いピッチの獲得に貢献すると考えられる。一方、大腿後面筋厚の歩・走行における機能的な役割は、股関節伸展動作と膝関節屈曲動作であり、これらの動作は具体的には、接地した脚を後方に蹴り出すといふ動作である。これらの動作は歩・走行では、より長いストライド長の獲得に貢献すると考えられる。

本研究では、加齢に伴い、ストライド長が有意に低下したが、一方で、ピッチは有意な変化を示さなかった。従って、加齢に伴う歩・走パワーの低下は、大腿後部の筋量や筋力が顕著に低下したこと、そして、その結果として歩・走ストライド長が低下したことが原因として考えられるが、特に、大腿後面の筋の力発揮における貢献度が高い走行において加齢に伴うパワーの低下が顕著であったことが推察される。

歩パワーと走パワーの低下率が異なった原因は、両運動のエネルギー発生様式の相違から考えることができる。つまり、歩行は振り子に例えられるように、位置エネルギーを減少することにより運動エネルギーを増大させて推進力を発揮している。これに対して、走行は弾むボールに例えられるように、接地時に弾性エネルギーを貯え、離地時に接地により貯えたエネルギーを放出することで推進力を発揮している。つまり、走行では、歩行より筋や腱の粘弾性特性が重要になるということである。筋や腱の粘弾性特性は、トレーニングやディトレーニングの影響を受けることが、久保ら (Kubo ら 2000, Kubo ら 2000, 久保ら 1999, Kubo 2001) により報告されている。従って、加齢に

よる筋や腱の粘弾性特性の変化も歩パワーと走パワーの低下率の相違における可能性の一つとして考えられる。

さらに、加齢による神経筋における特性の変化も歩・走パワーの低下および歩パワーと走パワーの低下率における相違の原因として考えられる。特に、速筋線維に関しては、加齢に伴う選択的委縮や、神経の情報伝達システムや筋を活性化させるシステムの能力が低下 (Spiriduso 1995) することにより、筋が速い速度で力発揮をすることが出来なくなった可能性が考えられる。

(5) 結論

本章では歩・走パワーの加齢変化について検討した。その結果、歩パワーと走パワーは、10歳加齢する毎に、それぞれ10Wおよび30Wの割合で低下する傾向を示した。また、歩行と走行ではともに、加齢に伴いピッチは有意な変化を示さなかったものの、ストライド長は有意な減少を示した。本研究における、加齢に伴う歩・走パワーの低下には下肢の筋量(大腿後面の筋)や筋機能(股関節屈曲および膝関節伸展トルク)の低下により引き起こされた可能性が示唆された。

第 V 章 スポーツ選手の走パワー発揮能力

第 1 節 スプリント走パワーにおける競技種目差

(1) 目的

短時間でどれだけ多くの機械的仕事を為すことができるかを問う瞬発性運動時の発揮パワーは、スポーツの競技成績を決定する主要な要因の 1 つであり、その競技特性に関しては、これまでに様々な運動様式や装置を用いた研究が実施されてきた (金子ら 1981, 川初ら 1972)。なかでも自転車エルゴメータを用いた測定が主流を占め、例えば、中村 (1987) は自転車エルゴメータ駆動により発揮し得る機械的パワーの最大値を最大無酸素パワーとし、それにみられる競技特性について論じている。

一方、多くの競技スポーツにおいて基本となる運動様式は自己の体重が負荷となる走運動である。仮に競技場面に即した形でパワーの発揮能力を評価しようとするのであれば、その測定は走動作もしくは走動作に近い動作で実施することが望ましいと考えられるが、そのような運動形態による発揮パワーの種目特性を明らかにした研究は存在しない。

そこで、本章では、第 II 章において開発した方法を競技選手に適用し、全力疾走中の発揮パワー (以下、スプリント走パワーと称す) における競技特性について明らかにすることを目的とした。また、同時に超音波法により下肢筋群の筋厚を測定し、それとスプリント走パワーとの関連性についても検討した。

(2) 方法

1) 被験者

男子大学生スポーツ競技選手 97 名および日常的にトレーニングを実施していない一般男子大学生 (C 群) 28 名が被験者として本研究に参加した。競技選手群において各被験者が属する競技種目は、ウエイトリフティング (WT 群 19 名)、ハンドボール (HB 群、20 名)、バスケットボール (BB 群、19 名)、バレーボール (VB 群、19 名)、陸上競技短距離走 (SP 群、20 名) の 5 種目であり、C 群も含めた各群の身体特性は表 5.1.1 に示した。競技選手の場合に、いずれも専門とする種目において、全日本学生選手権出場校に所属し、高校生の段階から専門種目のトレーニングを実施していた。なお、測定の対象とした競技種目は、競技形態として瞬発性の要素が高く単発的な動作か

らなるもの (WT 群) 瞬発性の要素が高く反復的な動作からなるもの (SP 群) あるいは持続的な動きを基盤に場面に応じて瞬発的な動作が挿入されるもの (HB, BB, VB 群) に分類でき、それぞれ種目の特性を反映したパワー発揮特性を示すことが予想された測定に先立ち、被験者には、本研究の目的および測定の実施内容その安全性について十分な説明を行い、各被験者から研究参加の同意書を得た。

表 5.1.1 被験者の身体的特徴

	WT	BB	VB	HB	SP	C
N	19	19	20	20	20	28
Age (yrs)	20.1 ± 1.10	20.0 ± 1.03	19.9 ± 0.91	20.0 ± 0.89	19.5 ± 0.61	18.0 ± 23
Height (cm)	170.4 ± 5.37	186.3 ± 8.90	180.8 ± 9.45	178.5 ± 8.29	173.1 ± 6.82	171.2 ± 4.41
Weight (kg)	83.1 ± 18.51	77.4 ± 8.24	72.3 ± 9.15	76.6 ± 12.61	68.5 ± 9.17	62.7 ± 9.30
Body Fat (%)	17.0 ± 7.58	11.7 ± 5.26	11.5 ± 2.44	13.4 ± 5.48	11.2 ± 4.07	15.4 ± 4.16

Mean ± SD

WT :ウエイトリフティング, BB :バスケットボール, VB :バレーボール, HB :ハンドボール

SP :陸上競技短距離走, C :一般学生

2) スプリント走パワーの測定

スプリント走パワーの測定と評価は第 II 章の装置を用いて行った。被験者は本測定に先立ち、測定装置および測定手順に慣れることを目的として、以下のウォーミングアップを実施した。まず、被験者は自らの主観による低速、中速、高速の 3 種類の速度での歩行を、各 10 秒間ずつ連続的に行った。歩行動作終了後、被験者自身の主観による低速、中速、高速の 3 種類の速度での走行を、各 5 秒間ずつ連続的に行った。その後、被験者らは 7 秒間の全力走行を行った。これら一連のウォーミングアップ動作終了後、改めて被験者に違和感なくエルゴメータ上でスプリント疾走が出来るかどうかを確認した後、本テストとして 7 秒間全力疾走を実施した。

スプリント走パワーの評価方法は第 III 章 (2) の方法にて行った。

3) 筋厚の測定

下肢筋厚の測定は第 2 章 (2.3) の方法にて行った。

4) 統計処理

測定結果は、何れの項目も平均値 \pm 標準偏差により表した。また、平均値における各群間の差の有意性は、一元配置分散分析 (one way-ANOVA) により検定を行い、有意性が認められた場合には、多重比較 (Scheffe 法) により各群間の比較を行った。測定値間の相関の指標としてピアソンの相関係数を求めた。さらに、重回帰分析により偏回帰係数を求めることにより、各予測変数の有意性を検定した。いずれの場合においても、危険率 5% 未満で有意とした。

(3) 結果

1) パワーにおける種目差

すべての種目群がC群より有意に高値を示した(図5.1.1.a)。種目群間の比較において、最も高いパワーを示したのはWT群(679.7 ± 214.68W)であり、その値はSP群(569.6 ± 74.52)、BB群(512.3 ± 113.23W)、VB群(496.0 ± 123.00W)およびHB群(565.3 ± 78.24)より有意に高いものであった。ついで、SP群が高く、BB群、VB群は下位に位置した。しかしながら、WT群を除く種目間に有意な差は認められなかった。

図5.1.1.bに体重当たりのパワーに関する種目比較を示した。C群より有意に高値を示した種目は、SP群(8.4 ± 1.44W/kg)、WT群(8.4 ± 2.71W/kg)およびHB群(7.5 ± 1.25W/kg)のみであった。また、SP群とWT群はBB群(6.7 ± 1.56W/kg)およびVB群(6.8 ± 1.36W/kg)より有意に高値であった。

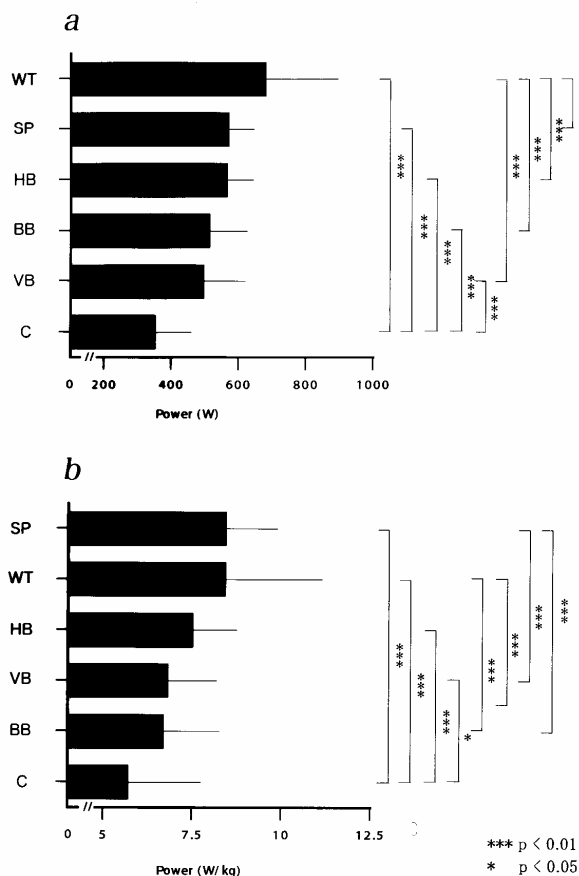


図2 パワーの種目差

図5.1.1 走パワーの種目差

図中aとbはそれぞれ、走パワーおよび体重あたり走パワーの種目別平均値 (Mean ± SD)を示す。***および*はそれぞれ、p<0.01 および p<0.05 を示す。

2) 走速度における種目差

走速度における種目間の比較を図 5.1.2 aに示した。全ての種目群がC群との間に有意 ($p < 0.01$) に高値を示した。競技種目別では SP 群 ($4.70 \pm 0.31\text{m/s}$) が最も高く、その値は WT 群 ($4.22 \pm 0.36\text{m/s}$)、BB 群 ($4.06 \pm 0.52\text{m/s}$) より有意に高いものであった。ついで HB 群が高く、WT 群および BB 群は下位に位置した。HB 群と BB 群との差は統計的に有意 ($p < 0.05$) なものであった。

ピッチ (図 5.1.2b) は、全ての種目群がC群との間に有意な ($p < 0.01$) 差を示した。しかしながら、競技種目別では、平均値で SP 群 ($4.51 \pm 0.36\text{Hz}$) が最も高く、最も低値の BB 群 ($4.13 \pm 0.45\text{Hz}$) との間には有意な差を示したものの、その他の種目群との間には有意差が見られなかった。ストライド長 (図 5.1.2c) もまた、全ての種目群がC群との間に有意な ($p < 0.01$) 差を示した。競技種目別では平均値で VB 群 ($1.05 \pm 0.13\text{m}$) が最も高かったものの、SP 群 ($1.04 \pm 0.10\text{m}$)、HB 群 ($1.04 \pm 0.11\text{m}$) および BB 群 ($0.99 \pm 0.13\text{m}$) との間には有意な差は見られなかった。一方、最もストライド長の短かったのは WT 群 ($0.94 \pm 0.07\text{m}$) であり、WT 群は VB 群、SP 群および HB 群との間に有意な差を示した。

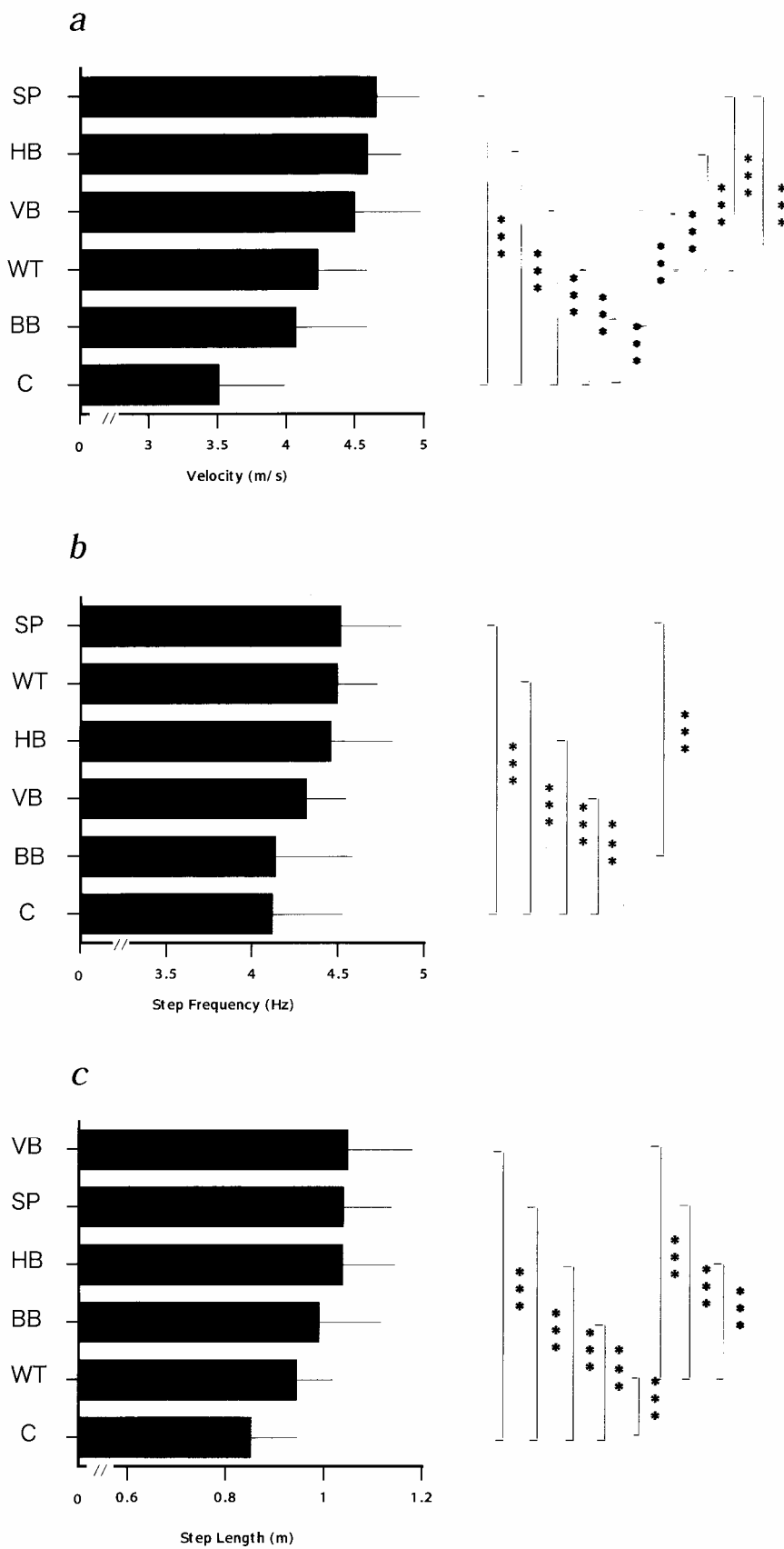


図 5.1.2 走速度 (a), ピッチ (b) とストライド長 (c) の種目差

図 a- c はそれぞれ種目群別平均値を示す。*** は $p < 0.01$ を示す。

3) 筋厚における種目差

筋厚に関する測定結果を図 5.1.3 に示した。TA 筋厚における SP 群を除き、いずれの部位においても競技選手群が C 群より有意に高い値を示した。筋別および種目別にみた場合、QF 筋厚は WT 群 ($72.30 \pm 8.41\text{mm}$) が最大であり、その値は BB 群 ($59.92 \pm 5.83\text{ mm}$)、VB 群 ($62.30 \pm 6.03\text{ mm}$)、HB 群 ($60.86 \pm 4.21\text{ mm}$)、SP 群 ($57.74 \pm 6.05\text{ mm}$) より有意に高値であった。HM 筋厚は、WT 群 ($77.20 \pm 12.52\text{ mm}$) および SP 群が高い値を示し、WT 群は BB 群、VB 群および HB 群より、SP 群は VB 群より有意に高値であった。TA 筋厚では BB 群 ($35.01 \pm 2.93\text{mm}$) が最も大きな値を、その値は WT 群および SP 群より有意に高いものであった。また、VB 群と HB 群はともに SP 群より有意に高値であった。一方、GAS 筋厚には有意な種目差は観察されなかった。

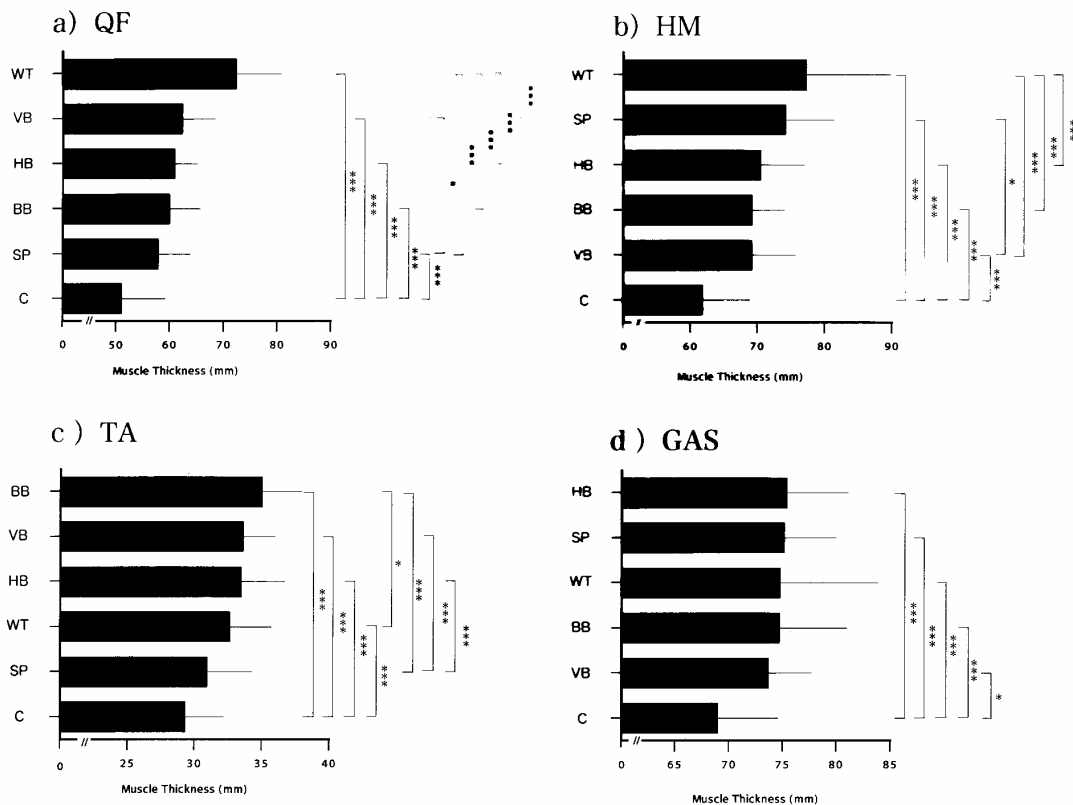


図 5.1.3 下肢筋厚の種目差

図中 a から d は、それぞれ大腿前部 (QF)、大腿後部 (HM)、下腿前部 (TA) および下腿後部 (GAS) の種目別筋厚を示す。*** および * はそれぞれ $p < 0.01$ および $p < 0.05$ を示す。

4) 測定の対象となった筋群の各筋厚値とパワーとの関係を図 5.1.4 に示した。さらに,群毎の各筋厚値とパワーとの相関係数を表 5.1.2 に示した。全被験者を対象とした場合には,両変数間には有意な相関関係が存在し,なかでも HM が高い相関係数 ($r=0.543, p<0.01$)を示した。しかしながら,相関係数を群毎にみた場合(表 5.1.2)には, HM とパワーの間に有意な相関を示したのは VB 群と HB 群のみであり,その他の種目群毎には,何れの筋群との間にも有意な相関は見られなかった。また,パワーを従属変数,各筋厚値を独立変数として重回帰分析を行った結果,パワーの有意な予測変数として HM (偏回帰係数 = 7.57, $p<0.01$) および QF (4.82, $p<0.01$) の各筋厚が選択された。

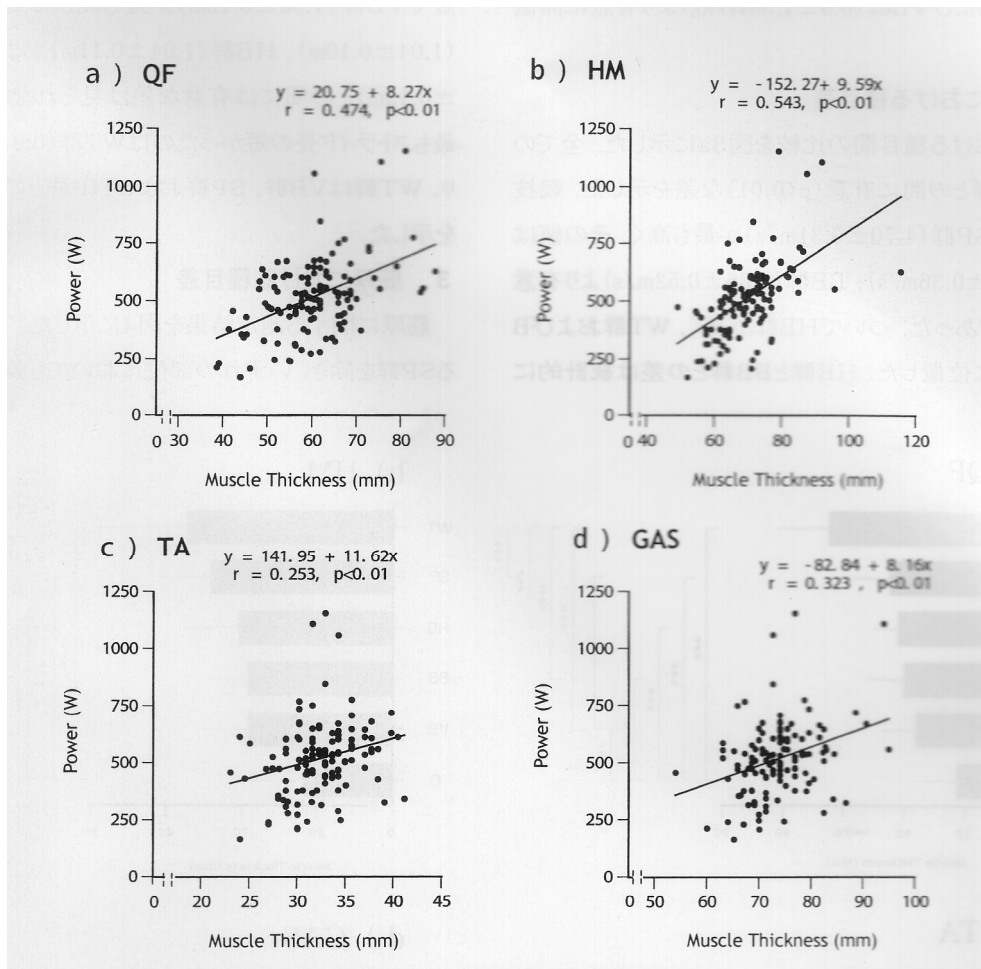


図 5.1.4 走パワーと下肢筋厚との相関関係

図中 a から d はそれぞれ大腿前部 (QF), 大腿後部 (HM), 下腿前部 (TA) および 下腿後部 (GAS) の種目別筋厚を示す。

表 5.1.2 種目群別にみた走パワーと下肢筋厚との関係

	QF		HM		TA		GAS	
BB	0.035	NS	0.172	NS	-0.177	NS	-0.267	NS
WT	0.112	NS	0.297	NS	0.087	NS	0.284	NS
VB	0.260	NS	0.513	**	0.527	*	0.148	NS
HB	0.574	**	0.478	*	0.427	**	0.530	*
SP	-0.138	NS	0.297	NS	0.016	NS	0.233	NS
C	0.054	NS	0.158	NS	-0.077	NS	-0.025	NS
ALL	0.474	**	0.543	***	0.253	**	0.323	***

Values are Correlation Coefficient
*** P<0.001, ** P<0.01, *P<0.05

WT :ウエイトリフティング, BB :バスケットボール,VB :バレーボール,HB :ハンドボール
SP :陸上競技短距離走 ,C :一般学生

(4) 考察

本研究ではスポーツ選手のスプリン疾走中に発揮されるパワーを種目別に比較した。その結果,WT 群はパワーの絶対値および体重当たりの値の両方において高値を示した。重量挙げの場合,高重量を瞬発的に挙上する能力が競技成績に大きく影響する。さらに,他の種目と異なり体重による階級別の競技であり,体重当たりの発揮パワーの高さは競技成績を決定する重要な体力要素の1つとなる。それらの点を考慮に入れると,他群と比較して体脂肪率が有意に高値であるにも関わらず,WT 群がパワーの絶対値および体重当たりの値の両方において高値を示すという結果は,重量挙げ競技に要求される体力要素を反映したものであると解釈できる。一方,体重当たりのパワーにおいてC 群より有意に高い値を示した種目は,WT 群以外ではSP 群,HB 群およびVB 群であり,種目群のなかではWT 群に加えSP 群が他の種目群より高値を示した。体重当たりのパワーは体重に占める筋量の比率の影響を受けると同時に,身体の移動スピードに関連すると考えられる。そのような捉え方をした場合,SP 群と他の種目群との差は次のように解釈できる。すなわち,短距離走では走運動が主動作であると同時に,体重移動のスピードが競技成績を決定する。それに対し下位に位置した種目はいずれも球技種目であり,VB 群はゲーム中に全力で疾走するという要素はなく,またHB 群およびBB 群の場合に,静止状態から全力疾走することよりもむしろ状況に応じて急停止あるいは相手を交わす能力が求めら

れる。したがって、それらの種目においては、競技中、全力での走運動として高いパワーを発揮する要素は短距離走選手ほどトレーニングされておらず、結果的にパワーの絶対値および体重当たりによる相対値ともに低い値を示したと考えられる。

一方、本研究の結果において興味ある点は、WT 群の場合にパワー発揮時の速度が下位に位置し、体重当たりのパワーで殆ど差のないSP 群より有意に低値であったことである。このことは、パワーの発揮水準を力と速度の関係に置き換えてみた場合、WT 群のパワー発揮が比較的遅い速度での力発揮に依存し、一方、SP 群ではその逆のケースが当てはまることを意味する。このような力-速度-パワー関係における種目差については、これまでに荷重負荷装置 (川初ら 1972) および等速性負荷装置 (Johansson ら 1987) によって報告されており、短距離走選手の特徴として、高速度域における筋力およびパワーの発揮能力にすぐれていることが指摘されている。ヒトの力-速度-パワー関係はトレーニングによって変化し、しかもその変化様相はトレーニング実施時の筋力の発揮水準あるいは運動速度によって特異的なものになる (Behm ら 1993, 金子ら 1981)。重量挙げ選手の場合に、トレーニングは一般に競技スタイルを中心とした運動種目によって構成され、しかも高重量での動作反復が日常的に実施される。それに対し、短距離走選手では補強トレーニングとして高重量でのレジスタンストレーニングが含まれるものの、それがトレーニングプログラムに占める比率は重量挙げ選手に比較して明らかに少ないといえる。そのような相違点と力-速度-パワー関係におけるトレーニング効果の特異性 (Behm ら 1993, 金子ら 1981) を考慮に入れると、本研究で観察された WT 群および SP 群間のパワー発揮時の速度差は、それぞれの種目でのトレーニング実施中における力・速度の発揮条件に由来するものであると考えられよう。また、短距離疾走における最大速度は 10m/s 前後 (猪飼ら 1963) であり、これは本研究における SP 群の疾走速度と比較して 2 倍近い。この原因としては、本研究におけるスプリント疾走が、両腕の動きを制限したものであること、自走式トレッドミルのベルトにはドラムの慣性負荷が働いていることが考えられる。本研究の結果において、グラウンド走の約 2 分の 1 以下の疾走速度においても力-速度-パワー関係におけるトレーニング効果の特異性が表れたとらことは、より実際の動作に即した形で測定された場合、SP 群と WT 群の差はさらに顕著に表れるものと思われる。

回帰分析の結果、HM と QF の筋厚がパワーの発揮能力の予測変数として選択され、本研究で測定したパワーは大腿部の筋量の影響を受けることが示唆された。し

かし、両筋厚における種目差はパワーにおけるそれと必ずしも一致せず、先に挙げたパワーと速度における種目差同様、高いパワーを発揮したWT群とSP群との間で筋厚における順位には筋群によって大きな違いがみられた。すなわち、WT群は両筋厚およびパワー値とも最高値を示したが、SP群の場合、HMの筋厚は上位に位置するものの、QFの筋厚は競技者群のなかで最も低値である。このような結果は、パワー発揮時の筋活動として、SP群ではWT群に比較してHMへの依存度が高いことを意味している。また、身体運動においてHMは股関節伸展および膝関節屈曲に機能し、QFは膝関節伸展に機能し、さらにQFの構成筋群のなかで大腿直筋は股関節屈曲にも機能する。等速性筋力における膝伸展力に対する膝屈曲力の比率をジュニア選手と五輪代表選手で比較した小林(1987)の報告によると、両群間の差は高速度条件下において顕著に表れ、五輪代表選手の場合に、高速度条件での筋力値には両筋群間でほとんど差がないといわれている。従って、先に挙げたトレーニング効果の特異性の影響に加え、本研究で観察されたSP群のHMの優位な発達は、ハイスピード条件でのパワー発揮を可能にする要因として含まれることが予想される。

(5) 結論

本研究では、5種目(ウエイトフティング、ハンドボール、バスケットボール、バレーボール、陸上競技短距離走)の大学生スポーツ選手を対象に、走エルゴメータを用いてスプリント走時のパワーを測定し、それにおける種目差について検討した。その結果、パワーおよび体重当たりパワーの両方の値において、ウエイトフティングおよび短距離走群が他の種目群および一般学生より高い値を示した。しかし、最大パワー発揮時の走速度は短距離走群が最も高く、ウエイトフティング群は下位に位置し、前者は速度要因に、後者は力要因にそれぞれ依存したパワー発揮を行っていると考えられた。また超音波法によって測定した下肢筋厚とパワーの間には有意な相関関係が認められ、なかでも大腿前および後部における筋発達の程度が走パワーの発揮水準に影響していることが示唆された。

第2節 全力疾走を繰り返す際の走パワー発揮能力の性差

(1) 目的

スポーツ場面では、全力疾走が単発的に実施されることは稀であり、多くの場合には、全力疾走を歩行もしくは最大下速度での走行を挟んで繰り返すという運動が行われる。このような運動パターンを、自走式トレッドミル上で短時間の全力走をある期間の休息を挟んで繰り返すことによりシミュレーションし、その際の機械的パワーを測定することが試みられている (Brooks ら 1990, Gaitanos ら 1991, Gaitanos 1993, Hamilton 1991, Nevill ら 1993)。しかしながら、先行研究の多くは、セット毎に発揮された機械的パワーと代謝変化の関係に注目しており、このような種類の運動におけるパワー発揮の性差に関しては、これまでに有用な情報としては僅かしか存在しない (Brooks ら 1990)。

単発の筋収縮における筋力の性差に関しては、筋量の性差によってほぼ説明することが出来る (Bishop ら 1987, Miller ら 1993)。これに対して、短時間 (30 秒以下) で単発的な全力運動において発揮される機械的パワーのような無酸素パワーでは、たとえ体重あたりの値や全身の除脂肪体重あたりで正規化した場合でも、女性と比べて男性の方がより高いパワーを発揮する (Froese 1987, Gratas-Delamarche ら 1994, Mayhew ら 1990, Murphy ら 1986)。Saavedra ら (Saavedra ら 1991) は 13 歳以上の男女を対象として、10 秒間全力で膝の伸展・屈曲を繰り返した際の最大仕事量は女子より男子の方が高く、また、仕事量を除脂肪体重や大腿部筋体積あたりで比較した場合であっても男子の方が高値であることを報告した。無酸素性作業発揮能力には、筋量と筋力の発育の影響に加えて、男性ホルモンが影響を及ぼす。成人を被験者として行った先行研究の結果では、セット間に休息を挟みながら行われる短時間の全力運動におけるエネルギーは、基本的には無酸素的過程により産生されることが報告されている (Balsom ら 1992)。それゆえ、全力運動を繰り返す運動では、機械的パワーを主動筋の体積あたりで正規化したとしても、単発の全力運動でみられるのと同様に、思春期や思春期後における男子は女子より高いパフォーマンスを発揮する。しかしながら、全力運動を繰り返す際の最初の運動では、筋中の乳酸濃度の増加とクレアチンリン酸 (PCr) の減少が起こるということも注意すべきである (Gaitanos ら 1993)。このことは、たとえ男子が女子よりも無酸素的作業能

力が高いとしても,この種の運動全体において高いパフォーマンスを発揮することができるとは限らないということを示唆している.言い換えれば,全力運動を繰り返す場合には,パフォーマンスを維持する能力は男子より女子の方が高いと推察される.

本研究では,陸上競技を専門に行う10歳代の男女を対象として,走エルゴメータを用いて,短時間で高強度の全力疾走をセット間に休息を挟みながら繰り返す際に発揮される機械的パワーを測定した.さらに,生体インピーダンス分析法を用いて下肢筋量が測定された.本研究の目的は日常トレーニングを実施している10歳代の男女を対象として,全力運動を繰り返す際に発揮される機械的パワーに及ぼす性別の影響について調べることであった.

(2) 方法

1) 被験者

高校生男子10名(年齢 16.3 ± 0.7 歳,身長 173.9 ± 4.7 cm,体重 64.9 ± 6.9 kg)および女子8名(16.5 ± 0.5 歳,身長 164.4 ± 4.7 cm,体重 53.0 ± 0.8 kg)が被験者として本研究に参加した.全ての被験者が部活動として陸上競技を実施しており,短距離走もしくは走り幅跳びのようなパワー種目を専門に行っていた.全ての被験者は前年度の高校生を対象とした競技会の地区大会もしくは全国大会に参加していた.本研究は東京大学大学院生命環境科学系倫理委員会の承認を得て行われた.測定に際して,被験者らは本研究の目的,本研究において用いられる測定機器に関する説明を十分に受けた.全ての被験者と被験者の両親およびコーチから,本研究への参加に関する同意書を得た.

測定は,全ての被験者が1ヶ月間のオフシーズンを過ごした直後の12月に行われた.性別に関わらず,全ての被験者が,ほぼ同じスケジュールで週5回(1週あたり合計10時間)のトレーニングを実施した.トレーニングプログラムは以下の内容から構成されていた.トレーニングプログラムの内容は,軽重量・高スピード負荷トレーニング,スプリント走,ジャンプ運動,短時間・全力自転車駆動,サーキットトレーニングおよびサーキットトレーニングおよび各種目の専門練習であった.全ての測定は,トレーニングの終了から,最低40時間以上の間隔を空けて行われた.

2) 下肢における筋量の測定

下肢の筋量を、インピーダンス法を用いて測定した。下肢右側の生体インピーダンスは、先行研究 (Miyatani ら 2001) に記した機器を用いて測定した。生体インピーダンスの測定は生体インピーダンスデータ取得システム(Art Heaven 9, Japan)を用いて行った。

3) 全力疾走時の機械的パワーの測定

5秒間の全力疾走を、セット間に10秒間の休息を挟みながら繰り返す際に発揮される機械的パワーを、第 5 章 第 1 節で述べた装置を用いて測定した。各スプリント走において、スタートからピーク速度が出現するまでの区間の、速度のピーク値 (PV) と機械的パワーがピーク速度に達するまでの一歩毎の機械的パワーの平均値 (MP) が算出された (図 5.2.1)。さらに、速度がピーク値に達するまでの機械的パワーと仕事量を算出した。また、疲労耐性の指標として、1本目から10本目までの間のMPの差を算出し、1本目のプリンにおけるMPの割合 (%D) として表した。さらに、身体の高さにおける差と活動筋で正規化したパワー出力の指標として、それぞれ体重あたりのMP (MP / bw) と下肢筋体積あたりのMP (MP / mv) を算出した。

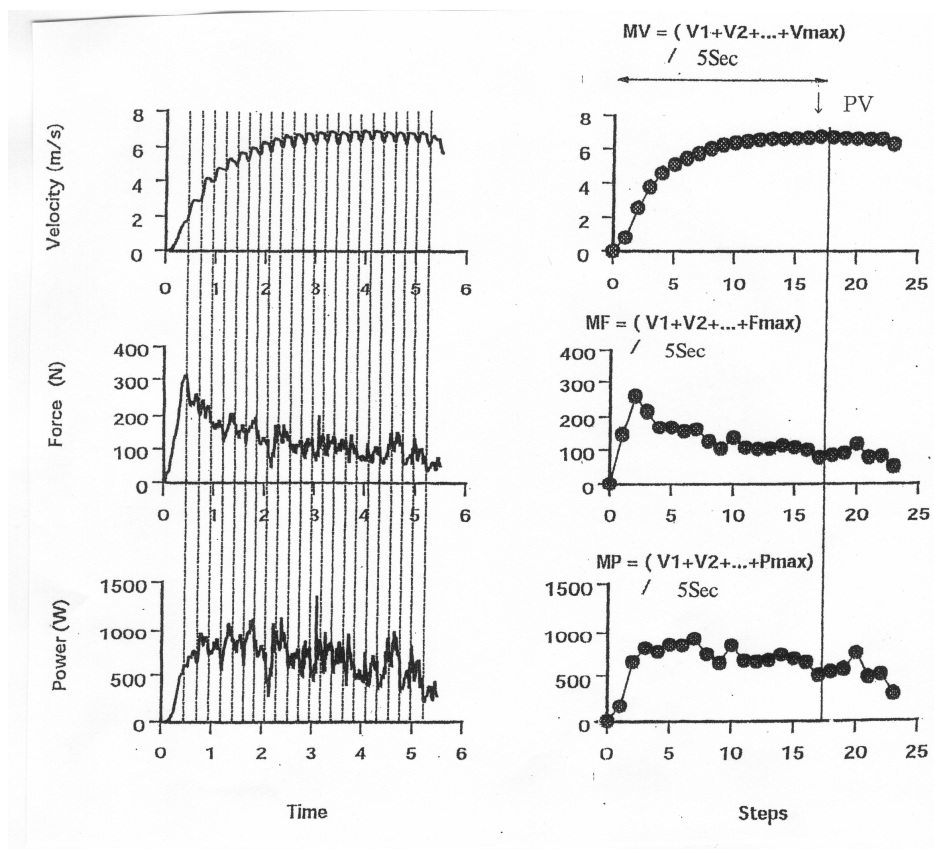


図 5.2.1 PV および MV の算出方法

テストに先立ち、まず被験者らはエルゴメータに慣れる目的で、全力の約 50%で、3分間の走行を行った。続いて、被験者らは、ほぼ全力に近い5秒間スプリント走を 10 秒間の休息を挟んで 2-3 度行った。ウォーミングアップおよび休息の終了後に、被験者は5秒間の全力疾走を5分間隔で2度にわたり実施した。2度の測定のうちで、より高い PV 値を、間欠的スプリント走の1セット目と有意に異なるか否かを確認するのに用いた。被験者は、2度の全力走テスト終了の 15 分後に、間欠的全力走テストを行った。被験者はベルト上で、立位姿勢から走行をはじめ、出来るだけ早く最高速度に達するように加速をした。各スプリント走間の回復期には、被験者はトレッドミル上で立位姿勢を維持した。間欠的スプリント走における1本目の PV の平均値は、男子 ($6.5 \pm 0.43\text{m/s}$) と女子 ($6.4 \pm 0.21\text{m/s}$) で有意差はなく、間欠的スプリント走前の男子 (6.4 ± 0.41) と女子 ($6.3 \pm 0.20\text{m/s}$) とも差はみられなかった。

4) 統計解析

データは平均値 \pm SD で示した。各変数間の関係は単回帰分析を用いて表した。男女間の比較にはステューデントの T テストを用いた。性別およびスプリント走セット間の PV, MP, および %D の影響については一元配置の分散分析 (ANOVA) および多重比較を用いて調べた。有意性の基準は $P < 0.05$ とした。

(3) 結果

図 5.2.2 には各スプリント走において、スターからベルト速度がピーク値に達するまでの時間を示した。スターから PV が出現するまでの時間には性別による影響はみられなかった。いずれのスプリント走においても、男子の PV は女子の PV より高値を示した。男子の PV は 1 本目の $6.5 \pm 0.43 \text{ m/s}$ から 10 本目の $4.8 \pm 0.27 \text{ m/s}$ に減少し、女子の PV は 1 本目の $5.4 \pm 0.21 \text{ m/s}$ から $4.1 \pm 0.14 \text{ m/s}$ に減少した。

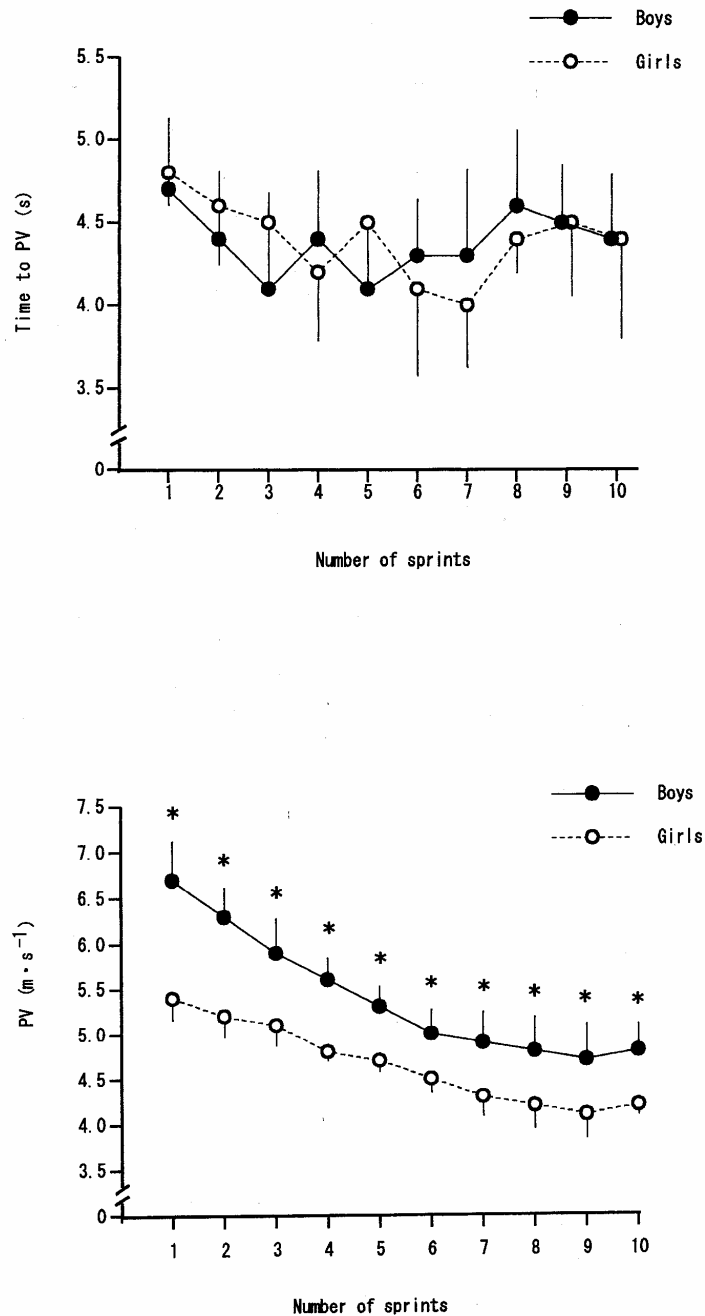


図 5.2.2 スプリント走における
スターからベルト速度がピーク値に達するまでの時間とピーク速度

図 5.2.3 には ,セットを通しての機械的仕事量とMP の変化を示す .男女ともに ,機械的仕事量とMP は 1セット目から6セット目まで直線的に低下し ,7セット目以降はほぼ一定の値を維持した .両変数ともに ,全てのセットにおいて ,男子が女子より有意に高いパワーを発揮した .

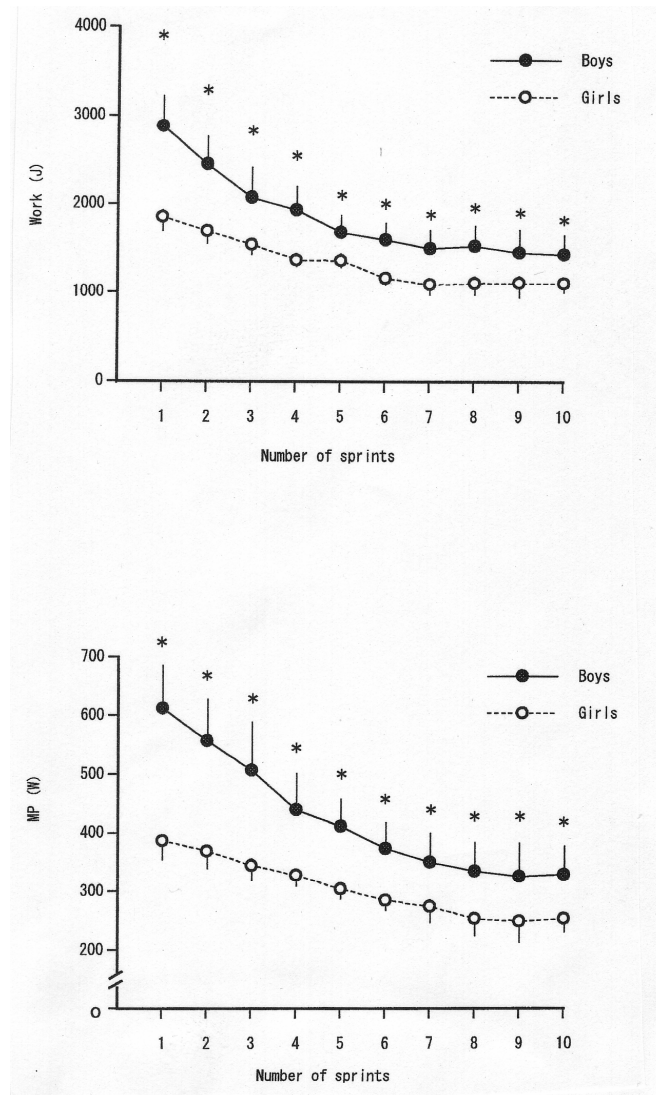


図 5.2.3 10 セットのスプリント走における Work とMP の変化

男女のデータを回帰分析した結果 ,体重とMV は各セットのスプリントにおけるMP との間に ,それぞれ $r=0.545$ から 0.891 ($P<0.05$) および $r=0.588$ から 0.867 ($P<0.05$)の有意な相関を示した .また ,MP を体重 (bw)や筋量 (mv)で正規化した場合 (それぞれ MP/bw と MP/mv とする)でも ,それぞれ 1セット目から3セット目および 1

セット目から2セット目において、有意な性差がみられた (図 5.2.4)

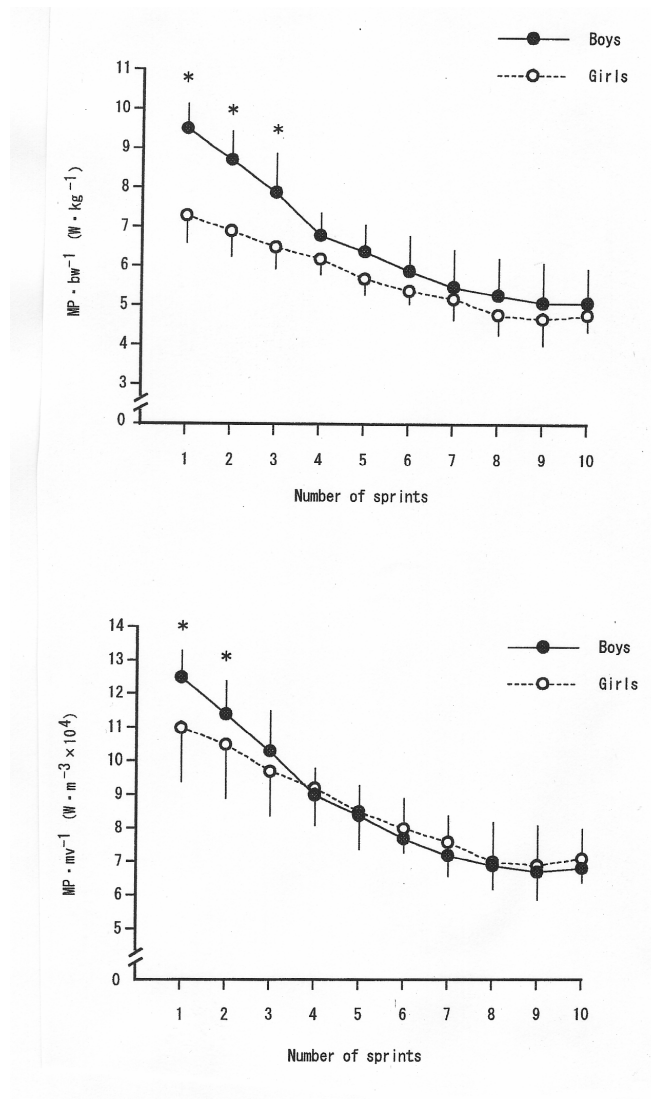


図 5.2.4 10 セットのスプリント走における体重あたりMP と下肢筋厚あたりMP の変化

女性の%D ($33.9 \pm 7.9\%$)は男性の%D($43.8 \pm 7.5\%$)よりも有意に高く,男女合わせた回帰分析の結果,1セット目の MP/MV の値との間に有意な正の相関を示した ($r=0.568, P<0.05$).しかしながら,各セットで MP/mv に性差のみられなかった3セット目から10セット目の MP の変化を,3セット目の値で正規化した場合には,男子 ($34.1 \pm 12.4\%$)と女子($26.0 \pm 8.3\%$)のあいだには有意差はみられなかった(図 5.2.5).

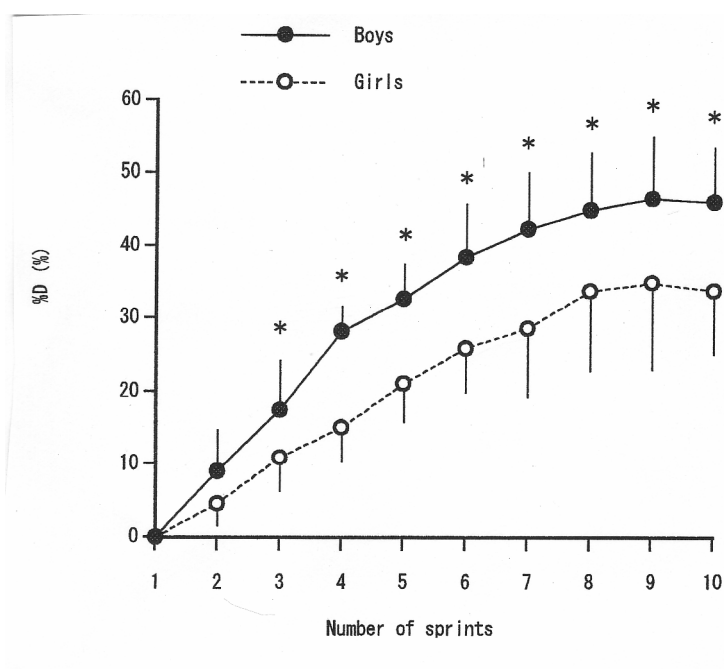


図 5.2.5 10 セットのスプリント走における%D の変化

5) 考察

本研究で用いられた運動では、両腕を水平位置に真っ直ぐに伸ばしてハンドレバーを押すために、両腕の動作が欠けていた。しかしながら、この測定システムを用いることにより、被験者は運動中に容易に姿勢を維持することができ、転倒することなく安全に全力疾走をすることが可能であった。さらに、男子の1セット目スプリントにおけるPVとMP/bwの平均値は、それぞれ6.7m/sおよび9.5W/kgであった。これらの値は、先行研究(Chellyら2001)において商品化されたトレッドミルを用いて、本研究の被験者らと同じ年代の若年アスリートを被験者とし、パワーを牽引力とベルト速度の積により求めて報告された値(それぞれ6.1m/sおよび9.8W/kg)に相当するものであった。

本研究の主な結果としては、1) MP/mvとMP/bwの初期セットには有意な性別の影響が示されたこと、2) 10セットを通してのMPの低下率は女子より男子の方が高かったことがあげられた。短時間(10秒以下)の動的全力運動を単発的に行う際に必要なエネルギーの多くは、無酸素的供給経路に依存する。無酸素的供給経路とは、この種の運動で乳酸の産生とクレアチンリン酸(PCr)の減少を引き起こす解糖系のことを意味する(Gaitanosら1993)。成人を被験者とした先行研究では、短時間の全力運動を繰り返した後の血中乳酸濃度は発揮パワーとセットを通しての低下率と有意な相関関係を示した(Brooksら1990, Gaitanosら1991, Hamiltonら1991)。HillとSmith(Hill&Smith1993)の結果では、30秒間の全力自転車駆動では、女性は男性と比較して、有酸素性エネルギー供給の割合が高いことを報告している。さらに、筋力トレーニングを実施している男女が、筋収縮を全力で連続的に繰り返す際の、筋線維におけるグリコーゲン利用量を調べたBellとJacobs(Bell&Jacobs1989)は、筋内グリコーゲン含有量の有意な減少が、男性だけにみられたことを報告した。もしもこれらの結果が本研究で調べられた被験者にも適用されるならば、初期セットにおけるMP/mvと%Dの性差は、全力での繰り返し運動において、パワー発揮に用いられた無酸素的エネルギーの貢献度における男女差を反映した結果であると説明することが出来るかもしれない。

しかしながら、男子が女子より無酸素的作業能力の発達が優れていることを考慮すると、MP/mvの有意な性差が初期の2セットのみに限られていたという疑問を説明することが出来る。さらに、各セットのMPでは有意な性差がみられた3セット目から10セット目には、MP/mvでは有意な男女差はみられなかった。このことは、10セットのス

プリント走を通して,MP の低下率が,女子より男子の方が高かったのは,単に初期セットにおけるMP/mv の差によるものであるということの意味する.

比較的高速度での全力膝伸展動作における等速性発揮トルクは,除脂肪体重もしくは膝伸展筋群の横断面積で正規化された場合,外側広筋に占めるタイプ II 線維の割合と有意な相関関係を示すことが報告されている(Ryushi & Fukunaga 1986, Sutter ら1993).Tesch ら(Tesch ら1978)は,50 回全力膝伸展動作の25 セット目までに,タイプ I 線維よりタイプ II 線維において,より高い乳酸の蓄積量がみられ,筋持久力テストの初期セットで,タイプ II 線維の収縮性の低下がトルク発揮を低下させたことを示唆した.さらに,この種の運動における発揮トルクの低下率は外側広筋のタイプ II 線維と関係する(Thorstensson & Karlsson 1976).これらの結果を含めて本研究の結果を考えると,女子と比べて男子の方が初期セットにおけるMP/mv と% D が高いことは,下肢の筋線維組成の男女差によるものであるかもしれない.しかしながら,Saltin ら(Saltin ら1977)の結果によると,外側広筋のタイプ I 線維の割合は男女ではほぼ同じである.

男子の方が初期セットにおけるMP/mv の値が高かったことに関するその他の説明としては,本研究で用いられた運動様式との関係があげられるかもしれない.短時間のセット間休息で全力スプリント運動を繰り返す際には,筋におけるPCr の再合成が不完全であり,それゆえ,ATP のレベルを維持するための,有酸素的解糖に対する需要が増大する(Wootton ら1983).しかしながら,この種の運動における筋代謝に関する研究では,このような解釈には否定的な結果を示すものもある(Bogdanis ら1995, Gaitanos 1993).たとえば,セット間に30秒間の休息を挟んで6秒間の全力自転車駆動を10セット行う際のエネルギー供給を調べたGaitanos らは,平均パワーが初期セットの73%にまで減少したにも関わらず,10セットのスプリントにおける筋中の乳酸蓄積量は,1セット目のスプリントで発生したものから増加することはなかった.Hamilton ら(Hamilton ら1991)は30秒間の休息を挟んで6秒間の全力スプリントを10セット繰り返す際の平均スピードと平均パワーの低下量は,運動前の酸素摂取量に対する運動中の値と負の相関関係にあることを報告した.これらの結果を考慮すると,セット後半では,ATP 再合成に対する有酸素性代謝の貢献度が増大し,MP/mv と% D に対する性別の影響がなくなるので,セット後半の運動における発揮パワーには無酸素的作業能力の性差はほとんど現れないと思われる.いずれにしても,本研究では被験者の有酸素性作業能力の指標も無酸素性作業能力の指標も測定していない.したがって,こ

の点を明確にするためには、さらなる研究が必要となるであろう。

(4) 結論

本研究の結果、トレーニングを行っている男女では、1)短時間全力疾走を繰り返す際の発揮パワーの性差が、無酸素的エネルギー供給が主としてパワー発揮に貢献すると考えられる初期セットに現れた。そして、2)このことが女子と比べて男子において機械的パワーの低下がより大きくなった理由であると考えられた。

第 章 総括論議

(1) 歩・走パワー測定方法について

本研究では自走式トレッドミルをベースに、両手でハンドルを握りながら歩・走行をするという運動形態で発揮される歩・走パワーの測定・評価方法(走エルゴメータ法)の開発を行った。歩・走パワー測定の従来法として、圧力盤を用いたパワー測定方法(圧力盤法)がある。圧力盤法の利点としては、歩・走パワーを正確に求めることが可能であること、そして実際の歩・走行動作でパワーを測定可能であることがあげられる。しかしながら、この方法では、測定の準備やデータの解析作業が煩雑であること、測定可能なパワーは圧力盤の枚数と大きさに制限されることが問題点としてあげられる。従って、この方法は歩・走パワー発揮能力のメカニズム解明には有用であるが、体力測定の一項目としては適しているとはいえない。

これに対して、Lakomy (1987)は自走式トレッドミル上でワイヤを牽引しながら疾走する際の、トレッドミルベルト速度とワイヤ牽引力の積からパワーを算出する方法(牽引法)を開発した。その後、この方法はスプリント疾走を模擬的に再現する(シミュレートする)ツールとして、主にスポーツ選手を対象とした体力測定や、スプリント疾走におけるパワー発揮能力の指標として頻繁に用いられるようになった。しかしながら、牽引法の問題点としては、測定可能な運動が全力疾走に限られること、ワイヤ(もしくはロッド)を腰部ベルトで身体に固定するために被験者への負担が大きいこと、そして、被験者自身がトレッドミルベルトの速度をコントロールする必要があるため、運動中の姿勢が不安定であり、初心者や子ども、そして高齢者を対象とした測定には不向きであった。

体力測定の項目として歩・走パワーの測定を行う際には、精度の高いデータが得られることは必要な条件であるが、一方では、多人数を対象とすることを考慮すれば、簡易性の高い測定方法であることも求められる。また、測定の実施に際しては、多少、運動の形態が本来のものとは異なったとしても、被験者の安全性が確保されねばならない。特に、子どもや高齢者といった、一般的に体力水準の低い者を対象とした測定においては、このことは重要な点である。

本研究で開発した走エルゴメータ法では、両手でハンドルバーを握るため、両腕の動きが制限されるという点が本来の歩・走動作とは異なる。しかしながら、それにより身体をエルゴメータに固定することが可能となり、従来法に比べて、子どもや高齢者を被験者とした場合に転倒するという危険性が低い。測定の簡易性という点については、

牽引法と同様に自走式トレッドミルを用いた方法では、圧力盤法の様に地面に埋設する必要もない。従って、走エルゴメータ法は測定の間所も制限されず、移動させて測定することも可能な方法である。また、測定は歩数や時間を制限されることがないために、この方法では長時間の連続運動や間欠的運動中のパワーも測定が可能である。

本研究では、歩・走運動中に発揮される推進力として、被験者がハンドルバーを押す力を測定している。しかしながら、歩・走運動では、本来、推進力は脚により地面を蹴ることにより発揮する。従って、本研究では、ハンドルバーを押すことで発揮する推進力 (M_{Fam}) と脚がトレッドミルベルトに作用することで発揮する推進力 (M_{ffp}) から算出したパワー (それぞれ MP_{am} と MP_{fp}) を比較した結果、 MP_{am} と MP_{fp} の間には、 $r=0.982$ という、高い相関がみられた。このことから、ハンドルバーを押す力を推進力として測定することの有効性が確認された。

走エルゴメータ法では同じ人が2度にわたりテストをした時に、2度の測定値の間に、 $r=0.971$ という高い相関係数が得られた。牽引法の測定値の再現性については、これまでに Jaskoliska ら (1999) が $r=0.76-0.94$ 、Falk ら (1996) が $r=0.80$ 、Jaskolski ら (1996) が $r=0.84$ 。そして Cheetham ら (1987) が $r=0.91$ という相関係数を報告している。これらの値は、先行研究における機械的パワーの測定結果と比較して、ほぼ同等の値であるといえる。また、他の身体動作で機械的パワーを算出したテストの再現性として報告されている値として、脚伸展パワー (古屋ら 1986) の $r=0.995$ 、Cybex マシンによる関節トルク (Moffroid ら 1969、Lesmes ら 1978、Johnson と Siegel 1984) の $r=0.98-0.995$ 、垂直跳び (Gray ら 1962) の $r=0.985-0.977$ 、階段駆け上がりテスト (Margaria ら 1966) の $r=0.85$ などがあげられる。

体力測定の項目として測定を行う際には、測定値には高い再現性が求められる。しかしながら、いかなるテストにおいても測定値には多少の変動が見られるものである。体力測定の場合には、測定値の変動として、技術的変動と生体的変動が考えられる (Katch ら 1982、Coggan ら 1984)。一般的には、技術的変動の少なさが測定法の信頼度を表すものであると考えられている。従って、測定精度の向上のためには、測定に際しては、被験者が測定方法や用いる機器に十分に慣れることが重要であると考えられる。

(2) 歩・走パワーの性・年齢差

第 III 章では歩・走パワー発揮能力の性差および歩・走パワー発揮能力を決定する要因について、若年成人の男女を対象として、下肢筋厚と関節トルクとの関係から検討した。

歩・走パワー発揮能力には有意な男女差がみられた。筋力や筋パワーの男女差は筋量の差によるものであるという意見が一般的である。本研究においても関節トルクと筋厚には何れの部位に関しても男女差が示された。従って、歩・走パワーの性差は筋機能の差によるものであると考えられる。また、このことは、男女を合わせた歩・走パワーと筋機能との相関分析の結果からも明かである。

重回帰分析の結果から、歩パワーの決定因子として大腿直筋筋厚と大腿後部筋厚が選択され、走パワーの決定因子として大腿後部筋厚と性別が選択された。このことから、走パワー発揮能力には筋厚以外の性差の影響が存在することが示唆された。走行では歩行と比較して、筋腱複合体の粘弾性特性が大きく影響を及ぼす (Cavagna ら 1964)。筋腱複合体の粘弾性特性にはトレーニングや発育、そして加齢が影響し (Kubo ら 2001, Kubo ら 2000, Kubo ら 1999, 久保ら 1999)、短距離疾走能力と筋の粘弾性特性との間には有意な相関関係があることも報告されている。このことから、走 P の性差には、下肢筋厚における筋や腱の粘弾性特性も影響を及ぼした可能性も考えられる。

第 IV 章では歩・走パワーの年齢差について、20-83 歳の成人男性を対象として検討を行った。歩・走パワーは加齢に伴い直線的に低下した。この結果は、Funato ら (1994) による四肢関節の伸展・屈曲動作パワーの加齢変化と同様の傾向であった。しかしながら、垂直跳び動作の力とパワーは 20-30 歳代でピーク値に至り、その後はおよそ 45-50 歳まではその値を維持し、それ以降の年齢では低下するという報告もある (Bosco と Komi 1980, Viitasalo ら 1985, Young 1992)。

高齢者歩行の運動学的な特徴としては、歩行周期の加齢に伴う延長、そして立脚期が延長と遊脚期の短縮があげられる (Murray ら 1970, Murray ら 1970, Kaneko ら 1990)。運動学的特徴としては、同一歩行速度条件における、高齢者の蹴り出し期における推進力の低下 (山田ら 1989, Larish ら 1988) があげられ、このことは、高齢者のパワーが低いということを意味する。さらに、高齢者は下肢関節モーメントのなかでも、蹴りだし期の膝伸展と足底屈パワーが小さく、股関節伸展のパワーが大きいという特徴があげられる。このことは、加齢により蹴りだし期の足底屈が低下するため、歩行中により大きな推進力を発揮するためには、股関節伸展力に依存せざるを得ない

とらことを示唆する。

(3) スポーツ選手のスプリント走パワー

多くのスポーツ種目では、スプリント疾走を、完全もしくは不完全な休息を挟みながら複数回にわたって繰り返すという運動形態がとられる。従って、スプリント疾走能力は多くのスポーツ種目の選手にとっては、各種目のパフォーマンスを決定づける重要な体力要素であるといえる。そこで、第V章ではスポーツ競技選手を対象にスプリント走パワー発揮能力に関する検討を行った。

第1節ではスプリント走パワー発揮能力のスポーツ種目差について検討した。その結果、スプリント走パワー発揮能力の高かった種目としてウェイトリフティングと短距離走があげられ、それぞれの種目が、力発揮に優れたパワー発揮と速度に優れたパワー発揮の特性を示すことが示唆された。スポーツ選手の機械的パワー発揮能力の種目差としては、自転車エルゴメータを用いた最大無酸素パワー発揮能力のスポーツ種目差が報告されている(中村 1987)。しかしながら、スポーツ種目特性をみるための筋パワーテストでは、パワーの測定は実際の身体動作に即した運動形態で行われる必要がある。また、走エルゴメータ法を用いることにより、スプリント疾走における種目差をパワーのみならず、力と速度そしてピッチとストライド長の変化から検討することも可能である。力-速度? パワー関係における種目差については、これまでに荷重負荷装置(川初ら1972)および等速性負荷装置(Johanssonら1987)によって報告されている。そこでも、短距離走選手の特徴として、高速度域における筋力およびパワーの発揮能力に優れていることが指摘されている。ヒトの力-速度-パワー関係はトレーニングによって変化し、しかもその変化様相はトレーニング実施時の筋力の発揮水準あるいは運動速度によって特異的なものになる(Behmら1993, 金子ら1981)ことが報告されている。本節におけるウェイトリフティング選手と短距離選手のパワー発揮特性の背景には、これらの報告にみられるパワー発揮特性のトレーニングの特異性が反映されたと考えられる。

第2節では、10歳代の男女を対象として、短時間で高強度の全力疾走を、セット間に休息を挟みながら繰り返す際に発揮される機械的パワーに及ぼす性別の影響について調べた。本節の主な結果としては、MP/mvとMP/bwの初期セットに有意な性別の影響が示されたこと、10セットを通してのMPの低下率は女子より男子の方が高かったことがあげられた。成人の場合、短時間の全力運動を繰り返し行った後の血中乳

酸濃度は発揮パワーとセットを通しての低下率と有意な相関関係を示す(Brooks 1990, Gaitanos 1991, Hamilton 1991)。また,30秒間の全力自転車駆動では,女性は男性と比較して,有酸素性エネルギー供給の割合が高い(Hill & Smith 1993)。さらに,筋力トレーニングを実施している男女では,筋収縮を全力で連続的に繰り返す際の,筋線維におけるグリコーゲン利用量に性差がみられるという報告もある。したがって,本節における初期セットのMP/MVと%Dの性差は,全力での繰り返し運動において,パワー発揮に用いられた無酸素的エネルギーの貢献度における男女差を反映した結果であることが示唆された。

第 VII 章 要約

(1) 走エルゴメータ法の確立

本研究では、自走式トレッドミルで、前方に設置されたバーハンドルを両手で握りながら歩行や走行をする際に発揮される機械的パワーの測定方法（走エルゴメータ法）を開発した。この方法による歩行や走行は、両手の動作が制限されることから、実際の歩行や走行とは、運動形態が若干異なる。しかしながら、両手でハンドルを握ることで、身体をエルゴメータに固定することが可能である。これにより子どもや高齢者を対象とした走パワーの測定も可能であると考えられる。

また、本研究では走エルゴメータ法で測定されたスプリント走パワーと短距離疾走能力との間に有意な相関関係も示された。この値は、これまで報告された自転車エルゴメータを初めとする、他の無酸素性パワーテストの成績と短距離疾走能力との相関係数と比較しても高い値であった。

走エルゴメータ法によるパワー測定値には高い再現性が見られた。本研究で示されたパワー測定値の再現性は、先行研究において示された自転車エルゴメータ、脚伸展パワー、牽引型走エルゴメータ、そして Margaria テストの再現性と比較しても高い値であった。

走エルゴメータ法による歩・走パワー測定値の男女差を比較した結果、歩・走パワーともに男性が女性の値を大きく上回ることが示された。また、重回帰分析による歩・走パワーの決定因子の検討結果から、走パワーには大腿後部の筋厚が影響を及ぼし、歩パワーには大腿直筋および大腿後部の筋厚が影響を及ぼすことが示された。

(2) 走パワーの加齢変化

第 IV 章では歩・走パワーの加齢変化を検討した。その結果、歩パワーと走パワーは 20 歳代から加齢に伴い直線的に低下する傾向を示し、それぞれの 10 歳あたりの低下量は 10W および 30W であった。また、歩・走速度も加齢に伴い低下する傾向を示したが、その低下は、走行ではおよそ 30 歳代から、そして歩行では 50 歳代から急激になる傾向があった。

(3) スポーツ選手の走パワー

第 V 章では走パワー発揮能力を、主にスポーツ場面における役割から検討した。そ

の結果,最も高い走パワーを発揮したのはウエイトリフティング選手であり,次いで陸上競技短距離選手が高いパワーを発揮した.しかし,パワーを体重当たりで見た場合には,両種目間には有意な差は見られなかった.また,パワー発揮を力発揮と走速度といふ観点から見ると,最も高いパワーを発揮したウエイトリフティング選手の走速度は陸上競技短距離選手,ハンドボール選手そしてバレーボール選手より低値であった.この原因として,陸上競技短距離選手は,通常,比較的高速度の身体動作中に高いパワーを発揮する様なトレーニングを実施しているのに対して,ウエイトリフティング選手は高重量を用いて,比較的遅い動作速度でのトレーニングを実施していることが考えられた.

多くのスポーツ場面では,全力での疾走能力がパフォーマンスに大きな影響を及ぼす.しかしながら,全力疾走が一過性で単発的に実施されるということは稀であり,多くの場合には,全力疾走を完全もしくは不完全休息を挟みながら,複数回にわたって繰り返す能力,いわゆる間欠的全力疾走能力が求められる.そこで,間欠的スプリント走のパワー発揮特性について,性差といふ観点から検討した.全てのセットを通して,男子は女子より高値のパワーおよび速度を発揮した.パワー発揮を体重当たりで見た場合にも,性差は1セット目から3セット目までは依然として見られた.パワーの1セット目に対する低下率は,3セット目までは男子が女子より高値を示した.しかしながら,4セット目以降には有意な性差は見られなかった.男女差が1セット目から3セット目までに見られた背景には,間欠的スプリント走では,セットの初期のパワー発揮には無酸素性エネルギー供給機構がエネルギー供給能力に主要な役割を果たすこと,そして,パワーの低下率が男子の方が高い理由としては,セット初期のパワー発揮能力が高いということがあげられた.

第 II 章 引用文献

- Ayalon, A., Relationship among measurements of explosive strength and anaerobic power. In *Biomechanics IV*, R.C. Nelson and C.A. Morehouse (Eds), University Park Press, Baltimore, 572-577, 1975.
- Balson, P.D., Seger, J.Y., Sjodin, B., Ekblom, B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int. J. Sports Med.*, 13(7), 528-533, 1992.
- Behm, D.G., Sale, D.G. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol.*, 74(1), 359-368, 1993.
- Bell, D.G., Jacobs, I. Muscle fiber-specific glycogen utilization in strength-trained males and females. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21(6), 649-654, 1989.
- Best, C.H., R.C.Partridge. The equation of motion of a runner, exerting a maximal effort. *Proc. Roy. Soc. B*, 103, 218-225, 1928.
- Bishop P, Cureton K, Collins M. Sex difference in muscle strength in equally-trained men and women. *Ergonomics* , 30, 675-687, 1987.
- Blimkie, C.J., Roache, P., Hay, J.T., Bar-Or, O. Anaerobic power of arms in teenage boys and girls , relationship to lean tissue. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 57(6), 677-683, 1988.
- Bohannon, R.W., Andrews, A.W., Thomas, M.W. Walking speed, reference values and correlates for older adults. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 24(2), 86-90, 1996.
- Bosco, C., Komi, P.V. Mechanical characteristics and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 41(4), 275-284, 1979.
- Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 50(2):273-82, 1983.
- Brooks, S., Burrin, J., Cheetham, M.E., Hall, G.M., Yeo, T., Williams. C. The responses of the catecholamines and beta-endorphin to brief maximal exercise in man. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 57(2), 230-234, 1988.
- Brooks, S., Nevill, M.E., Meleagros, L, Lakomy, H.K.A., Hall, G.M., Bloom, S.R., Williams, C. The hormonal responses to repetitive brief maximal exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 60(2), 144-148, 1990.
- Burke, E.J., A factor analytic investigation of tests of physical working capacity. *ERGONOMICS*, 22, 11-18, 1979.
- Cavagna, A.G. Force Platforms as ergometers. *J. Appl. Physiol.*, 39(1), 174-179. 1975.
- Cavagna, A.G., Saibene, F.P. Margaria, R. Mechanical work in running. *J. Appl. Physiol.*, 19 (2), 249-256, 1964.
- Cheetham, M.E., Boobis, L.H., Brooks, S., Williams, C. Human muscle metabolism during sprint running. *J. Appl. Physiol.*, 61(1), 54-60, 1986.

- Chelly, S.M., Denis, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33(2), 326-333, 2001.
- Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Pearce, M.E., Donner, A.P. Determinants of self-selected walking pace across ages 19 to 66. *J. gerontol.*, 37(5), 560-564, 1982.
- Davies, C.T.M., Human power output in exercise of sport duration in relation to body sizes and composition. *ERGONOMICS*, 14, 245-256, 1971.
- De Vita, P., Hortobagyi, T. Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *J. Appl. Physiol.*, 88(5), 1804-1811, 2000.
- De Vito, G., Bernardi, M., Forte, R., Pulejo, C., Macaluso, A., Figura, F. Determinants of maximal instantaneous muscle power in women aged 50-75 years. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 78(1), 59-66, 1998.
- Di Prampero, P. E., Cerretelli, P., Maximal muscular power (aerobic and anaerobic) in Africa natives. *ERGONOMICS*, 12, 51-59, 1969.
- Falk, B., Weinstein, Y., Dotan, R., Abramson, D.A., Mann-Segal, D., Hoffman, J.R. A treadmill test of sprint running. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 6(5), 259-264, 1996.
- Fenn, W.O. Work against gravity and Work due to Velocity Changes in Running. *Amer. J. Physiol.*, 93, 433-462. 1930.
- Froose EA, Houston ME. Performance during the Wingate anaerobic test and muscle morphology in males and females. *Int J Sports Med*, 8, 35-39, 1987.
- 淵本隆文. 高齢者の歩行能力を評価することの意義-バイオメカニクスの視点から-. *日本生理人類学会誌*, 5(2), 73-78, 2000.
- 淵本隆文, 加藤浩人, 金子公宥. 高齢者の歩行能力に関する体力的 動作学的研究 (第 2報) -膝伸展, 足底屈, 足背屈の筋力と歩行能力の関係-. *体育科学*, 28, 108-115, 1999.
- 淵本隆文, 長谷川淳, 金子公宥. 高齢者の歩行能力に関する体力的 動作学的研究 (第 1報) -自由歩行における足運びについて-. *体育科学*, 27, 109-118, 1998.
- 淵本隆文, 松岡有希, 金子公宥. 高齢者の歩行能力に関する体力的 動作学的研究 (第 3報) -縦断的分析による歩行能力の加齢変化-. *体育科学*, 29, 124-132, 2000.
- 深代千之. 瞬発性運動における発揮パワーの評価 -垂直跳, 階段駆け上がり, ランニングについて-. *J. J. Sports Sci.*, 11(3), 176-187, 1992.
- 深代千之, 石毛勇介, 柴山 明, 福永哲夫. スプリント走能力評価のためのスピード測定装置の開発. *スポーツ医 科学*, 10 (1), 69-78, 1997.
- Fukunaga, T., Matsuo, A. Ichikawa, M. Mechanical energy output and joint movements in sprint running. *Ergonomics*, 24(10), 765-772, 1981.

Funato, K., Yanagiya, T., Fukunaga, T. Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 84(3), 169-173, 2001.

Furusawa, K., Hill, A.V., Parkinson, J.L. The Dynamics of "Sprint" Running. *Proc. Roy. Soc. Lond., B*, 102, 29-42, 1928.

古屋かおる, 船渡和男, 高頭静夫, 武藤芳照, 宮下充正. 脚伸展パワー測定装置の開発. *J. J. Sports Sci.*, 5 (9), 669-675, 1986.

Gaitanos, G.C., Nevill, M.E., Brooks, S., Williams, C. Repeated bouts of sprint running after induced alkalosis. *J. Sports Sci.*, 9(4), 355-370, 1991.

Gaitanos, G.C., Williams, C., Boobis, L.H., Brooks, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, 75(2), 712-719, 1993.

後藤幸弘, 井上芳光, 辻野 昭 . マイクロ波による疾走速度の測定-ドップラー効果をヒトの速度測定に利用する場合の諸問題について- . *J. J. Sports Sci.*, 3(9), 699-706, 1984.

Hamilton, A.L., Nevill, M.E., Brooks, S., Williams, C. Physiological responses to maximal intermittent exercise, differences between endurance-trained runners and games players. *J. Sports Sci.*, 9(4), 371-382, 1991.

Hill, D.W., Smith, J.C. gender difference in anaerobic capacity: role of aerobic contribution. *Br. J. Sports Med.*, 27(1), 45-48, 1993.

Himann, J.E., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Paterson, D.H. Age-related changes in speed of walking. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20(2), 161-166, 1988.

平野裕一. 筋のパワーを測る. *体育の科学*, 41, 131-136, 1991.

猪飼道夫, 芝山秀太郎, 石井喜八. 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, 1963.

Johansson, C., Lorentzon, R., Sjostrom, M., Fagerlund, M., Fugl-Meyer, A.R. Sprinters and marathon runners. : Does isokinetic knee extensor performance reflect muscle size and structure? *Acta Physiol. Scand.*, 130(4), 663-669, 1987.

金子公宥, 淵本隆文, 田路秀樹, 末井健作. 人体筋の力 速度-パワー関係に及ぼすトレーニング効果. *体力科学*, 30, 86-93, 1981.

形本静夫, 青木純一郎, 石原啓次, 畑中恵子. 柔軟性が高齢者における歩行の経済性に及ぼす影響. *体育科学*, 29, 83-90, 2000.

形本静夫, 青木純一郎, 及川勝宏. 中高年者における歩行能力と健康関連体力との関係. *体育科学*, 27, 77-82, 1998.

川初清典, 猪飼道夫. ヒトの脚パワー と力 速度要因(I)測定方法 と力-速度およびパワーの関係について. *体育学研究*, 16(4), 223-232, 1972.

川初清典, 猪飼道夫. ヒトの脚パワーと力・速度要因(II)力・スピード・パワーにおける個人特性について. 体育学研究, 17(1), 17-24, 1972.

金俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 岡田守彦, 石津政雄, 足立和隆, 西嶋尚彦. 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. 体力科学, 49(5), 586-596, 2000.

小林寛道. ジュニア陸上競技選手の体力特性. J. J. Sports Sci., 6(11), 725-733, 1987.

Komi PV, Rusko H, Vos J, Vihko V. Anaerobic performance capacity in athletes. Acta Physiol Scand. 100(1):107-114, 1977.

Kram, R., Powell, A.J. A treadmill-mounted force platform. J. Appl. Physiol., 67(4), 1692-1698, 1989.

Kubo, K., Akima, H., Kouzaki, M., Ito, M., Kawakami, Y., Kanehisa, H. and Fukunaga, T. Changes in the elastic properties of tendon structures following 20 days bed rest. Eur.J.Appl.Physiol. 83: 463-468, 2000.

Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. and Fukunaga, T. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. Acta Physiol.Scand. 168: 327-335, 2000.

Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. and Fukunaga, T. Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners. Eur.J.Appl.Physiol. 81: 181-187, 2000.

久保啓太郎, 川上泰雄, 柳谷登志雄, 澤木啓祐, 福永哲夫: 長距離走選手における腱の弾性特性. バイオメカニクス研究概論, 218-223. 1999

Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. and Fukunaga, T. Growth changes in the elastic properties of human tendon structures. Int.J.Sports Med 22: 138-143, 2001.

Lakomy, H.K.A. The use of a non-motorized treadmill for analysis sprint performance. ERGONOMICS, 30(4), 627-637, 1987.

Larish DD. Characteristic patterns of gait in the healthy old. Ann New York Academy of Sciences 515, 18-32, 1998.

Marey, E. J. Le Mouvement, Paris, 1987.

Margaria, R., Aghemo, P., Rovelli, E. Measurement of muscular power (anaerobic) in man. J. Appl. Physiol., 21(5), 1662-1664, 1966.

Mayhew JL, Salm PC. Gender differences in anaerobic power tests. Eur J Appl Physiol, 60, 133-138, 1990.

Miller AEJ, MacDougall JD, Tarnopolsky MS, Sale Dg. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. Eur J Appl Physiol, 73, 544-551, 1993.

Miyatani M, Kanehisa H, Masuo Y, Ito M, Fukunaga T. Validity of estimating limb

- muscle volume by bioelectrical impedance. *J Appl Physiol*, 91, 386-394, 2001.
- Murphy MM, Patton JF, Frederick FA. Comparative anaerobic power of men and women. *Aviat Space Environ Med* 1986;57:636-641.
- 中村好男. アネロビックパワーからみたスポーツ選手の体力. *J. J. Sports Sci.*, 6(11), 697-702, 1987.
- 中村好男, 武藤芳照, 宮下充正. 最大無酸素パワーの自転車エルゴメータによる測定方法. *J. J. Sports Sci.*, 3(10), 834-839, 1984.
- Nevill, M.E., Boobis, L.H., Brooks, S., Williams, C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol.*, 67(6), 2376-2382, 1989.
- Nevill, M.E., Holmyard, D.J., Hall, G.M., Allsop, P., van Oosterhout, A., Burrin, J.M., Nevill, A.M. Growth hormone responses to treadmill sprinting in sprint- and endurance-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 72(5-6), 460-467, 1996.
- Nevill, M.E., Williams, C., Roper, D., Slater, C., Nevill, A.M. Effect of diet on performance during recovery from intermittent sprint exercise. *J. Sports Sci.*, 11(2), 119-126, 1993.
- Ringsberg, K., Gerdhem, P., Johansson, J., Obrant, K.J. Is there a relationship between balance, Gait performance and muscular strength in 75-year-old women? *Age Ageing*, 28(3), 289-293, 1999.
- Ryushi T, Fukunaga T. Influence of subtype of fast twitch fibers on isokinetic strength in untrained men. *Int J Sports Med*, 7, 250-253, 1986.
- 佐藤信一, 近藤博. 100m 疾走における速度の変化. *体育学研究*, 7, 1, 86, 1962.
- Saavedra C, Lagasse P, Bouchard C, Simoneau J-A. Maximal anaerobic performance of the knee extensor muscles during growth. *Med Sci Sports Exerc*, 23, 1083-1089, 1991.
- Saltin B, Henriksson J, Nygaard E, Andersen P, Jansson E. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary men and endurance runners. *Ann New York Acad Sci*, 301, 3-29, 1977.
- Shinkai, S., Watanabe, S., Kumagai, S, Fujiwara, Y., Amano, H., Yoshida, H., Ishizaki, T., Yukawa, H., Suzuki, T., Shibata, H. Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in a Japanese rural community population. *Age Ageing*, 29(5), 441-446, 2000.
- Starck, A. R., Anaerobic power output and Olympic weight lifting performance. *Med Sci Sports Exerc*. 13, 112-114, 1981.
- 菅原秀二, 前田 寛. スター1時の速度測定. *J. J. Sports Sci.*, 3(9), 675-680, 1984.
- Sutter E, Herzog W, Wiley JP, Macintosh BR. Muscle fiber type distribution as estimated as estimated by cybex testing and by muscle biopsy. *Med Sci Sports Exerc*,

25, 363-370, 1993.

田井中幸司, 青木純一郎. 高齢女性の歩行速度の低下と体力. 体力科学, 51, 245-252, 2002.

武政喜代次. 疾走に関する一実験. 体育研究, 13, 15-18, 1948.

Tesch P, Sjodin B, Thorstensson A, Karlsson J. Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta Physiol Scand*, 103, 413-420, 1978.

Thorstensson A, Karlsson J. Fatiguability and fiber composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 98, 318-322, 1976.

Thorstensson A, Sjodin B, Karlsson J. Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol Scand*.94(3):313-318,1975

Tong, R.J., Bell, W., Ball, G., Winter, E.M. Reliability of power output measurements during repeated treadmill sprinting in rugby players. *J. Sports Sci.*, 19(4), 289-297, 2001.

Viitasalo, J. T. Muscular strength profiles and anthropometry in random samples of men aged 31-35, 51-55 and 71-75 years. *ERGONOMICS*, 28(11), 1563-1574, 1985.

Wootton, S., Williams, C. The influence of recovery duration on repeated maximal sprints. In *Biochemistry of Exercise* (edited by Knuttgen, H.G., Vogel, H.G., Poortmans, J.J.), volume 13, 269-273, Champaign, IL: Human Kinetics.

Wragg, C.B., Maxwell, N.S., Doust, J.H. Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83(1), 77-83, 2000.

山田忠利 . 床反力解析からみた歩行の年齢変化 . *J. J. Sports Sci.*, 8, 128-133, 1989.

山本正嘉, 金久博昭. 間欠的運動における血中乳酸の蓄積, 運動強度, 休息時間, および運動時間との関連から. *J. J. Sports Sci.*, 10(11), 764-770, 1991.

山本正嘉, 金久博昭. 間欠的な最大努力作業時におけるパワーの持続能力とエネルギー供給能力の関係. *疲労と休養の科学*, 4(1), 87-96, 1992.

山本正嘉, 山本利春, 湯田一弘, 安ヶ平浩, 前河洋一, 岩壁達男, 金久博昭. 自転車エルゴメータの間欠的な全力運動時の発揮パワーによる無酸素性, 有酸素性作業能力の間接評価テスト. *トレーニング科学*, 7(1), 37-44, 1995.

謝辞

本論文を作成するにあたり,平成 8年に東京大学大学院に入学して以来,7年間にわたり,研究指導をして頂きました福永哲夫先生,金久博昭先生をはじめとする諸先生方,これまで心身ともに支えて頂きました家族,そして早稲田大学福永研究室の皆様に,心から感謝いたします。

本論文は,主に東京大学と早稲田大学における「Life Fitness Research Project」において収集したデータをもとにまとめさせて頂きました。これまでに同プロジェクトに検者・被験者として参加して下さいました皆様に感謝いたします。

今回,博士論文を提出する機会を与えて下さいました早稲田大学の諸先生方に,心からお礼を申し上げます。

資料

- 1) Toshio Yanagiya, H. Kanehisa, M. Kouzaki, Y. Kawakami, T. Fukunaga. Effect of gender on mechanical power output during repeated bouts of maximal running in trained teenagers. *International Journal of Sports Medicine*. *In Press* (投稿原稿).
- 2) 柳谷登志雄, 宮谷昌枝, 金久博昭, 福永哲夫 2002 スプリント走パワーにおける競技種目差. *トレーニング科学* 第14号 2巻, 101-110.
- 3) 柳谷登志雄, 田中さくら, 瀧聞久俊, 岡田純一 2001 ヒトの歩・走能力の加齢変化. *早稲田大学体育学研究紀要* 第33号, 35-42頁.
- 4) 柳谷登志雄, 久野譜也, 金久博昭, 福永哲夫 2000 走パワーの加齢変化. *高齢者の生活機能増進法* .7, 316-318頁.
- 5) Kazuo Funato, Toshio Yanagiya, Tetsuo Fukunaga:2001 Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. *European Journal of Applied Physiology* ,No.84 , pp169-173.
- 6) 金久博昭, 福永哲夫, 柳谷登志雄, 小沢治夫 :1998 高校期における運動部活動の実施が間欠的全力走時の発揮パワーに及ぼす影響. *体育科学* ,第27号 31-39頁.
- 7) 金久博昭, 福永哲夫, 神崎素樹, 柳谷登志雄, 小沢治夫 :1999 発育期の生活フィットネス評価の試み - 中・高校期における運動部活動が下肢の筋量および機能に及ぼす影響について - . *体育科学* ,第29号 33-43頁.
- 8) 久保啓太郎, 川上泰雄, 柳谷登志雄, 澤木啓祐, 福永哲夫 :1999 長距離走選手における腱の弾性特性. *バイオメカニクス研究概論* ,218-223頁.