

意識変化が歩行の力発揮に及ぼす影響

民内利昭¹⁾ 坂田洋満²⁾

Effect of change in consciousness on the ground reaction force pattern during walking

Toshiaki Tamiuchi¹⁾ and Hiromitsu Sakata²⁾

Abstract

As the first step in developing an ideal sprinting form, the present author created a method of teaching students how to walk in which they are instructed to focus their awareness on not kicking or pushing back against the ground when they walk (the non-kick-conscious walking form). Many children taught using this method reported that it enabled them to walk quickly and comfortably. The purpose of this study is to compare the effectiveness of three different walking forms (individuals' natural walking form, the kick-conscious walking form, and the non-kick-conscious walking form) through walking experiments. Ten healthy subjects walked on a split-belt force-measuring treadmill using three different walking forms for 5 minutes at a speed of 1.7m/s for each form. The results showed that when using the non-kick-conscious walking form, subjects were able to walk with the same speed by less longitudinal ground reaction force than other two walking forms, it became clear that it is an efficient walking form. From this experimental result, this method of walking is a movement technique that may prove effective for physical education taught at schools.

Key words: movement technique, change in consciousness, the non-kick-conscious walking form, ground reaction force
運動技術, 意識変化, 蹴らない歩行, 地面反力

I. 緒 言

疾走指導において、我が国で伝統的に行なわれてきた「ももを高く上げさせることおよびつま先まで伸ばして地面を強く蹴らせることは意味のない指導である」という報告(伊藤ほか, 1998)がなされた。歩行および疾走において「蹴る」ということは、一般的には身体の下に足が来たあたりから離地するまで、脚で地面を後ろに押すということを意味(佐々木, 1973)する。近年の歩行に関する著書を概観してみると、歩行の際には地面を蹴ることを示唆する記述が多く存在(小林, 2001, p.3: 岡本・岡本, 2004: 横井, 2009)する。疾走では地面を強く蹴ることは否定されているのに、疾走の基本といわれる歩行では地面を蹴らせることを強調することに矛盾を感じる。筆者らは、スポーツ科学の報告(高くももを上げさせることとつま先まで伸ばして地面を蹴らせることは意味のない指導)に沿う形の、地面を蹴る意識を持たない新たな走法・歩

行(以後、「蹴らない歩行」)およびその指導法を提示(民内, 2009)し、実践現場と研究室の協力を得ながらこの疾走指導法の効果について検証を続けている。

歩行から疾走へとつなげることにに関して小林(2001, p.43)は、100m日本記録保持者である伊東選手の例をあげ、下肢全体が胸椎のあたりを始点とする「新技術」の「コアストレッチ・ウォーキング」のトレーニングへの導入を示唆している。また、当の伊東(2008)は、「ランニングはウォーキングの延長線上にあり、見た目のフォームは違っても、動作の基本は何ら変わらない。言い換えれば、効率の良い歩き方が体得できなければ、効率の良い走り方もマスターできない」と述べている。

運動技術には物理的側面と心理的側面とが存在(小野, 1957, p.序3; 金原, 2006, p.90)し、運動学習の際には物理的に理想とされる運動技術を感覚的(心理的)に習得しなければならない(小野, 1957, p.11; 金原, 1976)と言われている。ところがこの二つは異

1) 千葉県立木更津東高等学校, 東京大学大学院教育学研究科博士課程

Teacher of Kisarazu Higashi High school. Student of Graduate School of Education, Tokyo University

2) 木更津工業高等専門学校

National Institute of Technology, Kisarazu College

なって存在していることが多く(小野, 1957, p.50; 麓, 2000, p.93; 小林, 2001, p.107; 金原, 2006, p.90), 運動技術の物理的事実に基づいて指導しようとしても, なかなか上手く理想とする運動技術を習得させることができない(麓, 2000, p.93; 織田, 1973). また金原(2006, p.91)は「運動技術における最もバイオ的条件になるとみられる意識的運動経過の研究とを一体にした研究は今日でもほとんど行なわれていない. バイオメカニクスのバイオ的条件としてこの意識的・心理的条件を明らかにするようにして得られた研究成果は, 技術のこつをつかむ練習とその指導に大いに役立つはず」と述べ, 運動の意識的運動経過と物理的運動経過を一体とした研究の重要性を述べている.

ノイマン(2005)は, 意識変化に伴う歩行フォームの物理的变化を検証したものは少ないと述べている. また Selles et al. (2001)は健康者に異なる歩行フォームで歩行させ比較しているが, 歩行フォームをシュミレーションモデルと比較する研究であった. Lewis and Ferris (2008)は, 本研究と同じように, 健康者を対象として足首のプッシュオフに関する三通りの歩行で同じ速度で移動するダブルベルトのトレッドミル上を歩行する実験を行なっている. しかしこの実験では, 足首のプッシュオフを弱くした歩行ではヒップ周辺のトルクが増し, 足首のプッシュオフを強調した歩行ではヒップのトルクが減少していることから, 足首のプッシュオフを強調した歩行の方が腰周辺の負担が少ないという結果となっている. Tateuchi et al. (2011)は, 本研究と同じように足首のプッシュオフの強弱によりキック力を変化させた3通りの歩行(通常歩行, 弱いキックの歩行, 強いキックの歩行)で同一人物に歩行してもらいその差について検討を加えている. しかしこの実験では, 脚部に障害を持った人物を被験者としたことに加え, フォースプレート上を各自の歩行スピードで歩行したため, 弱いキックの歩行の場合スピードが減速してしまい, 必ずしも弱いキックの歩行が効率の良い歩行であるという結果とはなっていない.

また現在までに1998年に発表されたスポーツ科学の報告(もも上げ, 地面を蹴る指導を否定)に見合うような歩行・疾走実験は行なわれていない. さらにどのフォームがより理想的な歩行・疾走フォームとなるかという研究は現在までほとんど行なわれていない(ナドソン・モリソン, 2007, pp.118-119). 筆者らの疾走指導法の特徴は, ①歩行から疾走へとつなげること, ②運動技術の心理的側面と物理的側面の違いを上

手く利用して指導すること, である. この指導を受けた者の多くから, 「蹴らない歩行」および疾走は「蹴る歩行」および疾走に比較して疲れずに歩行・疾走できるという感想を得ている. 一般にこのような指導法は, 指導者個人の秘密として保持され, あまり研究の場には出てこない(金子, 2005)し, 論文として提出されたとしてもその評価は低いものとなりがちの様(ナドソン・モリソン, 2007, pp.31-32)である.

筆者らは本研究の予備実験として, T大学身体運動学実験室において被験者に三通りの歩行でフォースプレート上を歩行してもらう実験を行なった($n=23$). その結果, 「蹴る歩行」と「蹴らない歩行」は, 「指導前歩行」に比較して有意に速度が上がっていた. 「蹴る歩行」と「蹴らない歩行」を比較した場合, 速度で統計的に有意差がなかったものの「蹴らない歩行」は前後方向の単位時間当たりの力積(力積 $\times$ 単位時間/接地時間)が有意に小さくなり, 効率の良い歩行であるという結果を得た. しかし, この実験では三通りの歩行の全員の平均速度が異なっていたため(「従来の歩行」 $<$ 「蹴らない歩行」 $<$ 「蹴る歩行」の順で速い), 速度が一番高かった「蹴る歩行」の前後方向の力積が大きくなったことは当然の結果であると考えられる. またこの実験ではフォースプレート上の一歩しか測定できなかったため, 歩行の前後方向の力積において前方向の力積の方が大きくなる(減速を意味する)データが多く存在した(5試行). そこで本研究では, 同一速度による5分間のトレッドミル歩行において両足の地面反力を測定し, 「従来の歩行」, 「蹴る歩行」, 「蹴らない歩行」の意識変化が力発揮にどのような影響を及ぼすのか, そして, 効率の良い歩き方はどのようなものなのかについて検討することを目的とした.

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は, K高専陸上競技部に所属する健康な男子10名であり, 平均値は, 年齢 16.5 ± 1.0 歳, 身長 170.7 ± 9.0 cm, 体重 57.9 ± 6.5 kgであった. 実験を行なうにあたり, 被験者には本実験の趣旨及び実験の被験者となるにあたっての危険性についてあらかじめ説明したうえで参加の同意を得て実施した.

2. 試技の種類・測定方法

三通りの歩行とは次のとおりである.

①従来被験者が行なってきた歩行(以後, 「指導前歩

行)」

②地面を蹴ることを意識した歩行（以後、「蹴る歩行」）

③筆者が開発した、意識的に地面を蹴らない歩行（以後、「蹴らない歩行」）

本実験における「蹴る歩行」とは、歩行の際に接地した足が身体の下に来たところから後方に地面を押すことを強調した歩行である。これに対して「蹴らない歩行」とは、胸で身体を前に引っ張りながら、接地足が身体の下に来たと思った瞬間に腕振りに合わせ脚をどんどん前にもっていく感じで歩かせ、身体の下より後方では足で地面を押す感じを持たない歩行である。

表1に「蹴らない歩行」の指導法を示した。

被験者に上記三通りの歩行で5分間、片足ずつの地面反力(1,000Hz)を同時に測定できるトレッドミル(Beltec社, Columbus, USAダブルベルトトレッドミル(ITR3017))の上を歩いてもらった。秒速は1.7mとし電子音に対してできるだけ同じピッチで歩行するように指示(個人によってピッチは異なるが三通りの歩行はすべて同じピッチで実施, 2.1~2.4歩/sec)した。測定は、歩行ピッチが安定したところから実施した。測定中は、ことあるごとにピッチを乱さないように指導し、更に「蹴る歩行」の時には「しっかり地面を蹴って」と、「蹴らない歩行」の時には「胸で引っ張りながら足が身体の下に来たら手と足を前に」といった言葉を被験者に投げかけ、歩行中に動作のコツを常に意識するように指導し続けた。予備実験で「蹴る歩行」を行なった後では地面を強く蹴る感覚が残り、あとの歩行実験に影響を与えることが判明(すべてランダム順で行なった実験においても被験者は $n=7$ とやや少ないものの、歩行実施後の疲労感と地面反力においては本実験の結果と同様の結果を得ている)したため、本実験の実施順は「蹴る歩行」を最後に実施し、「蹴らない歩行」と「指導前歩行」を最初に行なう

表1 地面を蹴らない歩行指導法の流れ

段階	学習の流れ
1	地面を蹴る感覚なしに、反対側の腕を前に振り出すのに合わせて脚の付け根から脚を前に出す意識で歩く。
2	1に、「脚が身体の下に来たと感じたら脚を前に出す」意識を加えて歩く。
3	両腕を真上に上げて胸郭を引き上げ、胸郭を上げたまま、上げた両腕を横から体側に下ろし、肩の力を抜き、胸を張った立位姿勢をつくる。胸(胸郭)から前方へ引っ張りながら2の意識で歩く。

人数を半数ずつとした。そしてトレッドミルに内設されたセンサーで歩行時の左右足の地面反力を測定した。

3. 分析方法

地面反力は、左右足のそれぞれ左右、前後、上下3方向の力を測定した。図1~3は、ある1名の被験者の右足の左右、前後、上下方向の地面反力(N)の変化を示したものである。

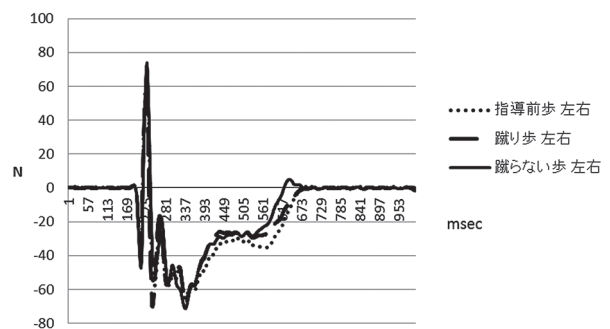


図1 三通りの歩行における左右方向の力の比較

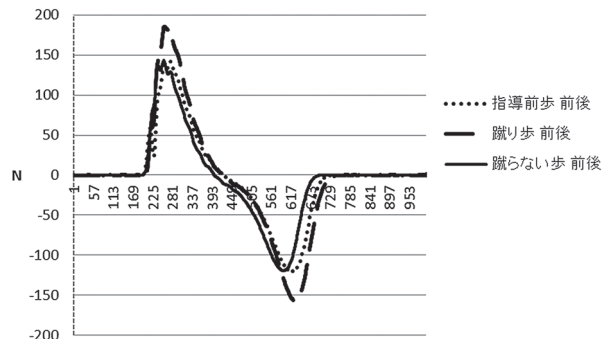


図2 三通りの歩行における前後方向の力の比較

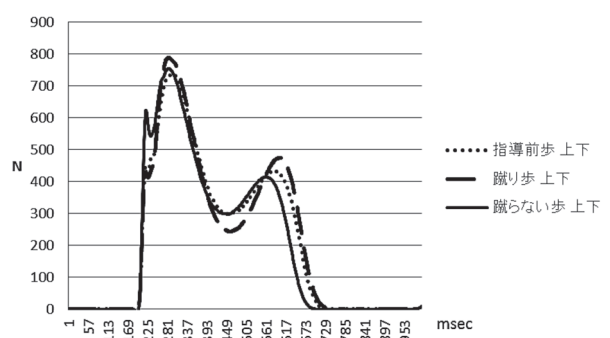


図3 三通りの歩行における上下方向の力の比較

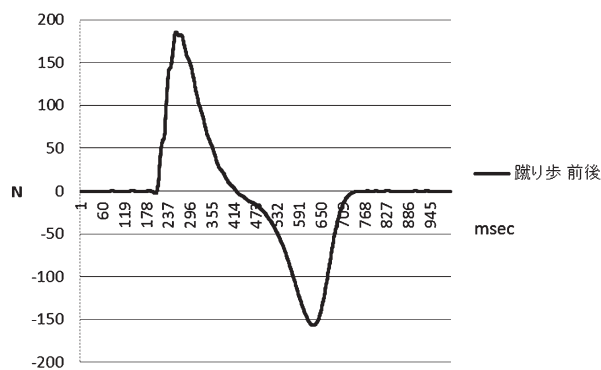


図4 歩行における前後方向の力

図1～図3の3方向の力を積分して合計し、歩行中一步あたりに地面にかかった力の両足合計値を算出し、それをもとに10名の被験者の比較分析を行なった(以後の記述では、「左右足」「両足」は省略し、合計値とだけ記述する)。5分間の歩行は全ての被験者において片足300歩以上の歩数に達していた。その5分間の地面反力データを標準化し、30Hzのデジタルフィルタ(4次バターワース)で平滑化した。

図4は、歩行中の前後方向への力の変化について示したものである。上方(プラス)は前方への力でありブレーキの力といえる。下方(マイナス)は後方への力の大きさであり、推進力といえる。

本研究では、身体重心が接地足の真上になり力がプラスからマイナスに転じることを境として歩行の力積を、次のように定義し分析した。

A 接地期前半の力積

B 接地期後半の力積

3通りの歩行における地面にかかった力積においては、次の三つの比較分析を行なった。

- ①接地期全体で地面にかかった力積合計値に関して
- ②接地期前半で地面にかかった力積合計値に関して
- ③接地期後半で地面にかかった力積合計値に関して

予備実験において、「蹴る歩行」が他の二つの歩行に比較して有意に平均接地時間が長いというデータを得ていたことから、本研究においては力積を接地時間で割った単位時間当たりの力積を中心として比較を行なった。

(1) 接地期の3方向力積合計値の比較

接地中の3方向力積合計値およびその単位時間当たりの値を次のような方法で算出し比較した。

- ①3方向力積合計値 = $\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2} \times$ 単位時間
- ②単位時間当たりの力積 = ①/接地時間

なお上記の単位は、力積合計は $N \cdot s$ であり単位時間当たりの力積は N である。

(2) 接地期の前後方向力積合計値の比較

接地中の前後方向力積合計値およびその単位時間当たりの値を次のような方法で算出した。

- ①前後方向にかかった力積合計値 = 力積絶対値 $\times$ 単位時間
- ②単位時間当たりの力積 = ①/接地時間

三通りの歩行における上記A(接地期前半)、B(接地期後半)の前後方向の力積について次の4項目に関して比較検討した。

- ①Aの絶対値に関して。
- ②Bの絶対値に関して
- ③(Aの絶対値) - (Bの絶対値)に関して
- ④(Aの絶対値) + (Bの絶対値)に関して

なお、接地期後半においてグラフ上では力積はマイナスとなるが、大きさの比較を行なうため、本研究では絶対値を用いた。

(3) ポーラカーブによる比較

本実験において測定された3方向の地面反力は、同じ時間軸で測定されている。そのため測定された上下・前後方向の地面反力を同一平面上に表すことが可能である。前後方向をX軸、上下方向をY軸にプロットして力のかかり具合を描いたポーラカーブとして(宮丸, 1970; 民内, 2013)グラフに表し比較した。ポーラカーブの見目の大きさの比較でも「蹴る歩行」は大きな力を使っていることが理解できる。しかし、本研究では読者がより理解しやすいようにグラフの縦幅・横幅の最大値を比較した。グラフの縦幅は下方向の地面反力を表し、これが大きいことは重心の上下動が大きいことになる。グラフの横幅は前後方向の地面反力を表し、歩行中のブレーキと推進力を表している。この二つの最大値が大きいということは、ポーラカーブがそれだけ大きくなり、歩行時に大きな力が下・前後方向にかかっていることを表している。

「指導前歩行」および「蹴る歩行」では身体重心が接地足の真上に来た地点から離地まで多かれ少なかれ地面を後ろに押す感覚が存在する。しかし「蹴らない歩行」の心理的側面では、歩行の際に接地してから身体の下に足が来たと思ったら蹴らずに接地している足を前方にもっていくため、意識の中では地面を後方に押すといった動作を行なわない。本研究では、歩行の際に「地面を後方に蹴る」という運動技術に着目し、従来の歩行に比較して、その感覚を強調した歩行とそ

の感覚を持たない歩行で同一被験者に歩行してもらった。そして運動技術の心理的側面の変化に対応した、物理的側面である地面反力の変化について検討を加える。なお、実験終了直後に被験者から、「三通りの歩行でしっかり歩けたか」、「どの歩行が一番疲れたか」、「どの歩行が楽であったか」といった内省を聞いた。

4. 統計処理

本データの統計処理には、ANOVA（南風原，2002；出村，2009）を用いた。有意水準は5%とした。

Ⅲ. 結 果

金原（2006, p.91）は、「指導目標とする運動技術は、①物理的運動経過として存在させる技術、②意識的運動経過として存在させる技術の両者について、しかも別々にではなく、対応させて示す必要のあることを示している。」と述べている。この金原の言葉に沿って、本実験の結果（従来の方向に比較して地面を蹴ることを意識した歩行と蹴ることを意識しない歩行、それぞれの地面反力）を示した。なお、実験終了後にすべての被験者からきいた感想では「三通りの歩行で上手く歩行できた」「『蹴る歩行』が一番疲れた」「『蹴らない歩行』が一番疲れなかった」といった回答を得た。

表2 実験終了後の内省①（ $n=10$ ）

	上手く歩けた	上手く歩けなかった歩行がある
三通りの歩行は上手く歩けましたか	10	0

表3 実験終了後の内省②（ $n=10$ ）

	指導前歩行	蹴る歩行	蹴らない歩行
三通りの歩行で一番疲れた歩行は	0	10	0
三通りの歩行で一番疲れなかった歩行は	*1	0	*9

*「三通りの歩行で一番疲れなかった歩行は」という問いかけに対して、1名だけ、「指導前歩行と蹴らない歩行である」と回答した。その理由は、「『蹴らない歩行』も良いが、まだ慣れていないから『指導前歩行』と同じくらいに感じた」とのことであった。

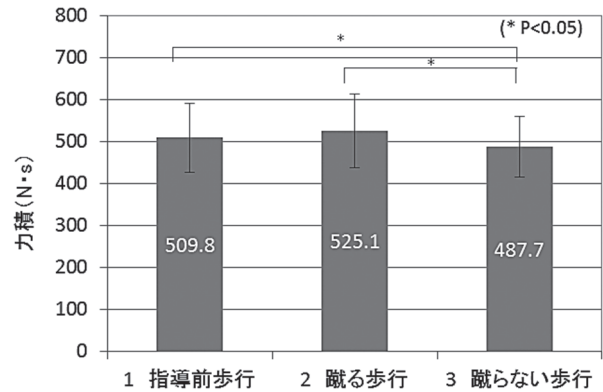


図5 接地期全体での力積合計値の比較

1. 接地期の3方向力積合計値の比較

①接地期全体での力積合計値について

図5に接地期全体での力積合計値（被験者10名の平均値，以下力積合計値はすべて10名の平均値を表す）を示した。「蹴らない歩行」の力積合計値は、「指導前歩行」および「蹴る歩行」に比べて有意に小さかった。しかし、上記の値を接地時間で除した単位時間当たりの力積比較に有意差は認められなかった。

②接地期前半の力積合計値について

接地期前半局面において、「蹴らない歩行」の力積合計値は「蹴る歩行」に比べて有意に小さかった。しかし、単位時間当たりの力積比較では有意な差はなかった。

③接地期後半の力積合計値について

接地期後半において、「蹴らない歩行」の力積合計値は「指導前歩行」および「蹴る歩行」に比べて有意に小さかった。また、「指導前歩行」と「蹴る歩行」に有意差は認められなかった。しかし、単位時間当たりの力積には有意差はなかった。

2. 接地期の前後方向力積合計値の比較

①接地期前半における前後方向への力積合計値について

接地期前半の前後方向への力積合計値は、「蹴る歩行」が最も大きく「蹴らない歩行」が最も小さかった（有意差あり）。単位時間当たりでみると、「蹴る歩行」が他の二つの歩行よりも有意に大きかった（図6）。

②接地期後半における前後方向への力積合計値について

力積合計値比較では、「蹴る歩行」>「指導前歩行」>「蹴らない歩行」の順で、すべて有意差があった。単位時間当たりの値では「蹴らない歩行」が他の二つに比べ有意に小さかった（図7）。

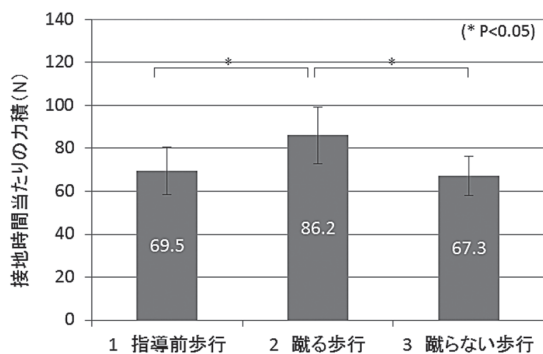


図6 接地期前半における前後方向単位時間当たりの力積合計値の比較

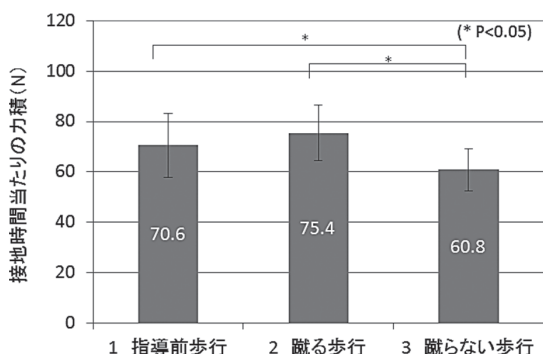


図7 接地期後半における前後方向単位時間当たりの力積合計値の比較

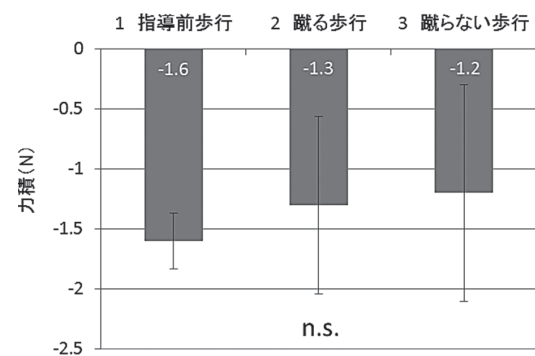


図8 接地期前半と後半の前後方向単位時間当たりの力積差の値の比較

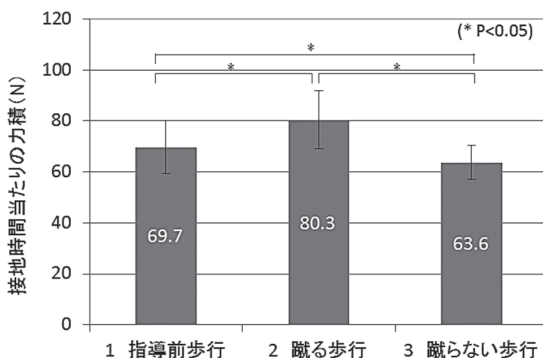


図9 接地期前半と後半の前後方向単位時間当たりの力積合計値の比較

③前後方向への力積に関する接地期前半と後半の差について

三通りの歩行すべてにおいて、小さなマイナス（前方方向への力積）の値を示し、力積合計値および単位時間当たりの値はどの歩行の値の間にも有意差はなかった（図8）。

④前後方向への力積に関する、接地期前半と後半の力積合計値について

図9に接地期前半と後半の単位時間当たりの力積合計値を示した。力積および単位時間当たりの力積において、「蹴る歩行」が最も大きく「蹴らない歩行」が最も小さかった（いずれも有意差あり）。

3. ポーラカーブによる比較

特徴がわかりやすい1名の被験者のポーラカーブを図10（左足）に示し、図11（右足）に示した。「蹴る歩行」のポーラカーブは、他の二つの歩行のそれよりも大きくなる傾向が見受けられた（図10、図11）。

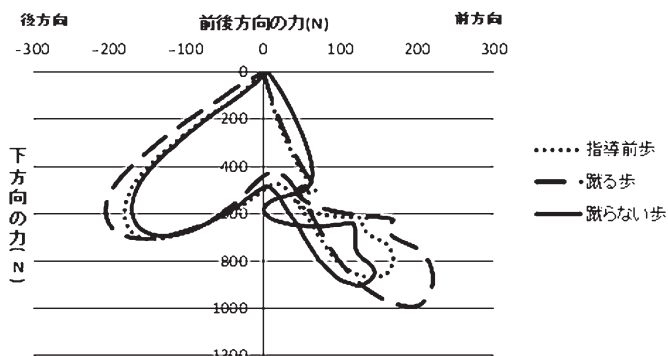


図10 三通りの歩行における左足のポーラカーブの比較

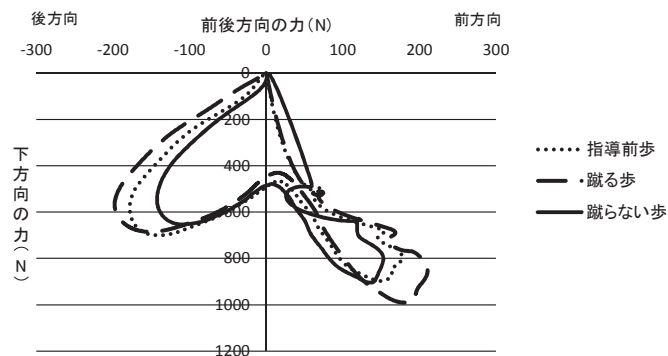


図11 三通りの歩行における右足のポーラカーブの比較

IV. 考 察

1. 接地期の3方向力積合計値比較

一歩分の力積合計値だけで比較した場合、三通りの歩行間に有意な差が認められた(図5)。本実験では同スピードで、できるだけ同じピッチで歩行するように指示していたことから、この結果によって、「蹴らない歩行」は他の二つの歩行に比較して効率の良い歩行であるということを結論付けることも可能かもしれない。しかし、一歩あたりの接地時間は、三通りの歩行において、「蹴る歩行」>「指導前歩行」>「蹴らない歩行」の順となり、有意に「蹴る歩行」の接地時間が長かった。そこで、力積合計値を接地時間で除した単位時間当たりの力積での比較を行なったが、三通りの歩行間に、有意差はなかった。これは上下方向の力積の値が他の二つの方向の力積の値よりも大きいことから、接地時間が力積合計に影響を及ぼして、力積合計を接地時間で除した場合、有意差なしとなったものと考えられる。そのため、本研究では単位時間当たりの力積で有意差のあったものを中心として考察を進めることにする。

2. 接地期の前後方向の力積合計比較

① 接地期前半における前後方向への力積合計値について

接地期前半の前後方向への力積合計値および単位時間当たりの力積値は、「蹴る歩行」>「指導前歩行」>「蹴らない歩行」の順となっていた。そして単位時間当たりの「蹴る歩行」の値は他の二つよりも有意に大きかった(図6)。前方にかかる力積はブレーキの力であるが、この局面が存在することにより歩行の際に、身体は転ばないようにバランスを取っている。しかし同じ歩行として成立するのであるならば、このブレーキ局面は小さい方が良いことは明らかである。この観点から、「蹴る歩行」においては前半に大きなブレーキをかけながら歩行しており、他の二つの歩行では小さいブレーキで歩行していたということが判明した。

② 接地期後半における前後方向への力積合計値について

接地期後半の前後方向への力積合計値および単位時間当たりの力積値は、「蹴る歩行」>「指導前歩行」>「蹴らない歩行」の順であった。なお、単位時間当たりの値の比較では「蹴らない歩行」が他の二つに比較して有意に小さかった(図7)。三通りの歩行はトレッドミル上を同速度で歩行していたため、「蹴らない歩行」は他の二つの歩行と比較して後方向に対して小さ

い力で歩行していたことになる。接地期前半と後半の前後方向への力積値の比較を考察してみると、「蹴る歩行」は「蹴らない歩行」に比較して大きな力を後方へ発揮して歩行する反面、前方へも大きな力を発揮して歩行していることになり、効率の悪い歩行となっていることが判明した。

③ 前後方向への力積に関する接地期前半と後半の差について

三通りの歩行における前後方向への力積合計値に関する接地期前半と後半の差は、歩行の1サイクル中にどの程度の推進力を得て歩行しているかを表すものである(図8)。本実験ではトレッドミル上を同速度、できるだけ同じピッチで歩行しているため、この値に有意差が無かったのは当然のことと言えるであろう。

④ 前後方向への力積に関する、接地期前半と後半の力積合計値について

前後方向への力積合計値に関する前半と後半の合計値は、1歩あたりで発揮されている前後方向の力の総量を示すものである。この力積合計値および単位時間当たりの力積合計値は、「蹴る歩行」>「指導前歩行」>「蹴らない歩行」の順であった。そして三通りの歩行の単位時間当たりの力積合計値はすべての歩行間で有意差ありという結果となった(図9)。このことは、「蹴る歩行」は前進するために最も多くの前後方向の力を使って歩行しているということになり、「蹴らない歩行」は最も小さい前後方向の力で歩行しているということになる。トレッドミル上を同速度で歩行するために「蹴る歩行」はより大きな前後方向の力を必要とするため、効率の悪い歩行であるということが出来る。これに対して「蹴らない歩行」は他の二つの歩行と比較して、より小さい前後方向の力の発揮で歩行可能であることから、最も効率の良い歩行動作であるということが判明した。

3. ポーラカーブの比較

「蹴る歩行」においては後方に力を意識的に加えるため、他の二つと比較して後半における下・後方向の最大絶対値が大きくなっていると同時に、前半における前方向の最大絶対値も大きくなっていることが判明した(図10, 図11)。その結果、「蹴る歩行」のポーラカーブ全体を大きなものに行っているものと考えられる。これは、「蹴る歩行」においては他の二つの歩行と比較して、前進するために接地期後半に大きな力を発揮していると同時に逆足が前半大きくブレーキをかけていることを表す結果となっている。逆に、「蹴ら

ない歩行」の描くポーラカーブは、他の二つに比較して小さくなる傾向を示した。特に後半X軸がマイナス局面になるグラフの左下の部分において、その差は顕著である。歩行の際の蹴り局面は、ポーラカーブでいうと左下の部分となる。「蹴らない歩行」の前後方向の力の最大絶対値は、前半は「蹴る歩行」よりも有意に小さく（「指導前歩行」とは有意差なし）、後半の最大絶対値は他の二つの歩行よりも有意に小さいという結果となった。これは特に接地期後半において、「蹴らない歩行」のポーラカーブを他の二つの歩行よりも小さいものとする結果となっている。

4. より効率的な歩行に関する実践的示唆

本実験においては同一の被験者に、地面を蹴ることに関して、短時間のうちに意識を変化させて同じ速度でトレッドミル上を歩行してもらっている。この際、同じ運動パフォーマンスを発揮するにしても、歩行する際の動作ポイントを指導し意識を変化させることにより、短時間のうちに運動効率に違いが生じることを表す結果となっている。

本実験の結果、「蹴る歩行」では、地面を蹴ることを意識することにより、後方への力の発揮が大きくなるばかりでなく、前方への力の発揮も大きくなり、効率の悪い歩行となることが判明した。逆に「蹴らない歩行」では、後方に蹴る意識はないものの、後方への物理的な力は存在しており、前後方向の力積が少ない分、三通りの歩行の中で一番効率よく前方へ移動できていることを示唆する結果となった。

「蹴る歩行」が効率の悪い歩行となった原因には、歩行には疾走と異なり、片方の足で地面を蹴って前進するための力を発揮しているときに、もう片方の足は地面に着地して身体を支えようとする場面が存在することがあげられる。そのため歩行の際に「蹴り」を強調してしまうと、後方への地面反力の増大に対して前方への地面反力の増大も伴うことになる。結果として通常に歩行している際よりも、より大きな力の発揮をして歩行しなければならなくなる。これに対して「蹴らない歩行」では、運動する際の心理的側面としては後半蹴る感覚を持たないものの、実験結果より前進するために必要な物理的な後半の力積は存在しており、他の二つの歩行に比較してより少ない前後方向の力積であった。このことは「蹴らない歩行」は地面に対して必要最小限とともれるような力を加えトレッドミル上を同速度で歩行していたことを表し、他の二つの歩行に比較して効率良く歩行していたことになる。この

実験結果は、「『蹴る歩行』が一番疲れた」「『蹴らない歩行』が一番疲れなかった」といった実験後の被験者の回答とも重なってくる。

ただ速く歩行することだけを目指すのなら、「地面を蹴るように」と指示することも良いかもしれない。小林 (2011) は「強い筋力は動きの遅い部位の筋肉を使って出すのが効果的であり、逆に速い動きを必要とする部位は、なるべく筋力を使わないようにすることが大切であることがわかる。しかし普通は、速く動かそうとする部分に力を入れようとするものが多い。(---) 元のほうで力を使いながら、同時に先端でも力を入れて加速しようとする」と、先端部分が硬くなり、元のほうの振り子で生じた強力な速い回転運動のために、先端部分の筋が無理に引き伸ばされて障害を生じる場合が考えられる。このように障害予防のためにも速く動く部位の筋の脱力が大切になる」と述べている。蹴るという動作は、接地の最終局面においては、ふくらはぎの下腿三頭筋で行なわれる。歩行指導の際に蹴ることを強調することは、身体末端部の筋である下腿三頭筋を緊張させるということにつながり、それがひいては下腿部周辺の怪我につながっていくのではないかということがこの実験結果から容易に予測できる。

以上のように、基本的な身体運動である歩行において、効率良くそして怪我のリスクの少ない「蹴らない歩行」は、将来、学校体育等で広く指導されるべき「基礎的動き」(猪飼, 1964; 金原・広橋, 1991; 金原, 2005; 阿江, 2006) の一つであるともいえよう。

V. まとめ

本研究では、従来の歩行（「指導前歩行」）から、「蹴る歩行」、「蹴らない歩行」への意識変化が力発揮にどのような影響を及ぼすのか、そして、効率の良い歩き方はどのようなものなのかについて、同一速度による5分間のトレッドミル歩行の両足の地面反力を測定し、次のような結果を得た。

- 1) 蹴ることを意識した歩行は、蹴らないことを意識した歩行と比較して、後方向への力が増大する一方、前方向へのブレーキとなる力も増大するため、効率の悪い歩行となること。
- 2) 接地期後半における前後方向への単位時間当たりの力積合計値 (図7) より、蹴らない歩行は、心理的には地面を蹴らないものの、物理的には地面を蹴る局面が存在していること。

3)「蹴らない歩行」は、他の二つの歩行に比較して、接地中の単位時間当たりの前後方向の力積は有意に小さかったことから、一番効率の良い歩行であること。

これらの結果は、歩行という「基礎的動き」について、「蹴る歩行」と比べて「蹴らない歩行」は高いパフォーマンスを発揮しつつ楽に歩けることができることを示すものである。したがって、学校体育等で広く指導されるべき「基礎的動き」の一つとなるものと考えられる。今後さらに、実際の指導現場における「蹴らない歩行」の効果や指導法について検討することは意義あるものといえよう。

文 献

- 阿江通良 (2006) 基礎的動きと体育運動そして基礎運動技術学. 臨床スポーツ医学: vol.23, No.3: 313-315.
- DVナドソン, CSモリソン: 阿江通良ほか訳 (2007) 体育・スポーツのための動きの質的分析入門. ナップ: 東京.
- 麓 信義 (2000) 新しいスポーツ心理学入門. 春秋社: 東京.
- 南風原朝和 (2002) 心理統計学の基礎 総合的理解のために. 有斐閣アルマ: 東京.
- 猪飼道夫 (1964) 基本的な運動—生理学の立場から. 体育学研究 vol.14: 371-375.
- 伊藤章他 (1998) 100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究 43: 260-273.
- 伊東浩司 (2008) DVD日本人に適した最速の走り方. 西東社: 東京, pp.16-17.
- 出村愼一監修 (2009) 健康スポーツ科学のためのExcelによる統計解析入門. 杏林書院: 東京.
- 金子明友著 (2005) 身体知の形成 下. 明和出版: 東京, p.230.
- 金原 勇 (1976) 陸上競技のコーチング (1). 大修館: 東京, p.32.
- 金原 勇・広橋義敬 (1991) 学校体育論—原理編—. 建帛社: 東京, p.491.
- 金原 勇 (2005) 二十一世紀体育への提言. 不昧堂出版: 東京, p.78.
- 金原勇他 (2006) 改訂スポーツ・体育学概論. こくぼ: 千葉.
- 小林寛道 (2001) ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造. 杏林書院: 東京.
- 小林一敏 (2011) スポーツの熟達と筋肉の力学的制御. スポーツ工学 No.6.
- キルステン・ゲッツ・ノイマン: 月城慶一ほか訳 (2005) 観察による歩行分析 医学書院: 東京, pp.163-168.
- Lewis, Cara L., Ferris, Daniel P. (2008) Walking with increased ankle pushoff decreases hip muscle moments. Journal of Biomechanics 41: 2082-2089.
- 宮丸凱史 (1970) 女子100M Hurdle の技術に関する一考察. 東京女子体育大学紀要 No.5: 91.
- 織田幹雄監修 (1973) 形から学べからず. 陸上競技マガジン S48.5 特別増刊号: 92.
- 岡本 勉・岡本香代子 (2004) 筋電図研究から開発した運動としての歩行 ニューエクササイズウォーキング. 歩行開発研究所, p.37.
- 小野勝次 (1957) 陸上競技の力学. 同文書院.
- 佐々木秀幸 (1973) 基礎コーチング法 走の基本動作について ④. 陸上競技マガジン S48.11: 99.
- Selles, R.W., Bussmann, J.B., Wagenaar, R.C., and Stam, H.J. (2001) Comparing predictive validity of four ballistic swing phase models of human walking. J. Biomech. 34(9): 1171-1177.
- 民内利昭 (2009) 疾走フォームの指導法開発に関する研究. 東京大学大学院教育学研究科学校教育高度化専攻修士学位論文.
- 民内利昭・坂田洋満 (2013) 意識の変化が運動パフォーマンスに及ぼす影響 —異なる疾走フォームによる疾走実験を通して—. 東京大学大学院教育学研究科研究紀要 第52巻: 479-497.
- Hiroshige Tateuchi, Rui Tsukagoshi, Yoshihiro Fukumoto, Shingo Oda, and Noriaki Ichihashi (2011) Immediate effects of different ankle pushoff instructions during walking exercise on hip kinematics and kinetics in individuals with total hip arthroplasty. Gait & Posture 33: 609-614.
- 横井邦夫 (2009) 早宮小学校での『歩育』を含むスポーツ教育推進活動及び効果. ウォーキング研究 No.13: 108.

平成27年7月30日受付

平成28年4月8日受理