

【課程内】

博士(人間科学)学位論文

負荷可変走エルゴメータの開発とその応用

Development of resisted running ergometer
and its applicability for the estimation of running ability.

2008年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

土 江 寛 裕

Tsuchie, Hiroyasu

研究指導教員： 福永 哲夫 教授

目次

第I章	緒論	1
1	序	1
2	研究小史	1
2-1	走能力の定量化	2
2-2	スプリント走のパフォーマンス	4
2-3	トレッドミルを用いた走運動の定量化	6
3	本研究の目的	7
第II章	走能力を評価する装置（走エルゴ）の開発	13
1	緒言	13
2	装置の構造	13
2-1	走行ベルト部の構造	13
2-2	力検出部の構造	14
2-3	電磁ブレーキの特性	14
3	走エルゴから得られる信号（ローデータ）と処理方法	15
3-1	ベルト速度（V）	15
3-2	牽引力（F）	16
3-3	パワー（P）	16
3-4	一歩ごとの仕事量，パワーの算出	17
4	結果および考察	17
5	まとめ	18
第III章	走エルゴを用いた力，速度，パワーの測定方法と再現性の検証	25
1	緒言	25
2	方法	25
2-1	被検者	25
2-2	実験方法	25
2-3	データ処理	26
2-4	統計処理	26
3	結果	26
4	考察	27
5	結論	28

第IV章	走エルゴを用いた，スプリント走のパフォーマンス評価	34
1	緒言	34
2	方法	35
2-1	被検者	35
2-2	実験方法	35
2-3	統計処理	36
3	結果	36
3-1	走エルゴによる測定	36
3-2	グラウンド走での測定	36
3-3	走エルゴでの測定値とグラウンド走の関係	37
4	考察	37
5	結論	38
第V章	総括論議	44
1	スプリント走能力の測定装置としての走エルゴ	44
2	走エルゴのトレーニングへの応用	45
3	走エルゴの機能のまとめ	47
第VI章	結論	51
第VII章	参考文献	52
第VIII章	謝辞	62

第1章 緒論

1 序

スプリント走は，加速局面，最大速度局面，減速局面の3つに分けられ（Delecluse ら1995），スプリント走のパフォーマンスは加速能力とトップスピード，速度持続能力により決定付される．

従来，スプリント走のパフォーマンスの規定因子を評価する方法として，走動作をVTRなどによる動作分析法を利用する方法，あるいは，圧力盤法を用いる方法が数多く報告されている（Cavanagh ら 1977，伊藤ら 1994，福田と伊藤 2004など）．しかし，これらの評価方法は測定に時間がかかる（伊藤ら 1994，福田と伊藤 2004など）などの問題点もある．

一方，実験室内の測定方法として，自走式トレッドミル法の活用を試みている研究もある { Lakomy 1986（図 1-1），Falkら 1996，柳谷 2003（図 1-2），Chelly と Denis 2001（図 1-3），Funatoら 1999 など }．これらは比較的容易に走能力を定量化できるが，分析値と実際のスプリント走パフォーマンスとの関係など，明らかになっていない点も多い．

そこで，本研究ではスプリント走能力を評価するための走エルゴメータを開発し，それによるパフォーマンスとの関係を明らかにしようとした．

2 研究小史

2-1 走能力の定量化

1) 走速度の測定

走速度を測定する試みは古くから為されてきた．1927年には

Furusawa ら (1927) が、マグネットとコイルを用い、磁石をつけた被験者がコイルの近くを通過した際にコイルに発生する電流の変化に基づき、走速度曲線が記録できることを報告している。一方、鈴木ら (1937)、猪飼ら (1963) は、光電管を用いて走速度変化を測定した。また、被験者にヒモを取り付け、ヒモが引き出される速度を測定することにより、走速度の経時変化を測定している研究も多くみられる (Best と Partridge 1928, 菅原と前田 1984, 深代ら 1997)。さらに金高 (2004) や渡木ら (2000) は、レーザー光線を用いた速度測定装置 (図 1-4) により、走者の走速度の詳細な変化やピッチおよびストライドを測定している。最近では、実際の競技会で短距離走の速度曲線を記録する試みもみられる (阿江ら 1994)。阿江ら (1994) は、1991年の世界陸上競技選手権東京大会で、ビデオカメラを用い実際の短距離走レースの速度を測定し、100 m 走の速度曲線を明らかにした。

以上のように、グランド走における走速度の測定は、一定区間の平均速度を求める方法と、ヒモを牽引したり、レーザー光線を用いて、走速度をより高いサンプリング周波数で細かく分析する方法によって行われてきた。しかし、区間平均速度による速度測定では、その間の一步ごとの小さな速度変化を知ることができない。一方、ヒモやレーザー光線を用いたものは、ヒモのたるみやレーザー光線を当てる場所などが原因で、測定誤差が生じる可能性がある。

Lakomy ら (1986) は、自走式のトレッドミル装置 (図 1-1) を用いて、1 歩ごとの走速度を求め機械的パワーを算出した。Lakomy らの研究以降、同様の報告が多くなされ、自走式トレッドミルは走運動のパワーや仕事量の定量化に用いられるようになってきた (Forkら 1996, Chelly と Denis 2001, Jaskolskaら 1999, Funatoら 1999)。

グラウンドにおける実際の走運動の走速度を測定するためには大掛かりな装置を必要とする。しかし、トレッドミルでの測定では比較的簡便に走速度を測定することができ、同時にさまざまな変数を測定することが可能である。

2) 走運動におけるピッチとストライド

各種の走速度でのピッチ，ストライドを測定した研究によると，比較的遅い速度ではストライドによって速度を調節し，速い速度になるとピッチによって速度が調節されるといわれている（松尾と福永 1981，Hogbreg 1952）。

短距離走の加速局面では，ピッチはほぼ最大値に近く，ストライドの増加によって加速させるとしている（土江ら 2005，阿江ら 1994）

阿江ら（1994）は，世界レベルの競技会において，スプリント走競技中のピッチ，ストライドを測定した。それによると，スプリント走中のピッチとストライドの組み合わせは，選手によって異なり，また，その10m毎の変化パターンも，いくつかのパターンに分かれる。一方，NelsonとGregor（1976）は，大学長距離選手に何種類かの走速度で走行させ，そのときのピッチとストライドを4年間縦断的に測定した。その結果によると，パフォーマンスの向上に伴って，多くの選手にピッチの向上がみられた。また，なかにはストライドの向上がみられた選手もいたが，いずれの場合もトレーニングによる走動作の改善がなされたものと考察されている。

Correa（1989）は，16名の長距離走者を5000mパフォーマンスの優劣によって2群に分け，3種類の速度（4.5，5.0，5.5m/s）における走動作を比較している。それによると，いずれの速度においても，パフォ

ーマンスの高い群は足底屈が小さく，回復期の脚の前への回復動作が速い．

また，松尾と福永（1981）は，短距離走者と長距離走者をジョギングからスプリントまでの速度で走行したときの地面反力を分析している．その結果，長距離選手は短距離選手と比較してピッチが高く，ストライドが小さく，その要因として接地の衝撃を抑え，負のパワーを小さくするためであると考えられている．

Lakomy ら（1986）や柳谷（2003）は，自走式エルゴメーターを用いて，1歩ごとの速度変化からピッチとストライドを求め，実験室内における走運動におけるピッチとストライドの計測を可能にしている．

以上をまとめると，スプリント走，持久走に関わらず，ピッチとストライドの組み合わせがパフォーマンスに与える影響は大きいといえる．また，屋外での実際の走運動ではなく，自走式エルゴメーターを用いてのピッチとストライドの測定も可能であり，走運動の評価方法として有用であろう．

2-2 スプリント走のパフォーマンス

Delecluse ら（1995）は，スプリント走は，走速度変化から3つの局面（加速局面，トップスピード局面，走速度持続局面）に分けられるとしている．

1) 加速局面に関する研究

スタートから加速局面に関する研究例として，小松ら（1995）はスタート後の8，9，10，11歩目において，パフォーマンスの高い選手がより大きなキック力を発揮することができると報告している．また，福田と伊藤（2004）は，加速過程における地面反力の水平成分に着目し，

選手のパフォーマンスにかかわらず，着地後に一定の減速と加速（0.20 ~ 35m/s）が生じるとしている．さらに一步における速度変化（加速）が歩数の増加に伴い減少し，パフォーマンスの高い選手は，高い速度に対する力発揮能力が高いといわれている．一方，Chelly と Denis（2001）は，トルクモーターで制御されたトレッドミルを用い（図 1-3），ベルト速度と，被験者の腰に取り付けたロッドをひく力の積によって，静止状態から最大疾走速度になるまでの平均パワーを求め，パワーと初期加速との間に高い相関関係があることを報告している．

2) 最大速度局面に関する研究

陸上競技 100 mにおける最大疾走速度は，パフォーマンスに決定的な影響を与える（渡木 2000）．最大疾走速度を決定する要因としては，疾走動作（伊藤ら1994，伊藤ら1998），地面反力（福田と伊藤 2004，Weyと 2000），等速性筋力（渡邊ら 2000），下肢のスティフネス（McMahon と Chang 1990，Arampatizis ら 1999，Chelly と Denis 2001），筋の弾性特性（Cavagna ら 1971）などが報告されている．

福田と伊藤（2004）は，スタートから 1，3，5，9，13，19歩目の地面反力データを測定し，減速成分をなくすことでは最大疾走速度増加につながらず，相対的に自分に対して速い速度で移動している地面に，加速力が発揮できるかどうかによって最大疾走速度が決まるとしている．また，Cavagna ら（1971）は，5m/s 前後より速くなると，筋の弾性エネルギーの蓄積解放が走速度に影響を与えていると報告している．さらに Chelly と Denis（2001）は，自走式ランニングトレッドミルを用いて測定したパワーと，その場ホッピングによって求められた脚のスティフネスを測定している．その報告によると，前者が加速に，後者が最大疾走速度とそれぞれ相関が高い．

3) 減速局面に関する研究

減速局面についてはあまり報告が為されていないが、この局面での速度の低下は、ピッチの低下によるところが大きい(阿江ら 1994)。またそのほかに、技術的な走フォームの変化(中野ら 1991, 土江ら 1997)やエネルギー代謝に関わる要因(八田 2001)によって、走速度の減速が引き起こされると考えられる。

以上の先行知見をまとめると、スプリント走のパフォーマンスを左右する要因として、以下のような点が挙げられる。

加速局面では、キック力やパワーを支持脚によって地面に対して発揮できるかということが、そのパフォーマンスを左右すると考えられる。最大速度局面は、高い速度で移動する地面に対して、どれだけ力を加えることができるかどうかという点(福田と伊藤 2004)と、短時間で大きな力を出すための、下肢の筋や関節の弾性特性が影響していると考えられる(Cavagna 1971, Kubo 2000)。減速局面では、ピッチや疾走フォームを維持するための筋持久力が求められる。スプリント走においては高い速度に対する力発揮能力や、力と速度の積であるパワーが、パフォーマンスを左右すると思われる。したがって、スプリント走における速度と推進力の関係を測定することが、スプリント走のパフォーマンスを推し量る指標になると考えられる。

2-3 トレッドミルを用いた走能力の定量化

トレッドミルを用いた走能力の定量化の試みはこれまでにいくつか見られる。

Lakomy (1986) は、ランニング中の機械的パワーを測定する自走式トレッドミルを考案した。走者の腰につけたベルトにワイヤーを取り付

け，そのワイヤーの牽引力と，トレッドミルベルトの速度の積を求め，パワーを算出した．また，Falkら（1996）やChellyとDenis（2001）は，Lakomyの方法を発展させ，トルクモーターによりトレッドミルベルトの摩擦を軽減させ，より正確に走運動中のパワーを測定している．さらにJaskolskaら（1999）は，調節できるブレーキ負荷装置が取り付けられた自走式トレッドミルを用いて，走運動中の走速度 牽引力関係を測定している．その結果によると，自転車エルゴメーター（McCartneyら1983）のように，力 速度関係は直線的になるとしている．単一の筋や関節では，力（トルク）と速度（各速度）は直角双曲線状のになる（Hill 1938）ことが知られている．しかしJaskolska（1999）は，走運動は全身を使った多関節運動であり，多くの筋や関節が複雑に入り混じるため，直線的になると述べている．

トレッドミルを用いた測定では，走運動を場所や歩数に制限されることなく走能力の定量が可能であり（柳谷 2003），走運動の速度やピッチ，ストライド，力学的仕事，パワーなどを，より簡便に測定することが可能である．また，トレッドミルによって測定されるパワーとスプリント走のパフォーマンスの関連を検討した報告（Funatoら2001，ChellyとDenis 2001）はいくつか見受けられる．しかし，トレッドミル法により測定された力 速度関係とスプリントパフォーマンスとの関係を示した研究は，これまでのところ無い．

3 本研究の目的

以上述べたように，スプリント走などの走能力を定量化する試みはさまざまな方法でなされてきた．走運動におけるキネティクスを分析するためには，ビデオによる動作分析や圧力版法による方法が一般的である

が，大掛かりな実験設定や多くの分析時間と労力を必要とする．トレッドミルや走エルゴメーターを用いると比較的簡便に測定できるが，その測定値と走能力との関係は明らかにされていない．

そこで本研究では，走運動中の力 速度 パワーを測定できる走エルゴを考案し，その測定方法を検証することと，その測定値の再現性を確認すること，ならびに新たに考案した走エルゴにおいて得られる変数とスプリント走との関係を明らかにしすることを目的とした．

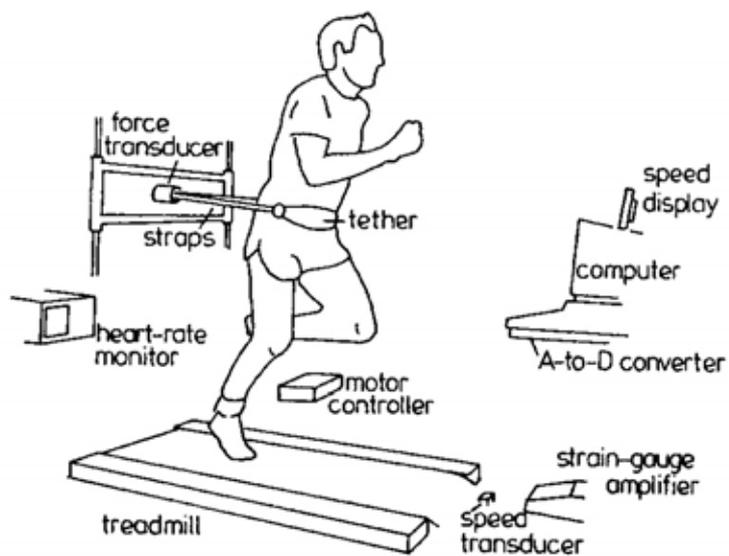


Figure 1. A schematic diagram of the sprint treadmill ergometer.

図 1-1 Lakomy (1986) によるスプリントトレッドミル

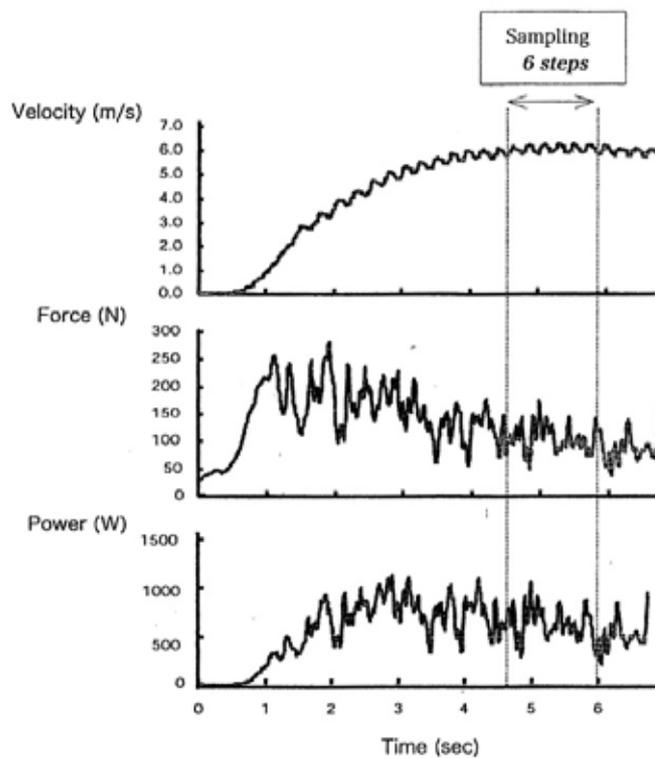
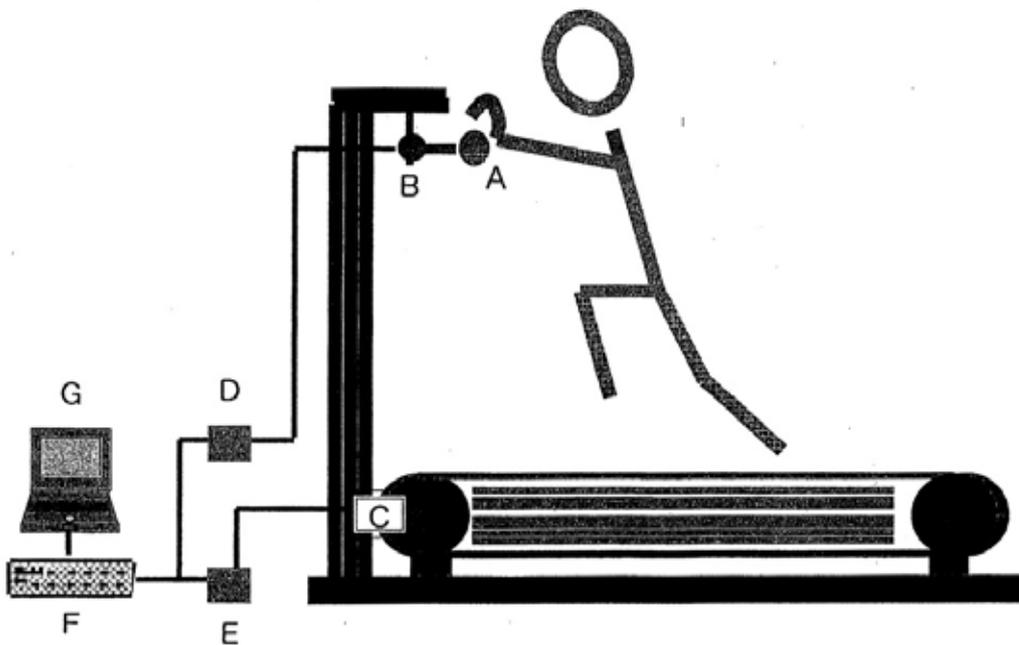


図 1-2 柳谷ら (2001), Funatoら (1999) が用いた, グリップにフォーストランスデューサーを取り付けたトレッドミルと, その装置から得られる信号 (柳谷ら 2001)

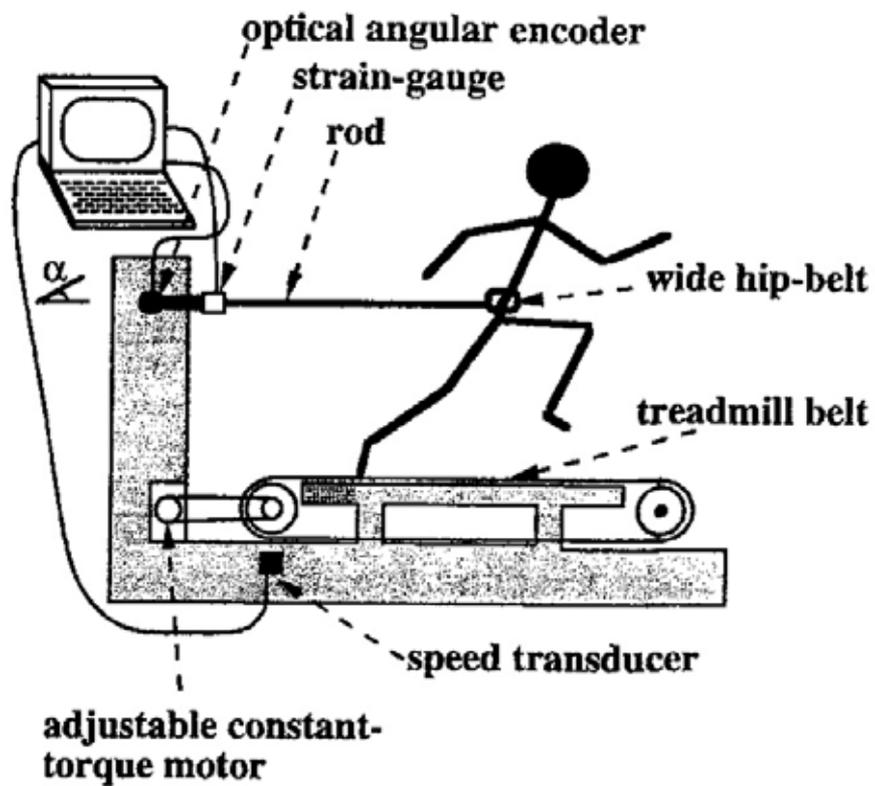


FIGURE 2—Diagram of the treadmill ergometer.

図 1-3 トルクモーターでベルトの摩擦抵抗を制御したトレッドミル
 (Chelly と Denis 2001)



図 1-4 レーザー式速度測定装置（Laveg Sports，Jen-Optic社製）を用いた速度測定の様子（著者資料）

第 章 走能力を評価する装置（走エルゴ）の開発

1 緒言

これまでの報告によると、自走式エルゴメーターを用いることにより、走運動中の機械的仕事量やパワー、力 - 速度関係、ピッチ・ストライドを測定することが可能である（Falkら 1996, Funatoら 2001, Chelly と Denis 2001, 柳谷 2003, Jaskolskaら 1999）。この方法は、動作分析法やキネティクス法のように、大掛かりな実験装置や複雑な分析などに制限されることなく、比較的簡単にそれらの力学的変量を測定することが可能である。

本研究では、新たにランニングエルゴメーター（以下走エルゴ）を開発した。本章では本研究に用いた走エルゴの構造や機能について述べる。

2 装置の構造

本装置（図 2-1）は被験者の体重を受け止め、被験者が後方へ蹴ることによって動くベルトと、ベルトに調節可能な負荷を与える電磁ブレーキを内蔵する走行ベルト部、および鉄のワイヤーおよびフォーストランスデューサーで構成される力検出部の2つの部分で構成される。

2-1 走行ベルト部の構造

走行ベルトの走行面は、幅580mm、長さが1100mmであり、ベルトの最前部および最後部は、直径168mmのドラムが配置され、ベルトを動かすと前後のドラムがフライホイールとして働く。走行ベルト部にはトルクモーターなどの動力なく、被験者がベルトを蹴ることによってベルトは回転する。走行面は直径30mmの細いドラム（36本）で支えられ、被験者の体重を支えながら摩擦負荷を抑える構造になっている。また最前

部のドラムの軸には電磁ブレーキが取り付けられ、ベルトの負荷を調節することができる。さらに、最前部のドラムには、ベルトが 0.0336m 移動すると 1 回の矩形波を発するパルスジェネレータが内蔵されている。この信号は、A/D コンバータ（PowerLab 16s，AD Instruments）を介して PC に取り込まれる。

2-2 力検出部の構造

力検出部は、被験者に取り付ける腰ベルト、それに接続される鉄のワイヤーおよびフォーストランスデューサー（LUR-A-1KNSA1，協和電業）で構成される。フォーストランスデューサーは走エルゴと前後の壁に固定された鉄のフレームに接続されている。被験者の腰ベルトと固定された鉄フレームを結ぶストラップは、長さは 1 ~ 1.3m の範囲で調節できる。フォーストランスデューサーで検出された張力信号は、ストレインアンプ（DPM-305A，共和電業）で増幅し、A/D コンバータ（PowerLab 16s，AD Instruments）を介して、サンプリング周波数 2kHz で PC に取り込まれる。

2-3 電磁ブレーキの特性

電磁ブレーキ（以下ブレーキ）は、走行ベルト部を前後で支える太いドラムの前方側の軸に取り付けられている（図 2-1）。ブレーキは装置（パウダーブレーキ）にかかる電圧に比例し、0.1volt 単位で調節することができる。

図 2-2 は、0 volt（ブレーキを全くかけていない、ドラムやベルトの摩擦や慣性負荷のみの状態）から 1 volt ずつブレーキ電圧を変化させ、そのときに装置の上をゆっくり歩いたときの牽引力である。ブレーキ電

圧が 0 volt から 3 volt まではベルト負荷はほとんど変化せず，3 volt を超えるとブレーキ電圧に比例してベルト負荷は増加した．したがって，3 volt を超えるブレーキ電圧は，ベルト負荷と直線的な比例関係にあると考え，ベルト負荷はブレーキ電圧で表すものとした．

3 走エルゴから得られる信号（ローデータ）と処理方法

走行ベルト部のベルトの変位を示す矩形波（Pulse）と，力検出部からフォーストランスデューサーによって測定される牽引力（F）の信号は，A/D 変換後，サンプリング周波数 2kHz で PC に記録し，図 2-3 は走エルゴによって記録される Pulse と F のローデータを示したものである．それらより，ベルトの速度（V），牽引力（F），パワーを求めることができる．以下にそれらの算出方法を記した．

3-1 ベルト速度（V）

ベルト速度（V）の算出方法を図 2-4 図に示した．V は Pulse1 回あたりの移動距離（0.0336m）を，2 回の Pulse の立ち下がりの時間（図中 T1 から T2）で除すことにより求め（式 2 - 1），その時刻は二つの Pulse の立下りの中点（図中 X）とした．

$$Belt\ Speed(V) = \frac{0.0336}{T2 - T1} \quad \dots \text{（式 2-1）}$$

次に求められた速度をスプライン補間し，元のデータのサンプリング周波数（2kHz）と合わせ，同期させた（図 2-4 印）．

V の典型的波形（静止状態からの全力ダッシュ）を図 2-5 上段に示し

た .

3-2 牽引力 (F)

走エルゴは , 走行ベルトを被験者が蹴ることによって動かすと , その反作用を腰のベルトで受けて , 牽引力 (F) を測定する構造になっている . 一歩ごとのキックによるスパイク状の波形が記録されるが , そのピークは走行ベルト部の加速度のピークと時間的に若干のずれが生じる . これはキックで走行ベルト部から得られた反作用を , 剛体でない身体を介してベルトに伝えているために生じたものと考えられる . また , F はつねに正であったが , これはフォーストランスデューサーが , ストラップにより被験者に取り付けられていたためであり , 仮に牽引力が 0 になればストラップはたるんでしまい , 物理的に 0 以下を測定できない構造になっている . F の典型的波形 (静止状態からの全力ダッシュ) を図 2-5 中段に示した .

3-3 パワー (P)

本章 3-1 , 3-2 で述べた方法によって V および F を求め , それらの積 (式 2-2) によりパワー (P) を求めた .

$$P[W] = F \cdot V \quad \dots (\text{式 2-2})$$

P の典型的波形 (静止状態からの全力ダッシュ) を図 2-5 下段に示した .

3-4 一歩ごとの値の算出

Pulse 信号から本章 3-1 の手順により V を求め、 V をさらに時間微分し、ベルトの加速度 (A) を算出した (図 2-6)。被験者がベルトを加速することで、 A がマイナスからプラスに変わる瞬間から、次のマイナスからプラスに変わる瞬間までを 1 歩とした。

4 結果および考察

図 2 - 5 に示すように、 V 、 F 、 P いずれの波形も変動が非常に大きかった。これは左右差によるものや、姿勢の微妙なバランスの違いによるものであると考えられる。これまでいくつかの研究で、同様の装置を用いて仕事量、パワーの分析が試みられている (Lakomy 1986, Jaskolska ら .1999, Funato ら .2001, Fork ら .1996, Chelly & Denis 2001)。しかし、いずれの報告においても F の変動は大きい。そのためこれらの研究では、数秒、もしくは数歩の平均値を用いている。本研究においても、 V 、 F および P の値は、6 歩における平均値を用いることが妥当であると考えた。

また、先行研究では、腰もしくはハンドルに取り付けられたフォーストランスデューサーによって F を測定している。Lakomy (1986) は、腰に取り付けたストラップができるだけ水平になるように取り付けている。また、そのほかの研究は (Jaskolska ら .1999, Fork ら .1996, Chelly & Denis 2001)、ストラップもしくはロッドに取り付けられたゴニオメーターによって、その角度を求め、角度から牽引力の水平成分を求めている。Funato ら (2001) は、装置に固定されたハンドルにフォーストランスデューサーを取り付け、水平成分のみ測定する構造になっている。本研究においては、ストラップが水平になるように、腰につけた

ベルトを水平になる位置に注意深く取り付けた．この方法では Lakomy (1986) 同様，走運動中の身体の上下動により，引っ張る方向が変化すると考えられる．しかし，ストラップの長さは 1 ~ 1.3m であり，走行中の重心の上下動を 6cm (Cavagna ら 1964) と仮定すると，上下動による誤差は 0.1% 未満であり，無視できると考えられる．

5 結論

本研究で用いる走エルゴメータ (走エルゴ) を用いて走速度 (V)，牽引力 (F)，走パワー (P) の測定が可能であった．また，測定値は瞬時の値を用いず，6 歩分程度の平均値を用いることが望ましいと考えられた．

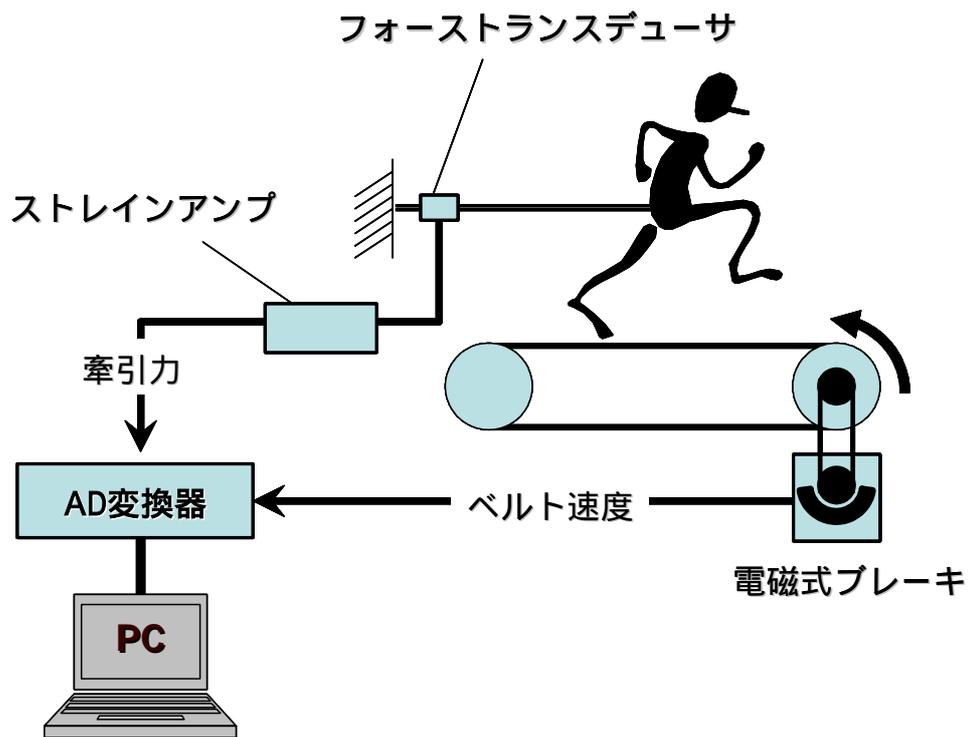


図 2-1 走エルゴの写真（上）と構造の模式図（下）。

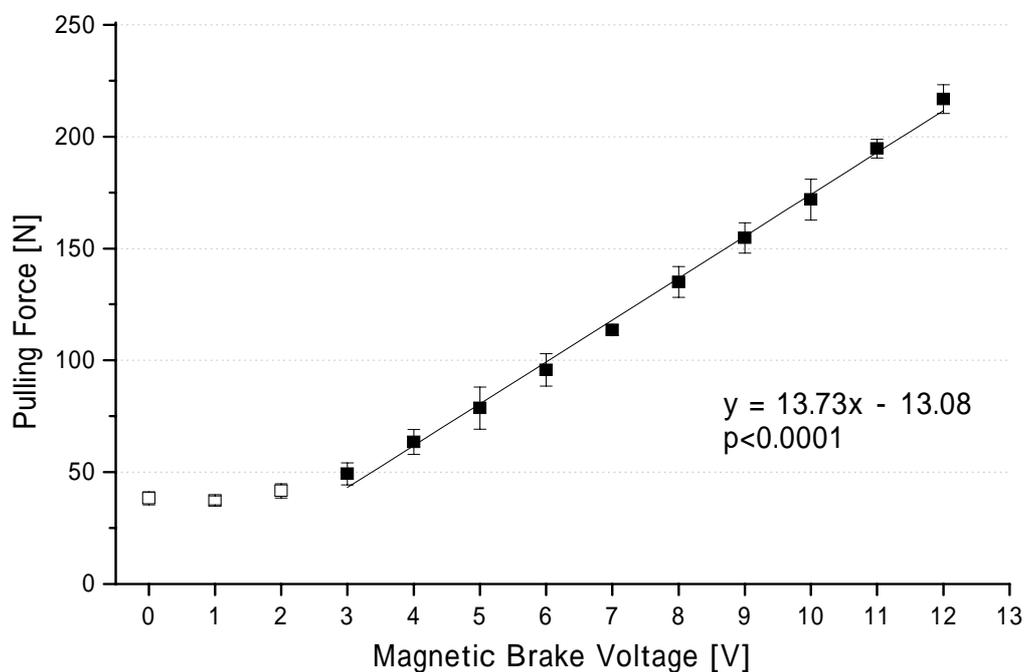


図 2-2 ブレーキ装置にかけられる電圧（ブレーキ電圧）とベルトにかかる抵抗（ベルト抵抗（R））の関係を表す．0 から 3V まではベルト抵抗はほとんど変化しないが，3V 以上ではブレーキ電圧とベルト抵抗は直線的な比例関係にある．

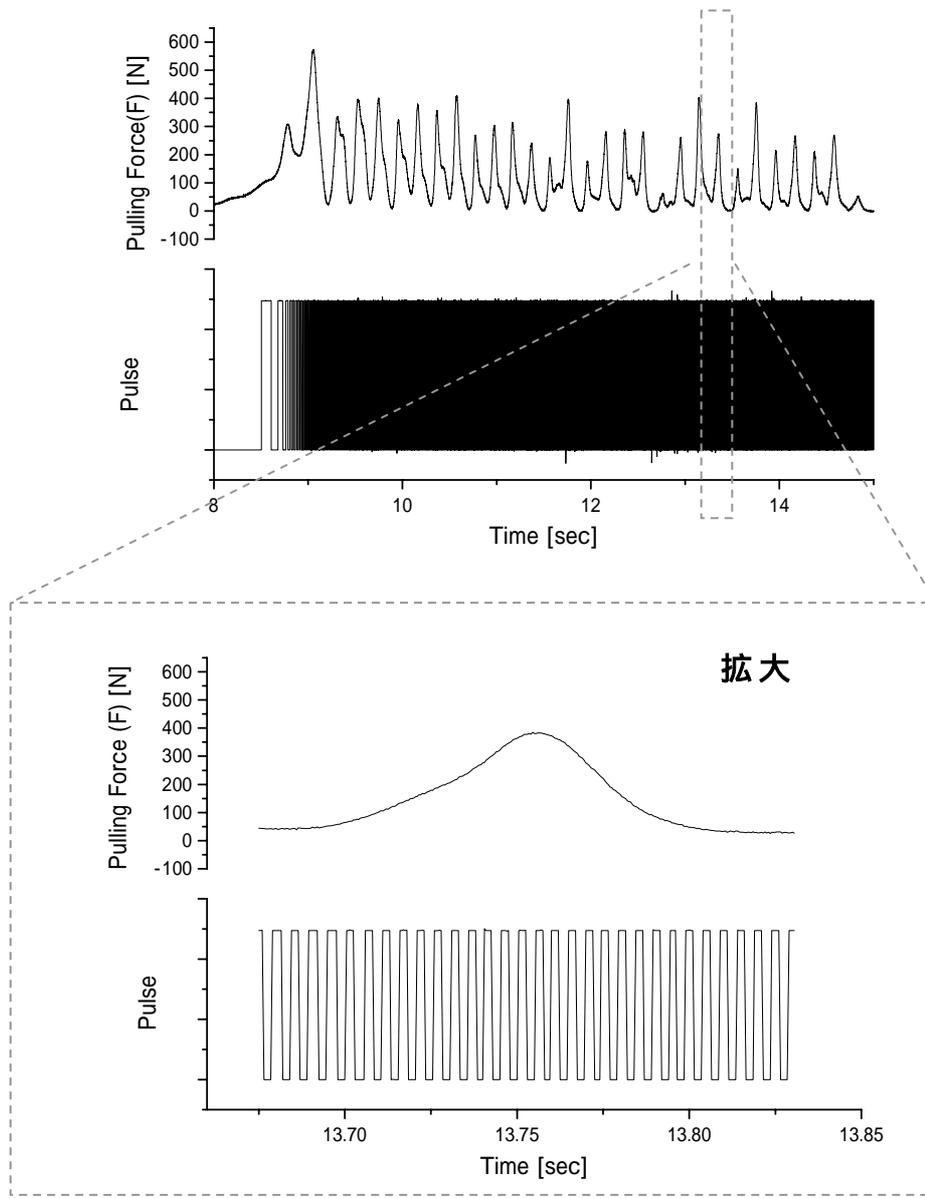


図 2-3 走エルゴから得られる信号（ローデータ）

上段は走エルゴから導出される 2 つの信号（フォーストランスデューサからの力およびパルスジェネレータからのパルス）のローデータである。下段はその一部を拡大したものである。

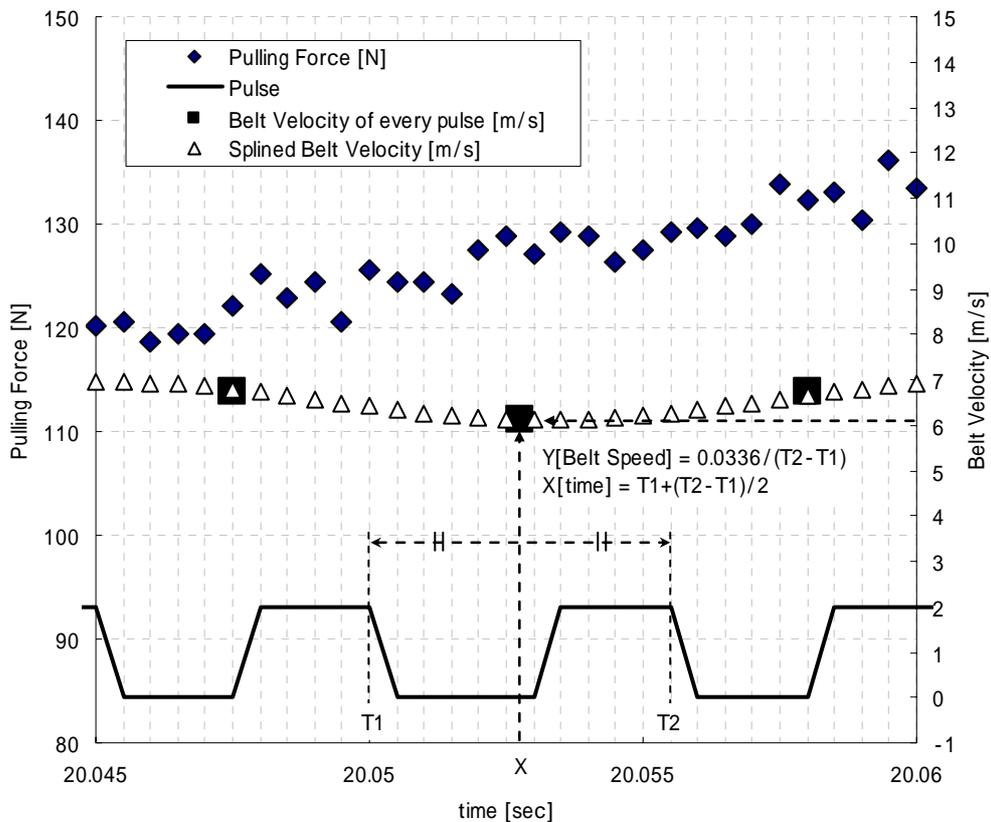


図 2-4 装置から得られる信号（拡大図）と，その処理方法

印は力，実線はベルト変位を示すパルス信号のローデータである．連続するパルス信号立下りの時刻（ $T1$ と $T2$ ）の間隔から速度を求め，その中点の時刻（ X ）の速度（図中 印）とした．さらに力の検出された時刻と同じ時刻の速度（ 印）をスプライン補完することにより求めた．

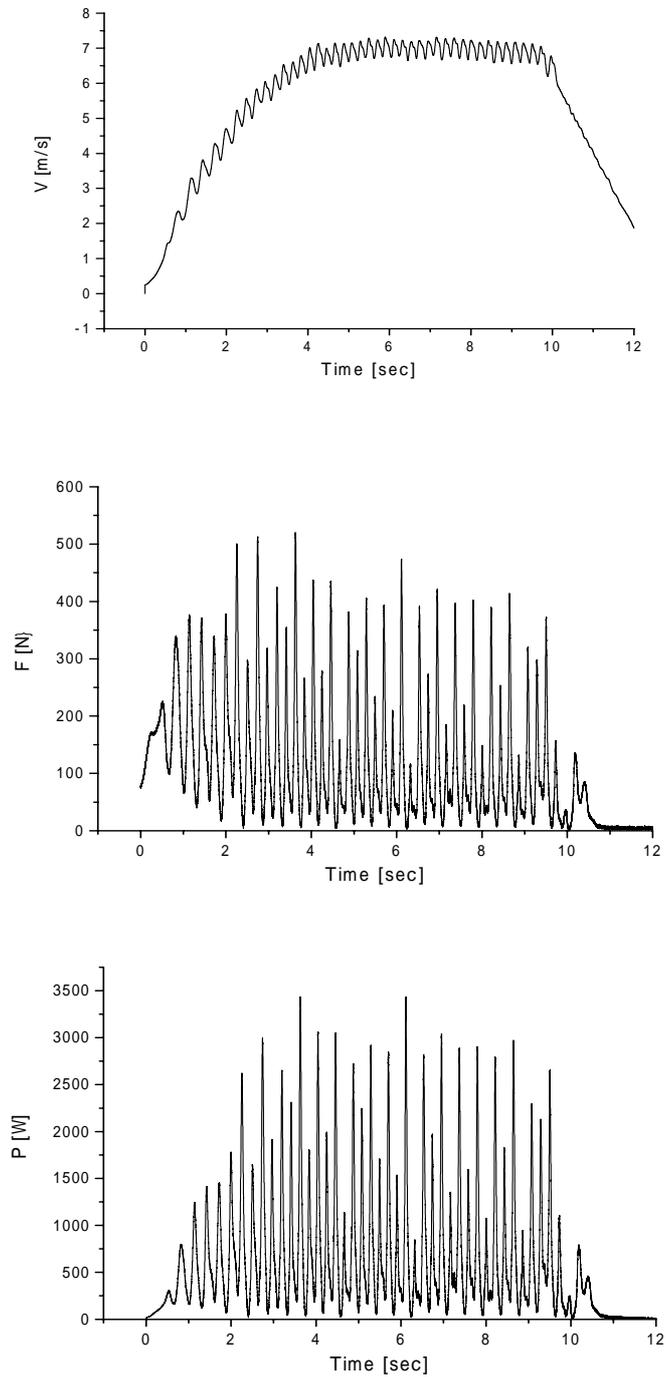


図 2-5 走エルゴから得られる波形の典型例．ブレーキ抵抗をかけずに静止した状態から全力ダッシュを行ったときの V (上段), F (中段), P (下段) の波形．

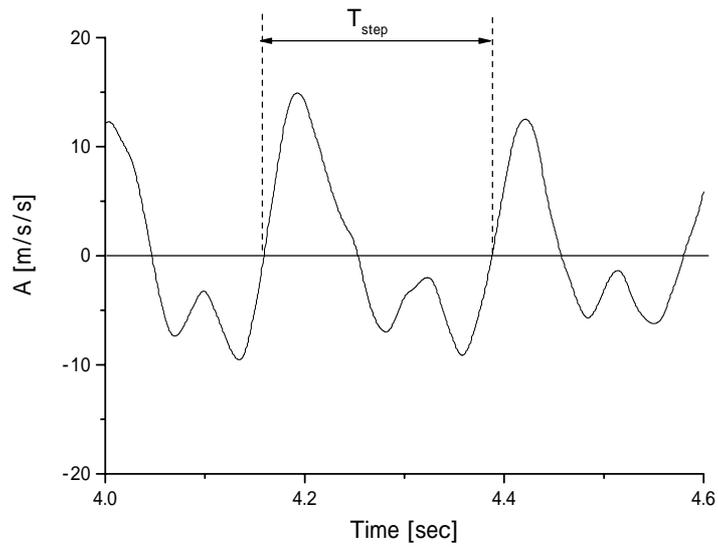
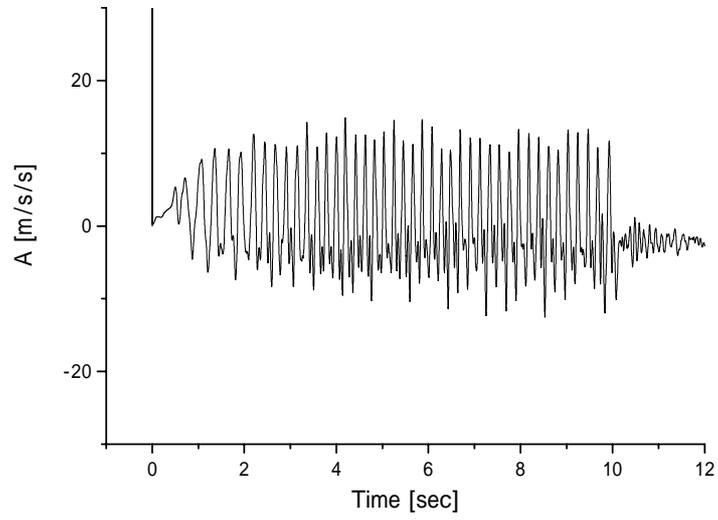


図 2-6 ベルト加速度 (A) の波形 (上段) とその拡大図 (下段)

第 章 走エルゴ法による力，速度，パワー測定 of 再現性の検証

1 緒言

走エルゴを用いることにより，スプリント走のようなスポーツパフォーマンスにおける力（牽引力（F））速度（走速度（V））関係を測定することが可能であると考えられる（Jaskolska ら．1999，Falk ら．1996，Chelly & Denis 2001）．本章では第 章で開発した走エルゴを用いて，走能力を評価する方法（走エルゴ法）を検討し，その測定値の再現性について検証することを目的とした．

2 方法

2 - 1 被検者

成人男性 12 名（年齢：23.6 ± 2.7 歳，身長：175.2 ± 3.7cm，体重：75.8 ± 10.3kg）が被検者として参加した．被検者は本研究の内容，目的について十分に説明を受けた上で，署名により実験参加の意志の確認をした．この研究は早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を得た．

2 - 2 実験方法

被検者は，走エルゴを用いて，3volt，4volt，6volt，9 volt，11 volt の 5 段階の負荷（それぞれ，42.5N，61.3N，98.8N，155.0N，192.5N）で走行した．負荷の順序はランダムとした．測定を実施する前に，被検者はその動作に慣れるために十分な練習を行った．被検者はそれぞれの試行において，静止状態から徐々に速度を増し，最終的に全力疾走になるまで速度を増加させた．試行中のベルト速度はモニタリングされ，ベルト速度が定常状態になってから少なくとも 3 秒間持続した後，試行終了の合図を出した．各試行間には少なくとも 10 分以上の間隔をあげた．同一のプロトコル

による測定を同一被検者に対して，1日から7日の間隔をあけて2回行った．

2 - 3 分析方法

図 3-1 に走エルゴで得られた V と F の変化の典型例を示した．分析は，連続する 6 歩の V が最大になる区間を分析対象区間(Fig2 点線で挟まれた部分)とした．さらに，分析対象区間での平均ベルト速度を V ，平均の牽引力を F とした．

図 3-2 上段に，それぞれの負荷における V ， F を示した． V と F の回帰直線を求め，その回帰直線を外挿し， $F = 0$ のときの V を推定最大走速度 (eV_{max}) とした (図 3-2 上) ．さらに $V \cdot F$ の積を求め， V に対するパワー (P) を求めた． V に対する P を 2 次曲線に回帰し，その最大値を走エルゴにおける推定ピークパワー (eP_{max}) とした (図 3-2 下) ．

また，以上のような実験プロトコルおよび分析方法を走エルゴ法とした．

2 - 4 統計処理

2 回の走エルゴ法によって得られた測定値については，級内相関係数 (Intraclass Correlation Coefficient : ICC) を求め， $ICC > 0.8$ を以って十分な再現性があると判断した (Vincent 1995) ．

3 結果

図 3-4 に各負荷における 2 回の測定値および ICC , 図 3-5 に測定値と ICC を示した．

ベルト負荷の増加に伴い， F と P は増加し， V は低下した．その傾向は 1 回目，2 回目ともに同様であった．

2回の測定において各負荷で観測されたV, Pは,それぞれ $ICC > 0.840$, $ICC > 0.802$ であった(図3-3). Fは2回の測定において再現性は低かった($ICC = 0.42 \sim 0.78$). F-Vの関係を図3-4に示した. 5種類の負荷におけるVおよびFの関係を直線回帰したときの相関係数は, 平均で $r = -0.999$ であった. 相関係数はすべての被検者のすべての試行において, $r < -0.997$ であり, F-V関係は直線性が非常に高い関係として表れた.

V-F関係から求められる eV_{max} は, 高い再現性($ICC = 0.860$)が確認された. 同様に, V-P関係から求められる eP_{max} も ICC は 0.929 で, 再現性は高かった(図3-5).

4 考察

走エルゴ法で測定されたVおよびPには十分な再現性が確認できた. Jaskolskaら(1999)の研究では, 速度の ICC は $0.81 \sim 0.91$, パワーについては $0.76 \sim 0.94$ であった. 本研究ではVの ICC は $0.849 \sim 0.929$, Pの ICC は $0.802 \sim 0.958$ であり, Jaskolskaら(1999)の報告よりも高かった. したがって, 本研究における走エルゴの測定値は, 高い再現性を持つと考えられる. また, F-V関係の回帰式から求めら得る eV_{max} , eP_{max} にも, 同様に高い再現性がみられた.

V-Fの間に直線関係が見られた. これはJaskolskaら(1999)が同様の自走式トレッドミルを用いておこなった報告と同様であった. Jaskolskaらは, 単関節運動では直角双曲線状の関係にあるF-V関係が, 多くの筋や関節が関与した多関節運動, もしくは今回のような全身運動では, それぞれの筋が相互に作用しあって直線的になるとしている. 今回F-V関係が直線関係であったことに対しての, 同様の理由があてはまると考えられる. またこれは, F-V回帰直線を外挿して求める eV_{max} の算出方法を支持する

ものでもあると考えられる。

また、 F は接地期・空中期に関わらず、常に 0 を下回らなかった(図 2-5)。走エルゴでの走行は、グラウンド走と異なり、トレッドミル上で動作を行っているため、実際に身体重心を前方へは進めていない。したがって、重心より前方へ着地しても、重心の減速は起こらず、グラウンド走で見られるような減速局面は存在しないと推測される。また、空中期においても 0 を越える F が検出されたのは、空中期において、スイング脚や腕が身体重心に対してすばやく前に回復されることなどにより、その反力がストレインゲージに伝わり、牽引力として検出されたと考えられる。

5 結論

走エルゴ法によって測定された走運動中の F - V 関係は、直線性の高い関係であることがわかった。また、走エルゴ法での測定値およびそれらから算出される eP_{max} および eV_{max} の再現性の検討を行った結果、走エルゴ法における V 、 P および eV_{max} 、 eP_{max} には高い再現性が確認された。

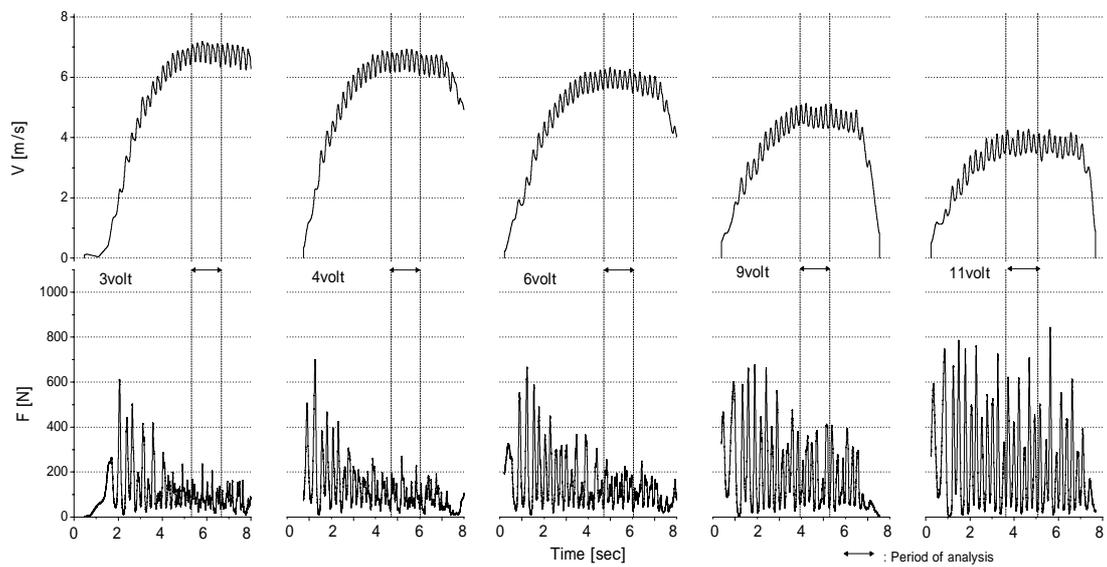


図 3-1 ベルト負荷 3volt , 4 volt , 6 volt , 9 volt , 11 volt におけるベルト速度 (V) および牽引力 (F) の波形の典型例 .

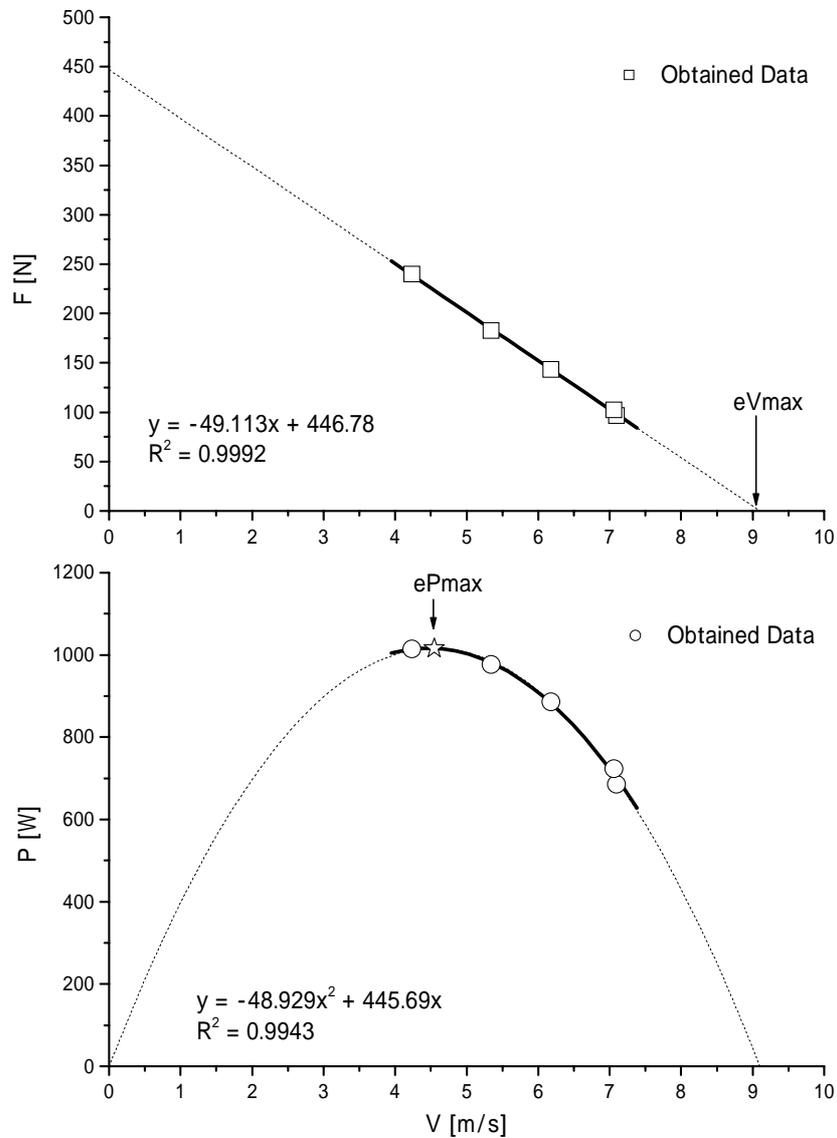


図 3-2 上部パネル ; 5 段階の負荷における F と V の関係の典型例 . すべての被験者において高い相関関係が見られた ($r > .973$) . そして , その回帰直線を外挿し , $F = 0$ のときの V を eVmax とした . 下部パネル ; 5 段階の負荷における V と P の関係 . V と P を 2 次関数で回帰し , その最大値 (図中 印) の P を ePmax とした .

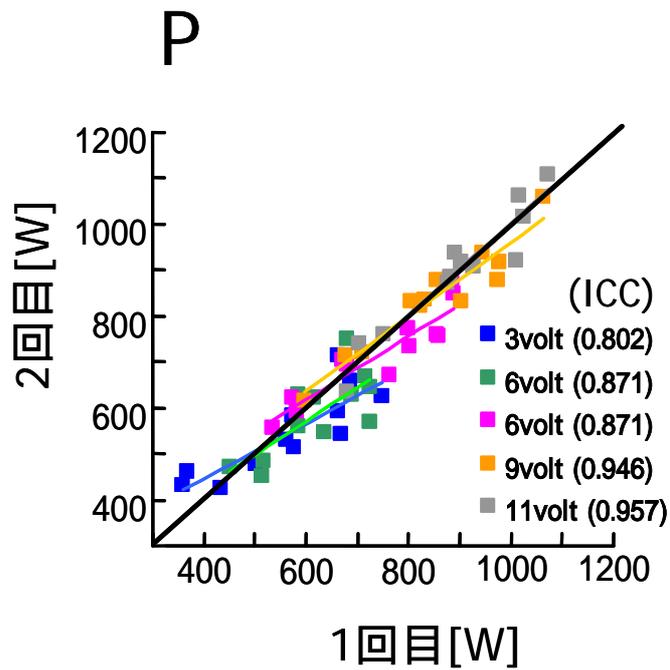
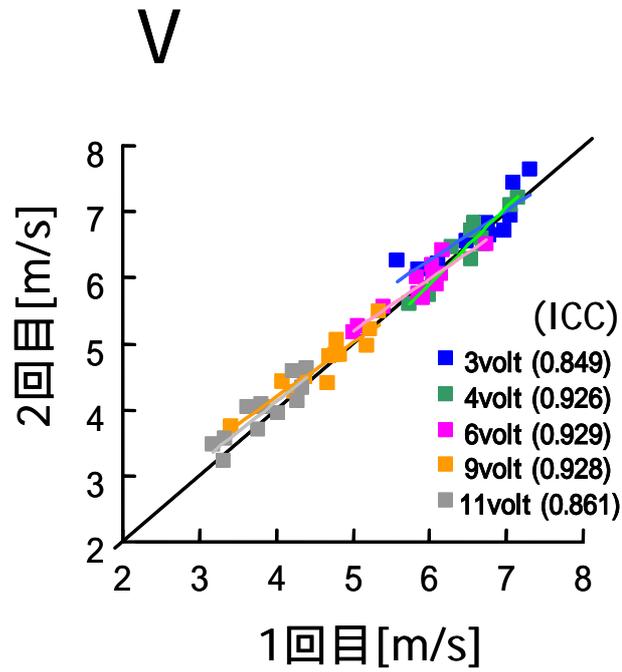


図 3-3 各負荷における F および P の 2 回の測定値および級内相関係数 (ICC)

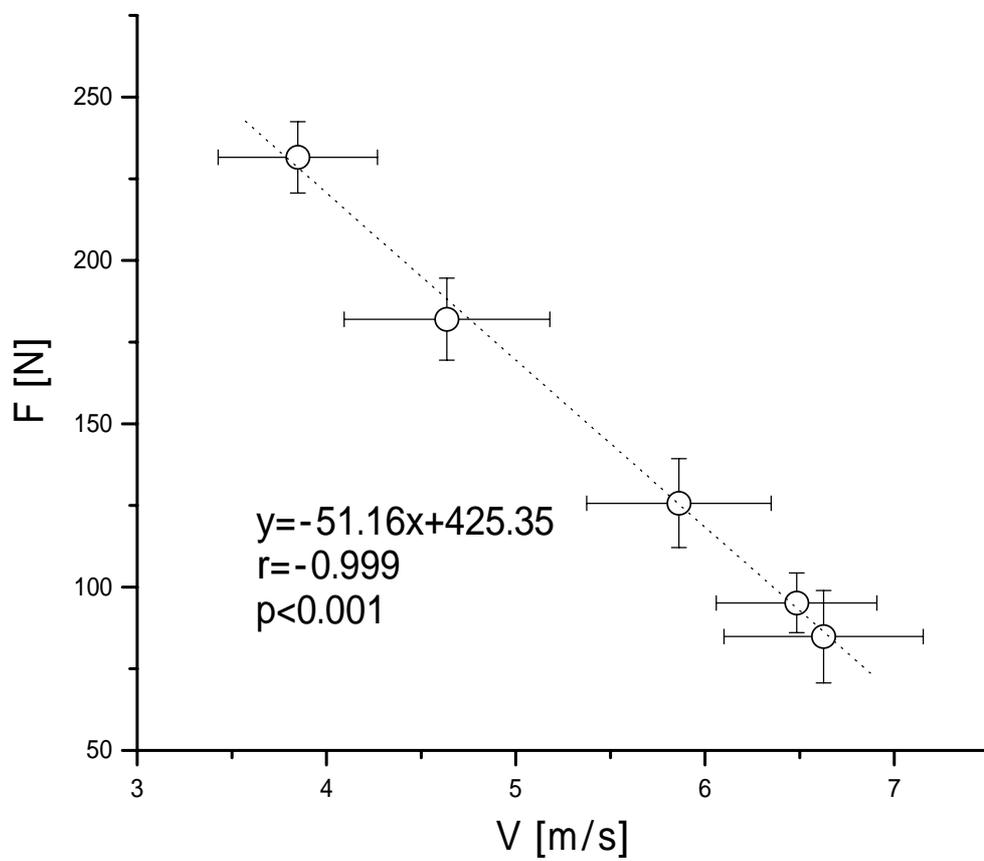
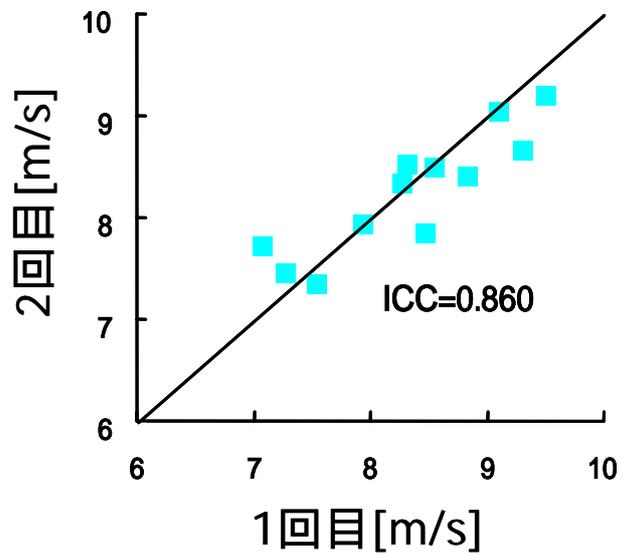


図 3-4 ベルト速度 (V) と牽引力 (F) の関係 (平均値と SD)

eVmax



ePmax

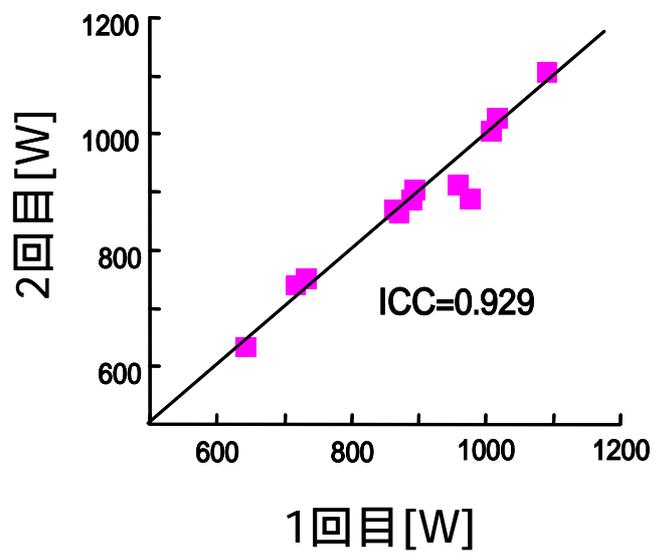


図 3-5 走エルゴ法の 2 回の測定によって求められた推定値と級内相関係数 (ICC)

第 章 走エルゴ法を用いたスプリント走のパフォーマンス評価

1 緒言

走運動中の走速度と推進力及びパワーを簡易に測定することを目的とした自走式トレッドミルを用いた研究はいくつか見受けられる (Lakomy 1986, Jaskolska ら. 1999, Funato ら. 2001, Fork ら. 1996, Chelly と Denis 2001). それらの結果によると, 自走式トレッドミルによって測定された測定値は, 実際のスプリント走のパフォーマンスと有意な関係があると報告されている. 例えば Funato ら. (2001) は, 自走式走トレッドミルを用い, 走パワーと走パフォーマンス (50m 走タイム) との間の有意な相関関係を報告している. しかし, Funato ら (2001) によって採用されているトレッドミルでは, 両手でハンドルを握った状態での走運動であること, トレッドミルの慣性や摩擦などによる特有の負荷を変更することができないことなどの要因のため, 測定値は体重などの影響を受け, 実際の走能力を評価するには充分でない (Lakomy 1986) と考えられる. また, Jaskolska ら (1999) はトレッドミルベルトの負荷を変化させることのできる自走式トレッドミルを用いて, 各種速度での力を測定し, 走動作の力 - 速度関係が直線関係にあることを報告している. しかし, Jaskolska ら (1999) の研究においては, その力 - 速度関係と実際の走能力との関係について何ら明らかにされていない. 一方, Chelly と Denis (2001) は, 摩擦抵抗を軽減させるトルクモーターを搭載した自走式走トレッドミルを用いて, 走パワーを測定し, グラウンド上でのスプリント走のスタート直後のスピードの立ち上がり (Initial Acceleration) との間に正の相関関係があったことを報告している. しかし, 彼らの求めた走パワーは, 静止した状態から速度が最大になるまでのパワーの平均値を採用しており, 走運動中の力 - 速度関係については論じていない.

そこで本章では，走エルゴ法を用い，走速度と推進力およびパワーとの関係を明らかにするとともに，実際のグラウンド走での加速度，最大速度などのスプリント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 被検者

実験には健常な男性 9 名(年齢:19-25 歳, 22.6 ± 2.1 歳, 身長: 175.3 ± 4.1 cm, 体重: 74.1 ± 9.3 kg) が参加した．被検者は実験の手順および危険性について十分に説明を受け，書面により研究への参加の承諾を得た．また，この研究は早稲田大学スポーツ科学学術院研究倫理委員会の承認を得た．

2-2 実験方法

1) 走エルゴでの測定

走エルゴによる測定は，第 3 章と同様の方法（走エルゴ法）で行った．それにより，各負荷における F ， V ， P と， F - V 関係， F - P 関係からそれぞれ得られる eV_{max} ， eP_{max} を求めた．

2) グラウンド走パフォーマンスの測定

被検者は屋外の陸上競技全天候走路において，60m の全力疾走を行った．被検者はスパイクピンの装着されていない通常の運動用シューズを着用し，スターティングピストルは利用せず，スタンディングスタートの姿勢から自分のタイミングでスタートさせた．疾走中は被検者の後方よりレーザー式走速度測定装置（LAVEG Sport LDM-300C, JEN OPTIC）により，サンプリング周波数 100Hz で変位を測定し，時間微分することにより速度に変換した．速度は 0m から 60m まで 5m ごと 12 地点の走速度（ gV ）を

求めた。また、さらにもう一度時間微分し、 gV と同様に5m毎の地点の加速度(gA)を求めた。また、5mごとの gV と gA それぞれの最大値を gV_{max} 、 gA_{max} とした。

2-3 統計処理

本研究におけるパラメータ間の相関関係は、ピアソンの相関係数を用いて検証され、その相関関係の統計的信頼度を $p < 0.05$ で有意とした。

3 結果

3-1 走エルゴ法による測定

表 4-1 に V 、 F 、 P およびその回帰式から二次的に求められたパラメータ (eV_{max} 、 eP_{max}) をまとめた。 eV_{max} は平均 $8.25 (\pm 0.89)$ m/s、 eP_{max} は平均 $856.47 (\pm 135.01)$ W であった。

3-2 グラウンド走での測定

グラウンド走での最大走速度 (gV_{max}) は平均 $8.91 (\pm 0.75)$ m/s であった。グラウンド走での5mごとの走速度 (gV)、加速度 (gA)、およびそれぞれの最大値 (gV_{max} 、 gA_{max}) を図 4-1 に示した。 gV はスタート後から急激に高まり、40m 前後で最大値 (gV_{max}) が見られた。また gA はすべての被検者においてスタート直後の0~5m 地点で最大値 (gA_{max}) を記録し、その後低下した。40m 付近の gV_{max} 出現後は、いずれの選手の gA も負になり、走速度は減少した。 gA_{max} は平均 $5.55 (\pm 0.63)$ m/s² であった。

3-3 走エルゴ法での測定値とグラウンド走の関係

表 4-2 に走エルゴ法の測定値から推定された eV_{max} と eP_{max} の値と、グラウンド走における gV 、 gA の最大値との間の相関係数を示した。

eV_{max} はグラウンド走速度の gV の 12 地点すべてと、最大値 (gV_{max} 、図 4-2) との間に有意な相関関係が認められた。相関係数は gV_{max} が出現する 40m 付近からゴールにかけて高くなる傾向にあった (表 4-2)。また、 gA_{max} と 5m から 30m までと、40m 地点、60m 地点における gA との間に有意な相関関係がみられた。

eP_{max} は gV_{max} および 5m ごとの gV すべてと有意な相関関係がみられた。また、 gA_{max} と、5m ~ 30m、40m 地点における gA との間に有意な相関関係が認められ、特に 5m ~ 30m の加速局面において高い相関係数が得られた (表 4-2)。

4 考察

eV_{max} および eP_{max} は、5 ~ 60m すべての地点の gV と、 gV_{max} との間に統計的に有意な相関関係が認められた。これにより、走エルゴによって求められるパラメータがグラウンド走のパフォーマンスを反映していることが確認された。 eV_{max} は eP_{max} に比べて、走速度が最大に近い地点 (30m ~ 60m) における相関係数が高く、 gV_{max} については eP_{max} より高い相関係数を示した (図 4-2)。 eV_{max} は $F - V$ 関係から考えると、 F が 0 になるときの V 、すなわち、走エルゴ上でその速度以上でベルトが移動すると牽引力を発揮することのできない計算上の V であり、走エルゴ上での最大の走速度を表していると考えられる。しかし、 gV_{max} は平均 $8.91 (\pm 0.75)$ m/s であったのに対し、 eV_{max} は平均 $8.25 (\pm 0.89)$ m/s であった。また eV_{max} は gV_{max} より有意に小さかった。ベルト速度は、非支持期に

はブレーキ装置の抵抗によって減速してしまうため，接地期に再び加速させなければならない．そのブレーキ装置によるベルト速度の減速と被検者がベルトを蹴ることによる加速とのバランスの取れたところでベルト速度が定常となると考えられる．グラウンド走においては，非支持期における重心速度は，空気抵抗で減速させられるが，それは走エルゴ上でのブレーキ抵抗による減速よりは小さいと考えられる．したがって非支持期におけるブレーキ抵抗によるベルト速度の減速が，走エルゴにおける eV_{max} が gV_{max} に対して過小評価されていた原因であると考えられる．したがって， eV_{max} はグラウンド走における走能力，特に最大走速度 (gV_{max}) を評価する指標となりうることが示唆された．

一方， eP_{max} は eV_{max} と比較して， gV のすべての区間に相関がみられたことから，最大走速度や走運動の全体的な局面における走速度を表す指標になると考えられる．また， gA については，特にスタート直後の gA_{max} と高い相関関係にあり (図 4-3)，さらに eV_{max} と gA_{max} の関係よりも高い相関係数が得られた．したがって， eP_{max} は走パフォーマンス全体，特に加速局面での加速能力を表す指標になると考えられる．走速度は，その速度が達成される前にある加速局面の結果として得られたものであると考えられ，加速局面の能力を示す指標が，走速度全体との間にも高い相関関係が見られた原因であると推測できる．

5 結論

走エルゴ法によって測定される eV_{max} は，グラウンド走における最大走速度と， eP_{max} は最大加速度と高い相関関係が認められた．したがって，走エルゴを用いて測定した eV_{max} および eP_{max} は，グラウンドにおける加速能力と最大速度を評価する指標になり得ると考えられる．

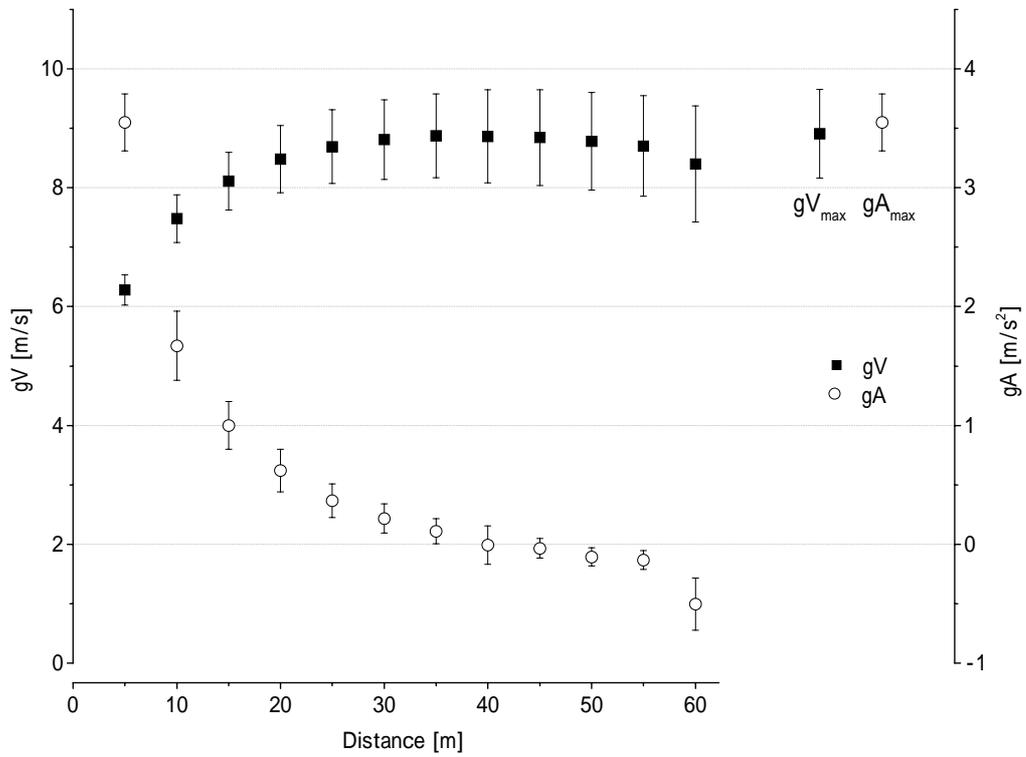


図 4-1 グラウンド走における 5m 毎の走速度(gV)と加速度(gA) .また , 右端は gV , gA それぞれにおける最大値(gAmax , gVmax)を示す .

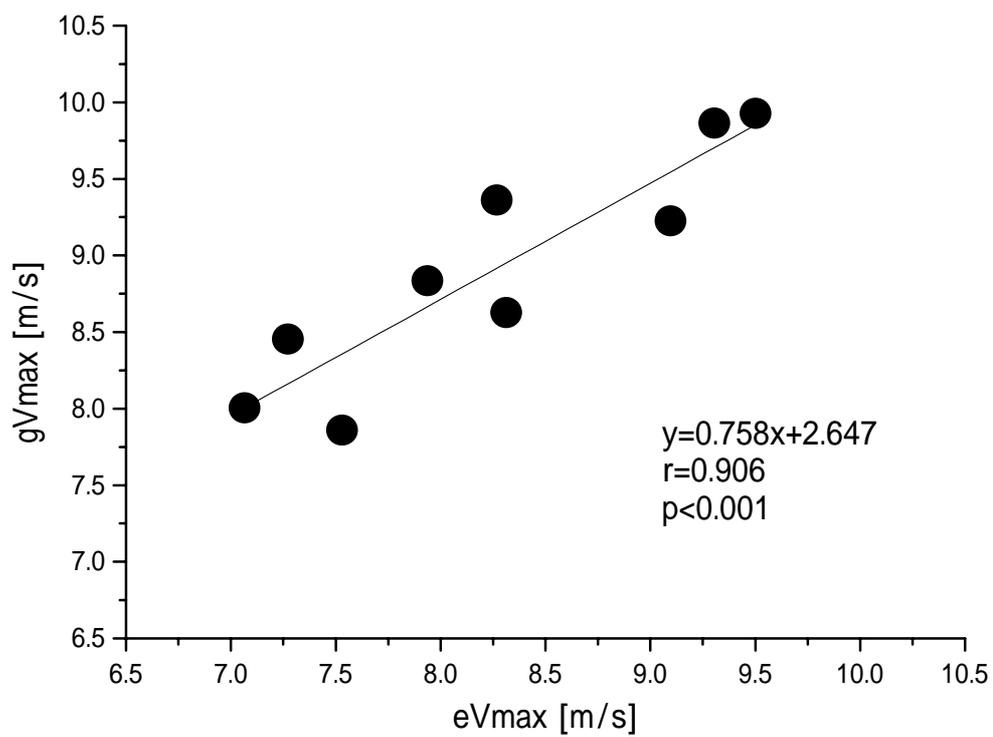
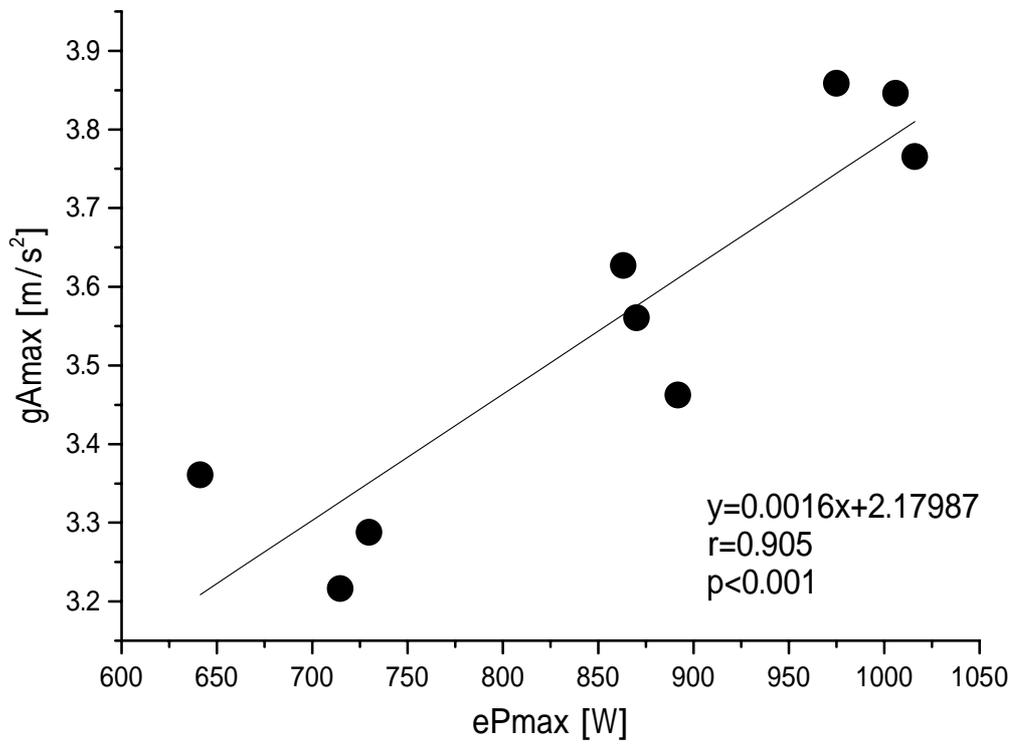


図 4-2 走エルゴによる推定最大走速度 (eVmax) とグラウンド走における最大走速度 (gVmax) の関係 .



.図 4-3 走エルゴによるピークパワー (ePmax) とグラウンド走における最大加速度 (gVmax) の関係 .

表 4-1 走エルゴ法によって測定されたそれぞれの負荷に対する測定値 ,
 およびそれらから算出される推定値

Measured Value			
Load	V [m/s]	F[N]	P[W]
0volt	6.52 ± 0.57	82.89 ± 15.73	546.78 ± 140.50
4volt	6.43 ± 0.48	94.57 ± 10.36	611.87 ± 104.83
6volt	5.80 ± 0.56	121.53 ± 12.71	710.17 ± 131.46
9volt	4.51 ± 0.55	179.33 ± 11.96	810.35 ± 127.94
11volt	3.78 ± 0.44	229.6 ± 11.53	870.2 ± 133.66
Estimated Value			
eVmax	8.25 ± 0.89	ePmax	856.47 ± 135.01

表 4-2 グランド走における 5m 毎の走速度 (gV) , 加速度 (gA) と , 走エルゴにおける eVmax および ePmax の相関係数と有意水準 .

distance	gV [m/s]	correlation coefficient		distance	gA [m/s/s]	correlation coefficient	
		eV _{max}	eP _{max}			eV _{max}	eP _{max}
5m	6.28 ± 0.26	0.852 **	0.812 **	5m	3.55 ± 0.24	0.700 *	0.905 ***
10m	7.48 ± 0.40	0.878 **	0.826 **	10m	1.67 ± 0.29	0.882 **	0.804 **
15m	8.11 ± 0.48	0.887 **	0.844 **	15m	1.00 ± 0.20	0.827 **	0.809 **
20m	8.48 ± 0.57	0.884 **	0.847 **	20m	0.62 ± 0.18	0.843 **	0.829 **
25m	8.69 ± 0.62	0.897 **	0.845 **	25m	0.37 ± 0.14	0.862 **	0.696 *
30m	8.81 ± 0.67	0.906 ***	0.851 **	30m	0.22 ± 0.12	0.809 **	0.724 *
35m	8.87 ± 0.71	0.904 ***	0.832 **	35m	0.11 ± 0.11	0.633	0.362
40m	8.86 ± 0.78	0.917 ***	0.836 **	40m	-0.01 ± 0.16	0.891 **	0.726 *
45m	8.84 ± 0.81	0.906 ***	0.828 **	45m	-0.03 ± 0.08	0.216	0.222
50m	8.78 ± 0.82	0.901 ***	0.817 **	50m	-0.11 ± 0.08	0.023	-0.113
55m	8.70 ± 0.85	0.910 ***	0.830 **	55m	-0.13 ± 0.08	0.576	0.586
60m	8.40 ± 0.97	0.929 ***	0.830 **	60m	-0.50 ± 0.22	0.858 **	0.615
gV_{max}	8.91 ± 0.75	0.906 ***	0.818 **	gA_{max}	3.55 ± 0.24	0.700 *	0.905 ***

***: p<0.05 **: p<0.01 *: p<0.05

第 章 総括論議

1 スプリント走能力の測定装置としての走エルゴ

スプリント走とは，短い距離をできるだけ短時間で走る競技である．スプリント走はその速度変化から加速局面，最大速度局面，減速局面の 3 つに分けられる (Delecluse ら 1995)．その 3 つの局面では，それぞれに対応した技術や体力が求められる．

本研究から，走エルゴを用いた測定により，走運動中の力 速度関係を測定することができた．さらにその力 速度関係から推定された eP_{max} と eV_{max} は，それぞれスタート直後の最大加速度 (gV_{max}) と最大疾走速度 (gV_{max}) との有意な相関が確認された．

加速局面での加速は，支持期における，地面反力前後成分の正味の力積 (加速成分の力積 - 減速成分の力積) で決まる．その加速は，スタート後に疾走速度の増加に伴って低下し，やがて最大疾走速度に到達する．走者のほうから相対的に考えると，加速に伴って，地面は徐々に速度を上げて後方へ流れる．その速度に対して地面をどれだけキックすることができるかが，加速度を左右すると考えられる．したがって，力と速度の積であるパワーによって，スプリント走における加速能力を説明することができると考えられる．Chelly と Denis (2000) も，自走式エルゴメータを用いて測定された走パワーとスプリント走における走速度の立ち上がりとの間に有意な相関関係を認めている．しかし，Chelly と Denis (2000) は静止した状態からトップスピードが出現するまでの平均のパワーであり，力 速度関係については論じていない．その研究で用いられた方法では，パワーはベルトの負荷によって左右されると考えられるため，その被験者固有の最大のパワーを測定できているかどうかは疑問が残る．本研究で用いた装置は，ベルトの負荷を調節することにより，走速度を変化させ，その速度

に対応する力を測定することができた。それによって、力 速度関係から導き出された最大パワー(eP_{max})と加速の関係が説明されたと考えられる。

また、走エルゴを用いて測定される eV_{max} によって、最大疾走速度を推定できた。単一の筋や単関節レベルでの力 速度関係 (Hill 1938, Wilkie 1950, Tihanyi ら 1982, Perrine ら 1978, Wickiewicz ら 1984) は直角双曲線状の関係にあることが知られている。自転車ペダリング運動などの多関節運動は、筋や関節が複数かつ複雑に作用しあって運動するために、力

速度関係は直線的になると報告されている (Nadeau ら 1983, Sargeant ら 1981, Vandewalle ら 1987)。走運動においては、Jaskolska ら (1999) が、本研究と同様の自走式トレッドミルを用いて、力 速度関係が直線的な関係にあることを報告している。最大疾走速度は、加速の結果として達成される (渡木 2000) ため、力を発揮することのできなくなる速度が最大の速度になるとの考えから、力 速度関係の回帰式を外挿して、 eV_{max} を導き出した。これは走運動における力 速度関係が直線的になるという前提に成り立つが、Jaskolska ら (1999) の報告のとおり、本研究においても直線性が再確認された。最大速度局面では、筋のストレッチショートニングサイクル (SSC) による効果 (Cavagna 1971) や、脚や関節のスティッフネスやばね作用 (McMahon 1990, Farley ら 1993, Arampatzis ら 1999, Chelly と Denis 2000) が疾走速度に影響を与えるとする報告は多い。走エルゴでの測定は、走運動そのものから力 速度関係を測定しているため、SSC 効果や脚のばね作用も含んでいると考えられる。そのことも eV_{max} と gV_{max} との相関係数が高かった要因であろう。

2 走エルゴのトレーニングへの応用

トレーニングや指導の現場では、スプリンターをしばしば「パワー型」と「スピード型」の2つのタイプに大別する。パワー型はスタート型、加

速型などと言われ、加速能力に優れ前半リードできるが、後半失速してしまう、先行タイプの選手を指す。一方スピード型は後半型などとも呼ばれ、スタート後の加速は苦手とするが、後半伸びるように逆転するタイプの選手を指す。走エルゴによって、スプリント走の能力を、加速と最大疾走速度を別々に評価できることは、そのスプリントのタイプの特長も捉えることができると考えられる。図 5-1 は第 5 章における被検者のうち、 eP_{max} が大きいパワー型（P 型）被験者と、 eV_{max} が大きいスピード型（V 型）被験者の測定値を表している。この P 型、V 型の被検者の走エルゴにおける測定値と、グラウンド走における最大走速度（ gV_{max} ）と最大加速度（ gA_{max} ）の値を表している。この P 型、V 型 2 名の被検者は、 eP_{max} と eV_{max} が互いに一方に優れ、逆の項目に劣っている。そしてグラウンド走においても、P 型は加速度が大きく、V 型は最大走速度が大きかった（表 5-1）。スプリント走の能力はゴールタイムで代表され、一定の距離をどれだけ短時間にたどり着けたかどうかのみを示すことが多い。陸上競技だけに限らず、スプリント走はさまざまなスポーツ場面で必要とされる動きである。しかしながら、スポーツや、そのスポーツにおけるポジションなどによって、必要とされるスプリント走能力の内容が異なることが考えられる。たとえば、野球の内野手においては、捕球するために、すばやく打球の軌跡上へ移動する必要があり、スプリント走の加速能力が必要であるといえる。一方で、外野手のような、比較的捕球するまでに長く走るポジションについては、加速能力と最大走速度の両方が必要となるであろう。したがって、スプリント走能力の指標として、ゴールタイムのみでなく、それを左右する加速能力やスピード能力をそれぞれ別に評価することができることで、陸上競技の種目や、その他のスポーツおよびそのポジションなど、それぞれの特性に応じて有用なスプリント走能力の評価が可能である

と考えられる。

また、苦手な部分のトレーニングに利用することも可能であろう。たとえば、後半型の選手は、遅い速度に対する大きな力の発揮能力が低いと推測される。その場合は遅い速度、すなわち負荷を大きくした走エルゴで走るトレーニングを行うことで、加速能力が高まる可能性が考えられる。また、 eP_{max} の出現する速度を算出し、その速度になる負荷を設定することも可能であろう。そうすることによって、より効率的に eP_{max} を向上させることができる可能性がある。前半型の選手にとっても、速い速度で動くベルトに対してキックするトレーニングが eV_{max} を高めることにつながる可能性がある。一般的に、最大疾走速度を高めるトレーニングは、加速走（10～30mの助走の後に、最大疾走速度で走行する）や、ゴムチューブや滑車などによって前方から牽引するトレーニングなどのオーバースピードトレーニングなどが挙げられる。しかし、最大疾走速度は、その直前の2次加速における加速能力によって達成される（渡木ら 2000）と考えられ、最大疾走速度より、やや低い疾走速度でのトレーニングが有効であろう。

3 走エルゴの機能のまとめ

図 5-2 にスプリント走能力と、走エルゴ法で測定される測定値との関係を示した。走エルゴ法から、スプリント走運動における F 、 V 、 P が素測定され、さらにその値から eP_{max} 、 eV_{max} を推定することができる。

eV_{max} はスプリント走においてのスピード能力（最大疾走速度）を評価でき、 eP_{max} は加速能力を評価し、同時に最大疾走速度とも高い相関がある。スプリント走能力をスピード能力と加速能力に分けて捉えることができると考えられる。

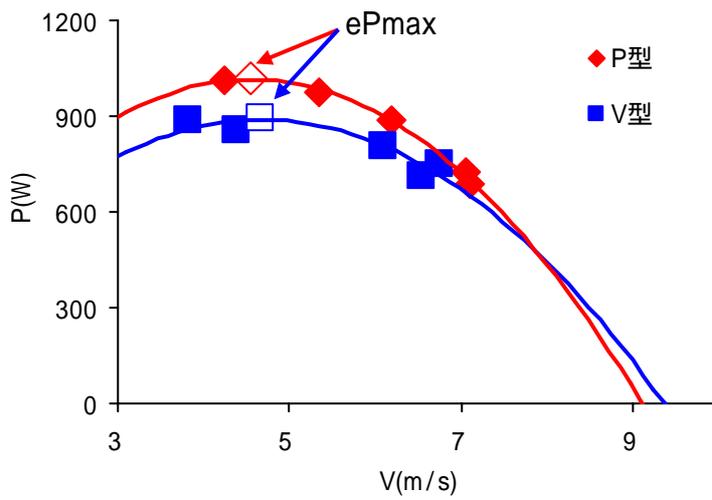
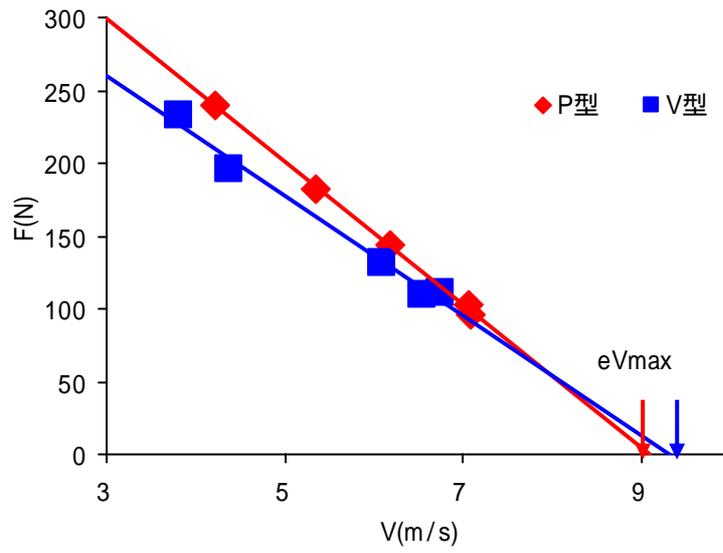


図 5-1 パワー型 (P 型) およびスピード型 (V 型) の被験者の測定値

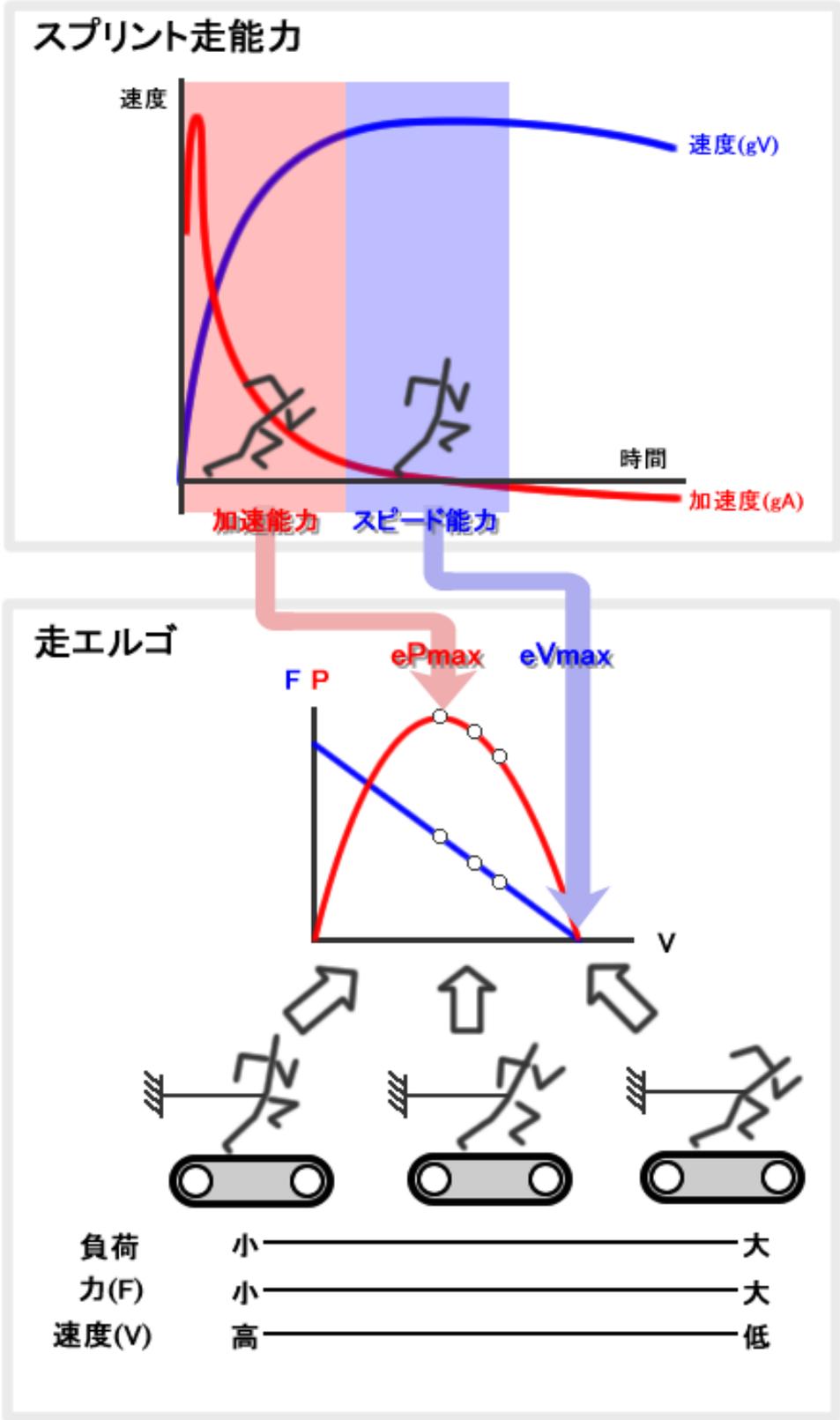


図 5-2 スプリント走能力と走エルゴによる走能力評価の関係

表 5-1 パワー型とスピード型の走エルゴおよびグラウンド走における測定値

	gVmax[m/s]	eVmax[m/s]	gAmax[m/s²]	ePmax[W]
パワー型	9.24	9.10	6.84	1016
スピード型	9.87	9.30	5.45	892

第 章 結論

本研究は，従来からある自走式エルゴメータに，負荷が変更できるブレーキを取り付け，負荷可変可能なランニングエルゴメータ（走エルゴ）を開発した．また，走エルゴの応用方法として，走運動を評価する方法（走エルゴ法）を考案した．

それにより，以下のことが結論付けられた．

1. 走エルゴ法で測定する値は再現性が高く，走運動を定量化することができる．
2. 走エルゴ法で測定される指標（ eV_{max} ， eP_{max} ）によって，スプリント走における加速能力と最大疾走速度能力を評価できる．
3. 走エルゴ法を利用して，スプリンターをタイプ別に分類することができ，また，トレーニング装置としての利用が期待できる．

参考文献

- 1) 阿江通良(2001): スプリントに関するバイオメカニクス的研究から得られるいくつかの示唆. スプリント研究 11: 15-26.
- 2) 阿江通良, 宮下憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋谷侃二(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 9:229-39.
- 3) 阿江通良, 鈴木美紗緒, 宮西智久, 岡田英孝, 平野敬靖(1994): 世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析 男子を中心に. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班(編) 世界一流競技者の技術(第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書), 14-28. ベースボールマガジン社, 東京.
- 4) 阿江通良, 藤井範久(1996): 身体運動における力学的エネルギー利用の有効性とその評価指数. 筑波大学体育科学系紀要 19: 127-37.
- 5) 阿江通良, 藤井範久(2002): スポーツバイオメカニクス 20講 .pp. 34-43, 朝倉書店, 東京.
- 6) 安部孝, 深代千之(1998): スプリント走における各局面の主要体力要素の研究. バイオメカニクス研究 2(4): 316-7.
- 7) Anderson T (1996): Biomechanics and running economy. Sports Med 22(2):76-89.
- 8) Arampatzis A, Brüggemann GP, Metzler V. (1999): The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. J Biomechanics 32(12)1349-53.
- 9) Best CH, Partridge RG.(1928): The equation of motion of a runner, exerting a maximal effort. Proc. Roy. Soc. B, 103:218-225.
- 10) Cavagna, G.A., Saibene, F.P., & Margaria, R. (1964): Mechanical

- work in running. *J App Physiol* 19:246-56.
- 11) Cavagna G.A., Komarek L, Mazzoleni S (1971): The mechanics of sprint running. *J. Physiol.* 217:709-21.
 - 12) Cavagna G.A., Kaneko M. (1977): Mechanical work and efficiency in level walking and running. *J Physiol.* 268(2):467-81.
 - 13) Cavanagh P. R., Pollock M. L., Landa J. (1977): A biomechanical comparison of elite and good distance running. *Annals New York Academy of Sciences* 301, 328-345.
 - 14) Cavanagh P.R., Kram R. (1985): The efficiency of human movement-a statement of the problem. *Med Sci Sports Exerc.* 17(3):304-8
 - 15) Chapman AE, Caldwell GE (1983): Factors determining changes in lower limb energy during swing in treadmill running. *J Biomechanics* 16(1):69-77.
 - 16) Chelly, S.M., & Dennis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 33(2):326-33.
 - 17) Correa S.C.(1985) : A kinematic study of long distance running performed at different velocities in athletes of distinct of skill. In G. de Groot et al. (eds.), *Biomechanics XI-B*, 630-634. Free University Press, Amsterdam.
 - 18) 大後栄治 , 植田三夫 , 石井哲次 , 上條清美 , 弘卓三 (1999): LT を基にしたトレーニングの研究 神奈川大学箱根駅伝参加選手の特性 . *ランニング学研究* 10 : 35-42 .
 - 19) Daniels J.T.(1985) : A physiologist's view of running economy. *Med*

- Sci Sports Exerc. 17(3):332-8.
- 20) Delecluse C.H., Van Coppennolle H., Willems E., Van Leemputte M., Diels R., Goris M.(1995): Influence of high resistance and high velocity training on sprint performance. Med. and Sci in Sports and Exercise. 27:1203-09.
 - 21) 榎本靖士，阿江通良，岡田英孝(1997)：長距離走の疾走動作と力学的エネルギー利用の有効性．陸上競技研究 28:8-15
 - 22) 榎本靖士，阿江通良，岡田英孝，藤井範久(1999)：力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾走技術．バイオメカニクス研究 3(1)：12-19．
 - 23) 榎本靖士(2006)：運動の効率 エネルギー論から見た長距離走動作の評価．バイオメカニクス研究 10(4)：281-288
 - 24) 榎本靖士(2003)：長距離走動作のバイオメカニクスの評価法に関する研究．筑波大学大学院体育研究科博士論文．
 - 25) Falk B., Weinstein Y., Dotan R., Abramson D.A., Mann-segal D., & Hoffman J.R. (1996). A treadmill test of sprint running. Scand J Med Sci Sports 6(5):259-64.
 - 26) Farley CT, Glasheen J, McMahon TA. (1993): Running springs: speed and animal size. J Exp Biol.185: 71-86.
 - 27) Fenn WO.(1930): Work against gravity and work due to velocity changes in running. Am. J. Physiol. 93:433-462.
 - 28) 淵本隆文，金子公宥(1981)：人体筋の力・速度・パワー関係における年齢差．体育学研究 25(4):273-9.
 - 29) 深代千之，石毛勇介，柴山明，福永哲夫(1997)．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):765-772 .
- 30) 福田厚治 , 伊藤章 (2004): 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速:接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか . 体育学研究 49 : 29-39 .
- 31) Fukunaga.T., Matsuo.A., Yuasa.K., Fujimatsu.H., Asahina.K. (1980) : Effect of running velocity on external mechanical power output. *Ergonomics* 23(2)123-136.
- 32) Fukunaga T, Fukashiro S.(1992) : Measurement of movement power in relation to a performance of sprint run. *J Sports Med. Sci.* 6(2):19-26.
- 33) 福永哲夫 , 小林培男 , 松尾彰文 , 藤松博 (1976): テレメーター法による筋電図積分値および酸素負債量からみた短距離走の研究 . 中京体育学研究, 23-34, 17-1
- 34) Funato, K., Yanagiya, T., & Fukunaga, T. (2001): Ergometry for estimation of mechanical power output in sprinting in humans using a newly developed self-driven treadmill. *Eur J Appl Physiol* 84(3):169-73.
- 35) Furusawa K, Hill AV, Parkinson JL (1927) :The dynamics of “sprint” running. *Proc. Roy. Physiol.* 102:29-42.
- 36) 後藤幸弘 , 井上芳光 , 辻野昭 (1984): マイクロ波による疾走速度の測定 ドップラー効果を人の速度測定に利用する場合の諸問題について . *Japan J. Sports Sci.* 3(9):699-706.
- 37) Gundlach H.(1963) : Laufgeschwindigkeit und Schrittgestaltung im 100m lauf. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, H3:254-262, H4:346-359, H5:418-425.

- 38) 八田秀雄 (2001): 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. 講談社, 東京.
- 39) Hill, A.V. (1938). The heat of shortening and the dynamic constant of muscle. Proc Roy Soc, London B 126.
- 40) 星川保, 宮下充正, 松井秀治(1971): 歩及び走における歩幅と歩数に関する研究. 体育学研究 16(3)157-162.
- 41) 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):1-12 .
- 42) 伊藤章, 斉藤昌久, 佐川和則, 加藤謙一, 森田正利, 小木曾一之(1994): 世界一流スプリンターの技術分析. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班(編) 世界一流競技者の技術(第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書), 31-49. ベースボールマガジン社, 東京.
- 43) 伊藤章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道(1998): 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度の関係. 体育学研究 43: 260-73 .
- 44) Jaskolska, A., Goossens, P., Veenstra, B., Jaskolski, A., & Skinner, J.S. (1999). Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. Int J Sports Med 20(3):192-7.
- 45) Johnson M.D., Buckley J. G.(2001): Muscle power patterns in the mid-acceleration phase of sprinting. J. of Sports Sci. 19:263-72.
- 46) 金高宏文(2004): レーザー速度測定器とビデオカメラを利用したスプリント走中のストライド変化の推定. スプリント研究 14
- 47) Knicker A J, Arampatzis D(1995): Energy absorption/generation

- cycles in long distance track running.(abstrat)XVth Congress of the International Society of Biomechanics:490-491.
- 48) 小林寛道 , 宮下充正 (1990): 走る科学 . 大修館書店 , 東京 .
 - 49) 小松佐蔵 , 田口正公 , 川上貢 , 諸富一秋 , 高木浩信 , 高瀬幸一 , 末次丈晴 (1995): スプリント走における加速期の地面反力と下肢動作の関係 . 日本体育学会第 46 回大会号 : 503 .
 - 50) Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T.(2000):Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. Acta Physiol Scand. 2168(2):327-35.
 - 51) Kyolainen H,Komi P V,Belli A(1995):Mechanical efficiency in athletes during running.Scand J Med Sci Sports 5:200-208.
 - 52) Lakomy., H.K. (1986). Measurement of work and power output using friction-loaded cycle ergometers. Ergonomics. 29(4):509-17
 - 53) Matsuo A, Fukunaga T, (1980) : Effect of running velocity on external mechanical output. Ergonomics 23(2) : 123-136.
 - 54) 松尾彰文 , 福永哲夫(1981) : 走運動の外的エネルギー出力から見た短・長距離選手の特性 . 東京大学教養学部体育学紀要 15 : 47-57.
 - 55) 松尾彰文 , 杉田正明 , 阿江通良 , 小林寛道 , 岡田英孝(1994) : 中長距離決勝におけるスピード , ピッチおよびストライドについて . 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班 (編) 世界一流競技者の技術 (第 3 回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書) , 92-111 . ベースボールマガジン社 , 東京 .
 - 56) McCartney N, Heigenhauser GJ, Sargeant AJ, Jones NL.(1983): A constant-velocity cycle ergometer for the study of dynamic muscle function. J Appl Physiol. 55:212-7

- 57) McMahon TA, Cheng GC (1990): The mechanics of running : how does stiffness couple with speed? *J Biomechanics* 23(1)65-78.
- 58) Mero A, Luhtanen P, Viitasalo J T, Komi P V.(1981): Relationship between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sport Sci.* 3(1):16-22.
- 59) Mero A(1988): Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Reserch Q. for Exercise and Sport* 59(2):94-98.
- 60) Nadeau, M, & Brassard, A. (1983). The bicycle ergometer for muscle power testing. *Can J Appl Sport Sci* 8:41-6.
- 61) 中野正英 , 尾縣貢 , 伊藤道郎 , 吉武信二 (1991) : 100m レース後半の疾走速度遞減を規定する動作要因の検討 . 陸上競技研究 3(6) : 2-7 .
- 62) Perrine J J, Edgerton V R.(1978): Muscle force-velocity and power-velocity relationship under isokinetic loading. *Med. and Sci. in Sports* 10(3):159-66.
- 63) Peter G. Weyand, Deborah B. Sternlight, Matthew J. Bellizzi, Seth Wright. (2000): Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 89: 1991-1999.
- 64) Pierrynowski M.R., Winter D.A., Norman R.W.(1980):Transfers of mechanical energy within the total body and mechanical efficiency during treadmill walking. *Ergonomics* 23(2):147-156.
- 65) Sargeant, A.J., Hoinville, R., Young, A. (1981). Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. *J Appl*

- Physiol 51:1175-82.
- 66) 菅原秀二 ,前田寛(1984): スタート時の速度測定 .Japanese. J. Sports Sci., 3(9):675-80.
 - 67) Tanaka K, Matsuura Y, Matsuzaka A, Kumagai S, Sun S O, Asano K(1984): A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. Med. and Sci. in Sports and Exercise 16:278-82 .
 - 68) 田中真介 , 満園良一 , 関岡泰雄 (1985): 5000m における走運動の構造とその生理学的機能との関係 . 教育医学 30(4):15-22 .
 - 69) Tihanyi, J., Apor, P., & Fekete, G. (1982). Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. Eur J Appl Physiol 48:331-43.
 - 70) 土江寛裕 , 永田晟 (1997): 100m 競走に見られる疾走速度遞減の動作要因 . 日本体育学会 第 48 回日本体育学会大会号 : 337
 - 71) 土江寛裕 , 松尾彰文 , 福永哲夫 (2005): 陸上競技短距離選手に見られる加速走中の下肢スティフネスの変化 . 東京体育学研究
 - 72) 辻野昭 (1966): 短距離疾走におけるキックについて 走における力の相互作用の分析 . 体育の科学 16:575-581 .
 - 73) Vandewalle, H., Peres, G., Heller, J., Panel, J., & Monod, H. (1987). Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Eur J Appl Physiol 56:650-6.
 - 74) Vincent, W. J. (1995). Statistics in kinesiology. 3rd ed. Champaign IL: Human Kinetics.
 - 75) Volcov, N. I., Lapin, V. I. (1979): Analysis of the velocity curve in sprint running. Med. Sci. Sports Exerc. 11:332-337.

- 76) 渡邊伸晃，榎本好孝，大山圭悟，狩野豊，安井年文，宮下憲，久野晋也，勝田茂(2000): スプリンターの股関節筋力とスプリントパフォーマンスとの関係． 体育学研究 45 : 520-529 .
- 77) 渡木正光，秋田真介，金高宏文(2000): 100m 走における疾走速度曲線の縦断的分析 最大疾走速度に影響する加速区間はどこか？日本スプリント学会第 11 回大会発表資料 .
- 78) Wickiewiz T L, Roy R R, Powell P L, Perrine J J, Edgerton V R.(1984): Muscle architecture and force-velocity relationship in humans. J. Appl. Physiol. 57(2):435-43.
- 79) Wilkie, D.R. (1950). The relation between force and velocity in human muscle. J Physiol. 110:249-80.
- 80) Williams KR, Cavanagh PR (1983). A model for the calculation of mechanical power during distance running. J Biomech. 16(2):115-28.
- 81) Williams KR, Cavanagh PR. (1987): Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. J Appl Physiol. 63(3):1236-45.
- 82) Winter D A (1983): Moments of force and mechanical power in jogging. J Biomechanics 16(1):91-97.
- 83) Winter D A(1990) : Biomechanics and motor control of human movement : 103-139, John Wiley & Sons Inc, New York
- 84) Yanagiya T, Kanehisa H, Kouzaki M, Kawakami Y, Fukunaga T.(2003): Effect of gender on mechanical power output during repeated bouts of maximal running in trained teenagers. Int J Sports Med. 24(4):304-10.

- 85) Yanagiya T, Kanehisa H, Tachi M, Kuno S, Fukunaga T.(2004):
Mechanical power during maximal treadmill walking and running
in young and elderly men. Eur J Appl Physiol. 92(1-2):33-8. Epub
- 86) 柳谷登志雄 (2003): ヒトの歩・走パワー発揮能力に関する研究. 早稲
田大学人間科学研究科 2002 年度博士論文 .
- 87) 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 33 : 35-42 .

謝辞

本論文を作成するにあたり，本当に勉強不足であった小生を根気強くご指導，叱咤激励していただいた福永哲夫先生には心より感謝いたします．また，博士論文提出に向けて，さまざまな面で配慮していただいた，水田宗子理事長をはじめとする城西大学関係者のみなさまにも心からの感謝の意を表します．川上泰雄先生，彼末一之先生，磯繁雄先生をはじめとする，早稲田大学の諸先生方，東京大学の金久博昭先生，競技者やコーチとしての活動と研究の両立に対して理解していただき，本当に心から感謝しています．

そして，研究や実験に当たり，被験者として協力していただきました，早稲田大学競走部の学生の皆様，富士通やその他，国内のトップ競技者の皆様，検者や時には被験者としても協力していただきました，福永・川上研究グループの皆様，ありがとうございました．