

簡便な疾走パワー測定法の開発

宮崎 俊彦¹ 田中 昭憲² 工藤 修央³

Development of a simple method to measure sprint power output

Toshihiko Miyazaki¹, Akinori Tanaka², Nobuo Kudou³

Abstract

This study aimed to develop simple method to measure sprint running power output while towing a sled. Eighty-eight junior high school students completed a series of sprints with loads equating to 15%, 35% and 0% of their body mass. The maximum velocity (V_{max}) in each trial was estimated with a laser measurement device. The magnitude of the frictional force (coefficient of friction) of the corridor surface on which the sled was towed was measured in advance. Towing force (F) was calculated by multiplying frictional force by the mass of the weighted sled. Mechanical power (P) was calculated as the product of F and V_{max} . The estimated maximal power (RSSMP) was estimated from the V-P curve. The RSSMP was only correlated to the acceleration for 0-5 m of sprint running without resistance ($r = 0.508$). The present results indicate that the F-V-P relationship during sprint running while towing a sled can be determine simply in a school corridor and that the RSSMP can be applied to estimate initial acceleration ability in sprint running without resistance.

Key words : running power, junior high school student, towing

緒 論

100m走記録と最大疾走速度とは強い相関関係があることはよく知られており(松尾・金高, 2001; 松尾ほか, 2007), 中学生の場合も, 両者には強い相関関係があることが報告されている(宮崎, 2007, 2009). 最大疾走速度は加速度の積分で求められる. その加速区間が中学生の短距離走の場合, 成人より短いことが報告されている(宮崎, 2009). そのため, 中学生の短距離の走成績は最大疾走速度に達するまでの段階的な加速が劣るため, 最大疾走速度が低く, 結果的に100m走記録も低い水準にとどまる. 加速度を上げるためには力が必要であるが, 100m走はスピードを出している中で力を発揮しなければならない. したがって, 力だけを高めるのではなく, パ

ワー(力×スピード)を高める必要がある. よって, 加速区間におけるパワーを測定評価することが重要と言える.

パワーはいろいろな測定方法があり, スタートから加速にかけてのパワーを測定するには自転車や垂直跳びのような運動よりも疾走の形態をとった方が走成績との関連が高いとされている(加百ほか, 1989). その考えに基づき, 深代(1997)はワイヤーを牽引する力とその速度から, Funato et al. (2001)は疾走中のパワーを手で押す力×ベルトの速度から, Tsuchie et al. (2008)は腰で引く力とトレッドミルのベルトの速度から測定する工夫をしている.

ところで, 冬の雪国は積雪・低温と外での活動が大幅に制限される. そのため, 屋外の部活動は学校の廊下での活動を余儀なくされている. 問題なのは廊下で行われ

1. 札幌市立元町中学校
〒065-0028 札幌市東区北28条東20丁目1-1
2. 北海学園大学
〒062-8605 札幌市豊平区旭町4丁目1番40号
3. 千歳市立富丘中学校
〒066-0076 千歳市あずさ1丁目2-1

著者連絡先 宮崎 俊彦 jhgqq231@ybb.ne.jp

1. Sapporo Motomachi Junior high school
20-1-1, Kita 28 jo-higasi, Higasiku, Sapporo, 065-0028
2. HokkaiGakuen University
4-1-40, Asahi-machi, Toyohira-ku, Sapporo, 065-0911
3. Chitose Tomioka Junior high School
1-2-1, Azusa, Chitose, 066-0076

ているトレーニングが走成績に貢献しているのか、仮にパワー測定が行われたとして、その測定値は走成績のどの要素に貢献しているのか、その測定値が向上したことで屋外での走成績は向上するのか、という点である。立三段跳びなどのコントロールテスト(稲垣ほか, 1991)は疾走の形態をとっていないため、走成績のどの要素に貢献しているかははっきりしないし、パワーを求めることができない。

我々はレジステッドトレーニング(宮川, 1994)を参考にし、重りを牽引することで疾走パワーを測定しようと考えた(RSS)(図1)。そのRSSがテストとしての妥当性あるいは有効性が十分なものかを検討することにした。RSSの最大の利点は疾走動作によるものであること、さらに測定機器の設置は簡便であり、どこへでも持ち運べるシステムであること、そして、容易にパワーを算出できる事である。本研究の目的はこのRSSによって求められる最大パワー(RSSMP)が室内の50m走成績と関係があるのか、さらに、加速区間に影響するのかを検討することである。そして、学校現場でパワーを測定することにより、トレーニング内容を検討できるように提案することである。

方 法

RSSのシステムを図1に示した。中学生男子陸上競技部員88名を対象にした。測定の時期は主に12月～3月に行われた。測定は学校の廊下で行い、各自が普段使用しているトレーニングシューズを着用させた。負荷を牽引する場合はスタンディングスタートとし、それぞれの負荷を30mの区間牽引させた。30m走記録は光電管により測定した。被験者はピストル音でスタートさせた。ピストル音により光電管(Speed Trap II, perform beter社製)を作動させ、10m, 20m, 30m, の記録を測定した。0%負荷の場合は、スターティングブロックをパネル木材の上に設置し、50mの記録を測定した(光電管は0.1m, 10m, 30m, 50mに設置した。光電管の持ち合わせの組数から20mには設置しなかった)。

廊下で負荷を牽引するに当たり、床面を傷めないように木枠をつくり、その木枠を布で包んで牽引させた。木枠の中に個々の負荷に応じたバーベルプレートを加えるようにした。被験者が負荷を牽引する際に、ベルトを肩にたすき掛けにし、腰から重りを牽引させた。結果としてRSSは前傾の姿勢を取らざるを得なくなった(図1)。

負荷の設定については、体重の15%, 35%相当の負荷を牽引することにした。宮崎(2009)は体重の10%, 30%, 40%, 50%相当の負荷を牽引させ、以下のことを報告している。①体重の10%程度の負荷での牽引の疾走速度は最大疾走速度(0%負荷)の約80%に達する, ②体重の30%程度の負荷での牽引の疾走速度は最大疾走速度の約50%程度に達する, ③体重40%の負荷だと中学生は滞空時間が計測不能になり、歩いて負荷を牽引する被験者が出現する。

本研究でRSSMPを推定するためには負荷と速度の回帰式が分からなくてはならない。また、試技数が多いと被験者の負担も多いことから0%負荷を含めて最低3回の試行が必要と判断した。そのため、牽引して走ることができる最大重量は体重の35%とした。もう一つの計測値としては最大疾走速度の80%以下になる負荷として体重の15%相当の負荷を選んだ。

疾走速度はレーザー速度測定器(LDM300C SPORT JENOPTIK社製)により測定した(宮崎ほか, 2006)。レーザー速度測定器は通常0m地点の疾走速度を得る際に、「用意」の姿勢でレーザーの当たっている位置が通常マイナスになっている(スタートラインを0mとするため、レーザー速度測定器は通常マイナスで表示される)。今回のRSSでは前方からレーザー速度測定器で測定したため、「用意」の姿勢で0m以上になっている選手がいた。その際には、疾走速度がプラスに変わった地点から30cm前方の地点の疾走速度を0m地点の疾走速度とした。

疾走パワーは単関節のパワーではなく、多関節のパワーを測定するため、負荷と速度の関係が双曲線ではなく、直線になることが知られており、負荷とパワーは放物線を描くことが知られている(石井, 1999)。したがって、負荷と疾走速度が分かれば、負荷×疾走速度より疾走パ

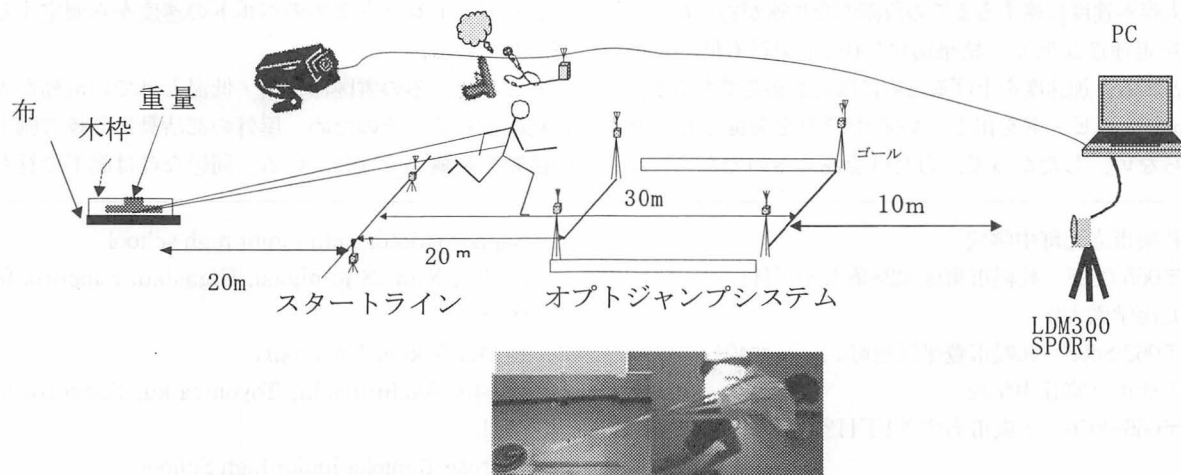


図1 測定概要

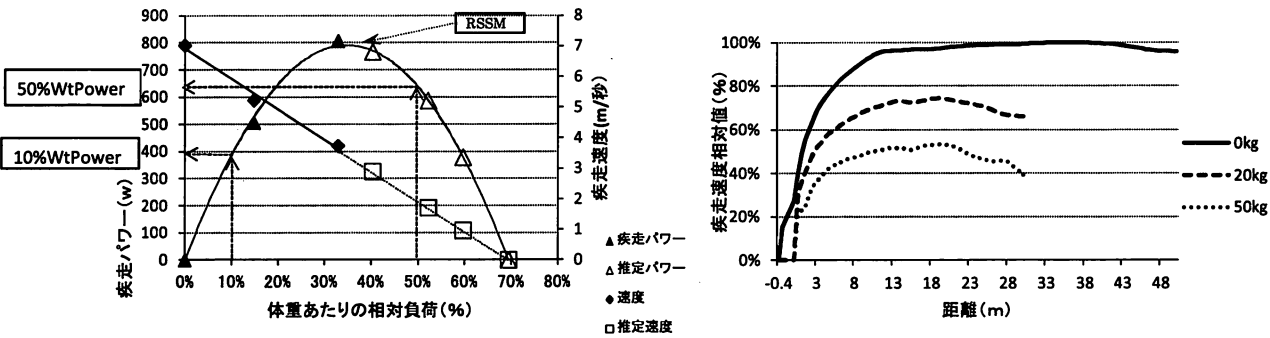


図2 疾走パワーの算出の概要

図2の塗りつぶしのプロットは測定した速度と体重あたりの相対負荷の関係を示した。速度は右の図の速度曲線の最大値を求めた。白抜きの4つの点は塗りつぶしの3つのプロットから算出された回帰直線上の推定値。実測値と相対値合わせて7つの点において疾走速度×負荷により、疾走パワーを算出した。体重あたりの相対負荷に対して7つの疾走パワー値をプロットすると放物線になる。放物線の最大値をRSSMPとした。放物線の回帰式から体重の10%WtPower、50%WtPowerを算出した。

ワ-を求めることができる。負荷と疾走パワーの関係は放物線を描くことから、その頂上を最大疾走パワーとした。体重の15%、35%相当の負荷を被験者に課し、それぞれの負荷の最大疾走速度を確定し、各負荷×その負荷での最大疾走速度によりパワーを算出した。体重50%以上の負荷の疾走速度は負荷と速度の関係から近似式を当てはめて推定した。負荷とパワーとの関係を2次式により近似式を求め、放物線の頂点を最大疾走パワーとした(RSSMP)^{注1)}。また、体重10%、50%に相当するパワー(10%WtPower、50%WtPower)を2次曲線の近似式から求めた(図2)。5mの区間毎の区間疾走速度増加量は各地点の疾走速度の差から求めた。

動 摩 擦

動摩擦は木枠に所定の重量をいれ、牽引中のロープにかかる力を握力計(グリップ-Dデジタル握力計、竹井機器社製)で測定し動摩擦係数を求めた。20mの距離で2.5、7.5、12.5、17.5mの4か所で握力計の測定値を読み上げ、その後リセットした。牽引する速度は0.5m/秒とした。木枠に入れる重量は10、20、40、60、80kgの5つの重量とした。動摩擦の計測には、木枠につけるロープを使用した。以上の方法により、その重量に対する4か所の握力計の値と、負荷の関係を回帰式にあてはめ、牽引中の負荷の値を求めた。

再 現 性

中学生男子陸上競技部員8名(身長164.9±7.3cm、体重50.9±7.1kg)についてRSSMPの再現性のテストを行った。学校行事の都合のためテストと再テストの間隔は2週間であった。

妥 当 性

中学生男子陸上競技部員44名(身長は165.4±7.5cm、体重は50.4±6.8kg)を対象に、RSSMPと50m走記録(室内においてトレーニングシューズを着用)および、最大疾走速度、5m毎の疾走速度増加量との関連性を相関係

数により検討した。

被験者の同意

被験者には測定について十分な説明を行い、測定に参加してもらった。個人に測定したデータを一週間以内に送付すること、あるいは説明会を開催することを被験者に了承してもらい測定に参加してもらった。被験者には測定と測定で得られたデータについては公開すること(公開する場合は無記名で公開する)の同意書を得た。

統 計 処 理

50m走成績、最大疾走速度、RSSMPについて平均値とS.D.を算出した。再現性については級内相関係数、妥当性についてはピアソンの相関係数を用いた。有意水準は5%水準であった。

結 果

RSSMPの再現性は級内相関係数を算出したところICC=0.949であった。中学生男子の測定値を表1に示した。RSSMPと50m走記録との相関係数は $r=-0.374$ (図3)、最大疾走速度とは $r=0.428$ 、距離区間毎の疾走速度増加量(m/秒)とRSSMPとの相関係数は0-5m距離区間が $r=0.508$ 、0-5m距離区間が $r=0.302$ 、10-15m距離区間が $r=0.253$ (n.s.)、と距離が延びるにしたがって有意な関係は見られなくなった(図4)。その傾向は体重

表1 各測定値の平均値

	身長 (cm)	体重 (kg)	RSSMP 出現負荷 (kg)	RSSMP/Wt 出現負荷 (%)	RSSMP (w)	体重あたり RSSMP (w/kg)
平均	164.9	50.9	18.4	36.2	642.7	12.6
S.D.	7.3	7.1	3.0	4.2	119.9	1.5
	最大疾走 速度 (m/秒)	RSSMP 出現速度 (m/秒)	RSSMP/Wt 出現負荷 (%)	30m走 記録 (秒)	50m走 記録 (秒)	
平均	7.3	3.6	4.8	4.98	8.02	
S.D.	0.7	0.3	1.6	0.24	0.63	

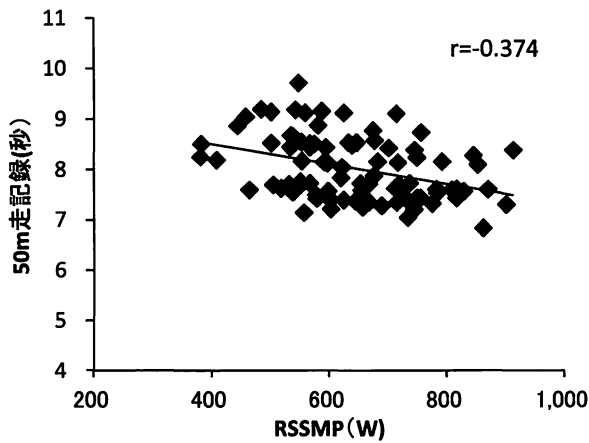


図 3 RSSMPと50m走記録

当たりのRSSMPも同じ傾向であった。0 m地点疾走速度とは $r=0.084$ (n.s.) であった。

体重10%負荷パワー（推定式より求めた、10% Wtpower）は0-5 m区間速度増加量と $r=0.594$ ，4 m地点～30m地点速度まで、 $r=0.589\sim0.601$ の相関係数が得られた。さらに最高疾走速度とも $r=0.588$ あった。0 m地点速度とは $r=0.01$ (n.s.) であった。50%Wtpowerと相関係数が高かったのは3 m地点速度で $r=0.332$ であった（図5）。

考 察

本研究のRSSMPの再現性は、先行研究の再現性と比較して高かった。Funato et al. (2001) はトレッドミルの正面に設置されたバーを押す力を検出し、トレッドミルのベルトの速度から疾走パワーを求めた結果、腕からの疾走パワーの再現性は $r=0.783$ であった。Tsuchie et al. (2006) は腰につけたベルトから後方に引く力を検出し、トレッドミルのベルトの速度から疾走パワーを測定し、その再現性は $ICC=0.79$ であった。これらの疾走

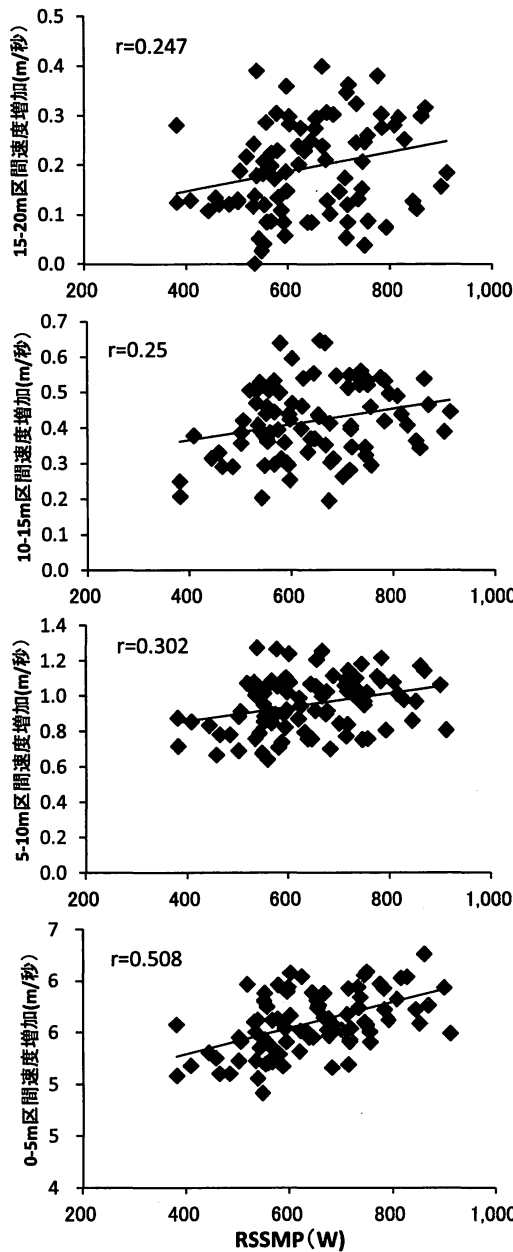


図 4 RSSMPと各区間速度増加量

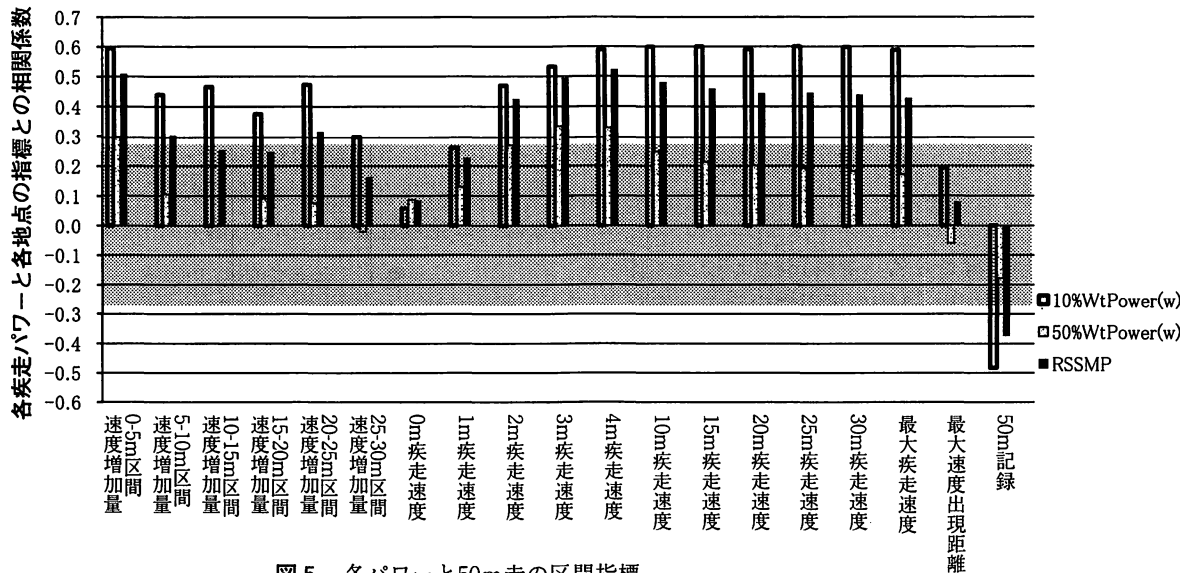


図 5 各パワーと50m走の区間指標
グレイゾーンは有意差のない範囲を示す。 $-0.281 < r < 0.281$

パワーの力の検出は一步一步の力の変化を検出するため、力の値が一定になりにくいことから、本研究のICCより低かったと考える。本研究の負荷は一定の値がかかると考えるため、RSSの再現性はFunato et al. (2001), Tsuchie et al. (2006) の疾走パワーより再現性が高かったと考えられ、疾走パワーの測定法として優れていることが示唆された。

RSSMPと相関係数が高かったのは0-5 m区間疾走速度増加量であった。RSSMPと50m走記録は相関係数 $r = -0.374$ で、弱い相関関係があった。50m走記録は時間であるがその距離に対する平均速度を表していると考えることができる。それは走記録の中には加速区間、最大疾走速度維持区間、減速区間の速度の要素が含まれている。

パワーは力と速度の要素が関わるため、速度を増加させる指標と関連がないか検討した。RSSMPは0-5 mの区間疾走速度増加量は相関係数 $r = 0.508$ でそれ以降の区間疾走速度増加量と相関係数は0に近くなっていた。ただし、0m地点の疾走速度（スタートからの0 m疾走速度増加量と同じ）とは関係はないことから、0-5 m距離区間の速度増加のうち、RSSMPは0 m以降の速度増加の部分を反映していると考えられる。また、RSSMPが出現する相対速度（最大疾走速度を100%とした場合）は48%であった。この最大疾走速度の48%になる地点は距離と相対速度の関係から考えると、スタート地点から1 m前後で出現している。したがって、0-5 m区間疾走速度増加量と一番相関係数が高かったと考えられる。RSSMPが出現する歩数は中学生で1 mと考えると、スタートしてから1～2歩で出現すると考えられる。このことは逆に、RSSMPを高めることができれば、スタートから5 mまでの加速能力の向上につながる可能性が考えられる。

Funato et al. (2001) は疾走パワーと50m走記録とトレッドミルのベルトの速度との相関係数は $r = -0.797$ 、腕のパワーとは $r = -0.683$ と高かったことを報告している。対して、本研究の50m走記録とRSSMPの相関係数は $r = -0.5$ とFunato et al. (2001) より低かった。彼らによる最大疾走パワー測定は手でバーをつかんでいたため直立姿勢で行われている。伊藤 (2000) は前傾姿勢に比較して直立姿勢は減速・加速の力積が等しく、最大疾走速度発揮の姿勢は加速区間に比較して、直立姿勢であるということを報告している。Funato et al. (2001) の疾走パワーは直立姿勢で行われているため、その同じ姿勢から発揮されるパワーが50m走記録との相関係数を高くしたのではないかと考えられる。一方、RSSは負荷を牽引するため、前傾姿勢をとらざるを得なかった (図1)。言い換えるならば、前傾で発揮されるパワーといえる。さらに、速度が高まる5 m以降ではRSSMPとの相関は低くなっている。このことから、RSSMPはスタートの加速部分の貢献が高く、上体を起こす最大疾走速度のあたりではRSSMPの影響は少なくなっていることが、

Funato et al. (2001) より50m走記録との相関関係が低かった原因と考える。

加速度を増すためには前傾が必要であるが、初心者の中学生はスタート直後に直立姿勢に近い姿勢になることは知られている (後藤ほか, 1988)。そのため、50m走の加速区間といっても前傾姿勢がとれる選手・とれない選手がおり、RSSMPは前傾を強いられるのでRSSMPと加速区間の疾走速度増加量との相関係数が低かったのではないかと考える。後藤ほか (1998) は初心者のブロックを使ったスタートは膝を固定する力が弱いため膝関節を固定して股関節を動かすことができなく、膝関節を伸ばしてしまう。つまり、加速区間を前傾ではなく、直立姿勢になってしまうことを報告している。速度と力はその本人の筋の力-速度関係により決定される。おそらく、中学生の中には遅い速度でも本人の相対的な速度が高くなり、それに伴って力が出せなくなり、膝を固定したまま股関節を動かすことができないため、膝を伸ばしてしまい、直立姿勢になる選手もいると考えられる。本研究ではビデオ分析を行っていないため、この姿勢の問題については言及できない。今後、成人に近い筋力を持っている中学生群、筋力の弱い群に分けて本研究の50m走成績とRSSMPとの相関係数の低さが筋力によるものかを検討する必要がある。また、加速区間の速度増加量と、前傾姿勢の角度の検討、さらに、膝関節・股関節の動きと、50m走成績のレベルの高いものと低いもので違いがみられるかを検討する余地が残る。

10%Wt負荷パワーは4 m以降の疾走速度と相関係数 $r = 0.6$ 前後の値が得られた。50m走記録とも $r = -0.482$ の相関係数が得られている。したがって、疾走速度全般にわたって、影響があるパワーといえる。牽引の負荷が体重の10%以内が効果的であるという報告 (Maulder et al. 2008) があるが、特異な区間に効果的という負荷はなく、50m走記録に関わる全般にわたって効果があると考えられる。

50%Wt負荷パワーは3～4 mの疾走速度と $r = 0.332$ 、また、0-5 m距離区間速度増加量と $r = 0.291$ の相関係数があった。3～4 mの距離区間は、おそらくスタートしてから2歩目～3歩目あたりに相当する。0-5 m距離区間はおそらくスタートしてから1歩目～3歩目あたりに相当するが、ブロックをけるスタート時に力を入れることが意識できても、それに続く、2・3歩目の膝・股関節を深く屈曲している姿勢に耐えられなく、足で地面を押すことができない被験者もいるため、その後の距離区間との相関関係は認められなかったものと考えられる。

観察した限りではあるが、重たい負荷はまっすぐに進むことができなく、左右脚のうち特に弱い脚の着地時に身体が大きく横へ移動することが、たびたび見られた。前に進むために左右差があり、重たい負荷を荷重したRSSは前に進む力の出し方の左右差を実感できるシステムであり、トレーニングに生かせると考えられる。

RSSMPは負荷とパワーの関係より30～40%Wtの負荷

で出現することが明らかとなった(表1)。学校現場でトレーニングを行う立場とすれば、前傾姿勢で加速することを冬季に身につけること、体重の30%程度の負荷を利用して30m 走を行った場合の運動時間は20~30秒続くことから、30mでスピード持久力の養成の可能性を持ったトレーニング手段にもなりうる。

また、RSSの考えを応用して人を雑巾の上に乗せて牽引するトレーニングを行う工夫が考えられる。体重の30%程度の負荷は計算上雑巾の上に被験者と同じ体重の人間を乗せると設定できる^{注2)}(床面との摩擦にもよる)。自分より体重の重たい相手を牽引すれば、左右差を意識した加速のトレーニングにもなると考えられる。

ま と め

中学生88名を対象に牽引走による疾走パワーを測定した。およそ体重の15%と35%の負荷を課し、室内30mの距離において負荷を牽引させた。速度の計測にはレーザー速度測定器を用いた。速度と負荷の積から疾走パワーを求め、負荷とパワーとの関係を2次の近似式に当てはめ、その放物線の頂点を最大パワー(RSSMP)とした。RSSMPは0-5mの速度増加量と $r=0.508$ と高い関連があった。このうち、0m前後に出現する最大疾走速度増加量とは相関関係がみられなかった。したがって、0-5m区間速度増加量のうち、最大疾走速度増加量以降の速度増加の部分を反映していると考えられる。10%Wt負荷では全般にわたって0%Wt負荷と関連があった。このRSSの展望として現場で加速区間のトレーニングの可能性を示唆した。

謝 辞

本研究は平成21年度第26回東京海上教育振興基金教育研究助成金、平成19年度科学研究費補助金(奨励研究)(19928021)、平成19年度ヤマハ発動機スポーツ振興財団スポーツチャレンジ助成金から援助を受けました。また、本研究を行うにあたり、多くの競技者の方々に測定の協力をいただきました。皆様に記して感謝の意を表します。

注1) $y=ax+b$ (y :走速度, x :牽引の負荷kg),

この際のパワー(P)は

$$\begin{aligned} P &= 9.8 \times x \times y \\ &= 9.8 \times x \times (ax+b) \\ &= 9.8(ax^2+bx) \\ &= 9.8a(x^2+bx/a) \\ &= 9.8a(x+b/2a)^2 - 9.8b^2/4a \end{aligned}$$

と変形され $x=-b/2a$ の時最大値をとり、その最大値は $-9.8b^2/4a$ となる(中村ほか, 1984)。

注2) 廊下のワックスによる摩擦の違いにもよるが、雑巾の上におよそ同じ体重の人間を乗せると体重の1/3程度の負荷になる。重さのわかるものを握力計

を介して牽引してみると摩擦がわかる。

文 献

1. 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):69-74.
2. Funato, K., Yanagiya, T., and 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.
3. 後藤幸弘・山根文隆・辻野昭(1988) クラウチングスタート法学習の適時期に関する基礎的研究, 昭和63年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書.
4. 加百俊郎・山本正嘉・金久博昭(1989) 各種パワーテストの成績と100m走タイムとの関係, 競技力向上のスポーツ科学, トレーニング科学研究会編, 朝倉書店, 東京, pp224-229.
5. 石井直方(1999) レジスタンス・トレーニングーその生理学と機能解剖学からトレーニング処方まで: スポーツ医科学基礎講座(2), ブックハウス・エイチディ, 東京, pp35-41.
6. 伊藤章(2000) 疾走動作・筋活動・地面反力. 深代千之ほか編 スポーツバイオメカニクス:朝倉書店, pp13-18.
7. 稲垣敦・宮下憲・森田正利(1991) 100m走のためのコントロールテストの妥当性の検討, スプリント研究, 1:11-18.
8. Maulder, P.S., Bradshaw, E.J., and Keogh, J.W.(2008) Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. J. Strength Cond. Res., 22(6):1992-2002.
9. 松尾彰文・金高宏文(2001) レーザー方式による経時的疾走速度の計測, 体育の科学51(8):593-597.
10. 松尾彰文・杉田正明・広川龍太郎・柳谷登志雄・阿江通良(2007) スピード分析から見た100mレース, 陸上競技学会誌, 6:suppl, 6-9.
11. 宮川千秋(1994) シリーズ「トレーニングの科学」1, レジスタンストレーニング, トレーニング研究会編, 東京, 朝倉書院, pp74-82.
12. 宮崎俊彦・田中昭憲・佐藤孝一(2006) 中学生男子と高校生男子における100m走記録と最大疾走スピードおよび最大加速度の特徴, 北海道体育学研究, 41:49-54.
13. 宮崎俊彦(2007) 中学生の100mの記録はどの地点から予測できるか ~スピード曲線からの分析~, 平成19年度第24回[財]日本中学校体育連盟研究大会研究紀要, 47-50.

14. 宮崎俊彦 (2009) 青少年の疾走能力の向上について,
北海学園大学経営学部経営論集, 6 : 71-88.
15. 中村好男・武藤芳照・宮下充正 (1984) 最大無酸素
パワーの自転車エルゴメーターによる測定法. J.J.
Sports Sci., 3 : 834-839.
16. Tsuchie, H., Kobayashi, K., Kanehisa, H., Kawaka-
mi, Y., Iso, S., and Fukunaga T. (2008) Assessment
of Sprinting Abilities Using a Resistant Self-driven
Treadmill, Int. J. Sport Health Sci., 6 : 85-90.

〔平成23年 3 月31日 受付〕
〔平成23年 7 月 4 日 受理〕