

[資料論文]

歩行・走行における下肢動作の左右差と片側優勢

湯 海鵬 (愛知県立大学), 金謙 樹 (愛知県立大学)
豊島進太郎 (東海学園大学)

The laterality of the lower limbs during walking and running motions

Hai-Peng TANG¹⁾, Itsuki KANAOKI¹⁾ and Shintaro TOYOSHIMA²⁾

【Abstract】

The purpose of this study was to evaluate the laterality of the lower limbs during walking and running motions. The tests included analysis of motions in 12-second difference speed walking and running on a treadmill and muscle strength measurements of the hip flexion in a sitting position. The motions of 23 male and 19 female young subjects were videotaped with a video camera operating at 60 Hz. The laterality was evaluated by the perpendicular displacement of the right and left knees during the walking and running motions. The result showed that the right leg lifted higher than the left leg in vertical direction. A sexual distinction of laterality was also observed in the free walking, the difference of males was larger than females. The study also found that approximately 60% of people were right superiority in perpendicular displacement and muscular strength, in other words, a right superiority tendency was observed both in males and females, and males had a larger number of right superiority than females. It can be estimated that the individual distinction of laterality exists in free walking and it kept the same tendency from the developing stage and to the adulthood. It is suggested that the right superiority tendency might be a characteristic of the human nature, or might be influenced by the laterality of the arms.

Keywords : Laterality, Treadmill, Video camera operating, Perpendicular displacement of the knees, Sexual distinction

キーワード : 片側優勢, トレードミール, 映像撮影, 膝垂直変位, 性差

1) *Aichi Prefectural University*

2) *Tokai Gakuen University*

1. 序

ヒトの身体は、それぞれ2本の腕と脚で構成され、2本の下肢は主に身体の移動を担い、2本の上肢は生活を営むような巧みな作業を担っている。上肢について、ほとんどの人が利き手と非利き手の動作習慣があり、両手の使い分けや使い勝手さも個々の人がよく経験している。

上肢の研究については、動作様式や運動機能に関する左右差の存在が多く報告され、また右側の片側優勢現象も確認されている。腕動作様式については、麓³⁾、木村⁵⁾ら、村田⁸⁾ら、坂野¹²⁾および高畑¹⁵⁾は、日常生活における道具使用、指組みおよび腕組み等から左右差の存在を報告している。腕の機能については、田中¹⁶⁾は、利き手別の把握力や肩関節の可動域を計測し、男女とも把握力と関節可動域に右側優勢が存在していることを報告している。

下肢について、我々の日常的感覚では、陸上競技の跳躍種目やサッカー競技などの経験者でなければ、下肢の片側優勢は上肢ほど目立たない。また上肢のような左右差に関する報告もない。足立¹⁾と高畑¹⁵⁾はボール蹴り動作から、利き足と非利き足における左右差の存在を確認している。山田²⁰⁾は競歩動作に対して、松原⁶⁾はアスリートの障害経験群と非経験群の歩行動作に対し、浅見²⁾、渡部¹⁹⁾および白神¹⁴⁾は幼児の下肢動作に対する観察や計測を行い、左右差の存在を報告している。

但し、健常者の歩行や走行動作における左右差の存在はまだ明確ではない。Sadeghi¹¹⁾は、歩行動作の左右差に関する文献研究を行い、左右差なしの報告は左右差ありの報告よりやや多いことをまとめている。Shigeshima¹³⁾は、女子の快適歩行について下肢の歩幅、立脚時間および遊脚時間の対称性を調べ、左右差の存在が認められなかった。走行動作については、中野⁹⁾は男子大学スプリンターを用いてスタートから50mまでにおける疾走動作を分析し、走速度、ピッチおよびストライドにおける左右差がみられなかった。村田⁸⁾は、上肢と下肢の周径、筋力および片足立ち保持時間などの形体と機能検査の結果から、上肢の片側優勢性は認められたが、下肢

について認められなかった。その一方、Vagenas¹⁸⁾は、走行動作における動的な非対称性が確認され、尾縣¹⁰⁾らは、スプリントに関する動作分析から、ピッチとストライドに左右に有意差があることを報告している。また、木村⁵⁾らは、8名のそれぞれ上肢右利きと左利きの青年女子について、形体と機能調査から下肢の片側優勢性は認められたが、上肢に比べて複雑な非対称性が存在していると報告している。

上肢の指組み・腕組みのような遺伝性片側優勢性は、大脳半球機能との関連が指摘されている¹²⁾。歩行や走行動作は、片側使用をほとんど社会的強制されない動作であり、もし片側優勢性が認められるとなれば、大脳機能の研究や下肢における歩行や走行機能の評価や治療に重要な基礎的なデータが提供されると考えられる。

以上のように、サッカーのような片側脚使用の経験者には、下肢における左右差の存在はみられるが、人間の基本動作となる歩行や走行動作における左右差の存在はまだ明確ではない。今まで歩行や走行動作について、動作の変位や時間における左右差の計測、速度の変化による左右差の変動、左右差の性差および下肢筋力の左右差についての報告はまだ少ない。また歩行や走行に関する研究は、標本数の少ない1サイクルだけのデータから得られた結果が多く、規模の多いデータ解析による研究が少なかった。

本研究は、トレードミール上で違う移動速度を設定し、2段階の歩行と2段階の走行動作を12秒間計測し、数多くのデータ標本数と下肢の筋力計測値を併用して、動作速度の変動により下肢動作における左右差、左右差における性差、筋力の左右差および移動動作における片側優勢の傾向性を検討するものである。

2. 方法

1) 撮影と筋力測定

歩行・走行における左右差と片側優勢に関する評価は、歩行・走行中における膝の垂直変位の高さに対するものである。撮影試技は、約12秒間におけるトレードミール上での歩行と走行動作を用いた。12秒間の設定は十分な歩行・走行のサ

イクル数を確保するためである。動作速度の変化から下肢における左右差の変動を見るために歩行2段階、走行2段階の試技速度を設定した。歩行の速度はそれぞれ自由歩行に相当する歩行1の40 m/minと速歩に相当する歩行2の80 m/min、走行の速度はそれぞれジョギングに相当する歩行1の120 m/minと疾走速度に相当する歩行2の160 m/minであった。被験者は、整形外科疾患を有しない、陸上競技やサッカーのような片側脚を使う経験のない男子26名、女子19名(表1)の成年を用いた。その中、利き手が左の被験者は、男女それぞれ1名であった。

動作撮影のほかに、各被験者に対して、筋力計(ヤガミ製)を用いて、最大努力での股関節屈曲力の最大値を測定した。測定は3回の練習に続いて、両脚にそれぞれ3回行いその最大値の平均を求めた。なお、毎回筋力の発揮時間は約3秒間で、毎回の測定間隔はそれぞれ約2分間であった。

2) データ処理

各試技は、被験者の進行方向の右側面約10 mからビデオカメラ(SONY DCR-VX1000)を用いて撮影し、レンズ高は被験者の膝が挙上した平均的な高さの約0.80 mであった。膝関節中心に反射マーカを付け、撮影映像から膝中心の垂直方向(Y)の動きをデジタイザー(Frame-DIAS IV DKH社製)により60フィールド/秒で読み取った。約12秒間に、毎回両膝中心が挙上した最高点と膝が振り下げた最低点の座標点を読み取った。その毎回ごとの最高点と最低点の差を算出し、両膝の垂直変位とした。左右の脚について、それぞれ同じ歩数を解析した。但し、以上の計算は、カメラが進行方向右側面から撮影したデータを用いたため、左右膝からカメラまでの距離が違ふことで、左右差を過大算出している可能性がある。

膝変位の左右差は、以上で算出された両膝の垂

直変位を用いて、左右側にある差異として算出した。筋力の左右差も同じ方法で算出した。左右差の有意差検定は、対応のある2群の平均値の検定(Welch法のt検定、両側)方法を用いた。また左右脚における動作の対称性を見るために、左右膝の垂直変位の相関関係を算出し、相関係数の検定を行い、統計的有意水準は5%以下であった。

本研究では、両膝動作における片側の垂直変位の大きいことを、片側優勢と定義し、使用することである。その片側優勢の傾向性を検討するために、男女両脚における右脚の垂直変位の高い(左右垂直変位の差が0.01 cm以上)人数の割合を算出した。

3. 結果

1) 膝垂直変位

表2は、速度別、男女別および左右別における膝垂直変位と筋力の平均値、左右差、右脚優勢人数の割合、左右の垂直変位と筋力における相関係数を示している。速度の増加につれ、男子と女子、その合計における左右膝の垂直変位の有意な増加($P<0.01$)が見られた。

2) 膝垂直変位の左右差

膝垂直変位の左右差については、男子では歩行2が最も大きく、歩行2が最も小さく、歩行2から歩行2までの増加傾向が見られたが、歩行1だけに左右間における有意差($P<0.05$)があった。女子で歩行1が最も小さく、歩行2が最も大きく、歩行1から歩行2までの増加傾向がみられたが、いずれの速度にも左右間の有意差がなかった。男女の合計値から、歩行1から歩行2まで左右差の有意な増加($P<0.05$)が見られた。

3) 両脚の垂直変位と筋力の相関関係

各速度における膝の垂直変位と筋力について、両脚の左右間における有意な相関関係($P<0.01$)が認められた。男子については、速度の増加に伴

表1 被験者の身体的特徴

	人数	年齢 (歳)	身長 (m)	体重 (kg)
		平均±標準偏差		
男子	26	27.46 ± 13.13	1.74 ± 0.06	65.36 ± 8.29
女子	19	30.63 ± 15.28	1.61 ± 0.04	52.05 ± 5.18
男女合計	45	28.80 ± 14.2	1.68 ± 8.40	59.73 ± 9.71

う相関係数の減少傾向がみられた。

4) 右脚優勢の傾向性

片側優勢人数の割合について、女子の歩行2を除き、すべて50%以上であった。男子では、歩行1から走行1までは同じく61.54%、平均では60.57%であった。女子では、歩行2が47.37%、その他の速度では50%以上で、平均では56.06%であった。

5) 筋力

筋力の左右差については、男女はそれぞれ1.60 kgwと0.10 kgw、男女の合計は0.85 kgwであったが、いずれも左右間における有意差がなかった。右脚優勢人数の割合については、男女はそれぞれ61.53%と52.63%、男女の合計では55.56%であった。

4. 考察

1) 下肢動作の対称性

各速度における両脚の垂直変位に強い相関が見られた(表2)。それは、両脚の強い左右対称性が示され、両脚の動作が空間的によく相応していることが示唆されている。この結果から、低速の自由歩行から高速の疾走まで、ヒトの下肢は、基本的には左右対称に動いていると考えられる。また両脚の筋力における強い相関関係(表2)にみられる左右対称的な筋力と、両脚にある左右対称的な動きは、何らかの関係があるかもしれない。

Shigeshimaら¹³⁾が歩行についての計測から、歩幅、立脚時間および遊脚時間から、両脚の強い相関関係が認められ、特に歩幅と立脚時間の対称性が優れていると報告している。本研究で測定した膝の垂直変位は、歩幅と関連することで、左右

表2 移動速度別、男女別における両膝の垂直変位と筋力の平均値、両膝垂直変位の左右差、右側優勢人数の割合および両膝垂直変位の相関係数

	歩行1	歩行2	走行1	走行2	筋力の平均値(kgw) ± 標準偏差
	垂直変位の平均値(cm) ± 標準偏差				
男子 (N=26)					
左脚の測定値	9.41 ± 3.29a	10.66 ± 2.04a	12.55 ± 1.80a	15.81 ± 2.56a	31.99 ± 8.17
右脚の測定値	10.07 ± 3.66a	10.99 ± 2.19a	12.70 ± 2.17a	16.19 ± 2.63a	33.59 ± 9.75
両脚の左右差	1.28 ± 0.90bc	0.97 ± 0.59	1.03 ± 0.55	1.52 ± 0.81	1.60 ± 1.10
12秒間の平均歩数(回)	18.7 ± 1.3	23.3 ± 1.2	32.0 ± 1.1	33.8 ± 2.3	
右脚優勢人数の割合(%)	61.54	61.54	61.54	57.69	61.53
両脚間の相関係数(r)	0.92**	0.87**	0.85**	0.79**	0.87**
女 (N=19)					
左脚の測定値	7.10 ± 1.75a	10.25 ± 2.24a	11.90 ± 2.10a	13.11 ± 4.78a	23.59 ± 7.82
右脚の測定値	7.24 ± 1.96a	10.02 ± 2.57a	11.93 ± 1.91a	13.15 ± 4.66a	23.49 ± 7.54
両脚の左右差	0.64 ± 0.56	1.23 ± 1.03	1.06 ± 0.69	1.41 ± 0.82	0.10 ± 0.04
12秒間の平均歩数(回)	19.4 ± 1.3	24.6 ± 1.9	32.9 ± 1.7	35.4 ± 2.7	
右脚優勢人数の割合(%)	52.63	47.37	63.16	61.11	52.63
両膝垂直変位の相関係数(r)	0.90**	0.79**	0.81**	0.94**	0.85**
男女合計 (N=45)					
左脚の測定値	8.42 ± 3.37a	10.48 ± 2.13a	12.26 ± 1.96a	14.67 ± 3.90a	28.44 ± 9.03
右脚の測定値	8.87 ± 3.00a	10.58 ± 2.40a	12.38 ± 2.10a	14.91 ± 3.93a	29.36 ± 10.16
両脚の左右差	1.01 ± 0.83b	1.08 ± 0.82	1.04 ± 0.61	1.47 ± 0.82	0.85 ± 1.93
右脚優勢人数の割合(%)	62.22	55.56	62.22	59.09	55.56
両膝垂直変位の相関係数(r)	0.93**	0.83**	0.83**	0.91**	0.89**

** : 左右間の相関関係 P<0.01

a : 移動速度間の有意差水準 P<0.01 (歩行1と歩行2、歩行2と走行1、走行1と走行2)

b : 左右間の有意差水準 P<0.05

c : 男女間の有意差水準 P<0.05

側に見られた強い相関は、Shigeshima ら¹³⁾の結果と合致している。

2) 左右差

男女両脚における左右差は、速度の増加に伴う増大がみられ、その値はそれぞれの垂直変位の約1割程度であった。但し、有意差があったのは歩行1の男子と歩行1の男女合計値であった。すなわち、自由歩行では左右差が大きい、それ以上の速度では有意な左右差がなくなっている。このことは、動作を円滑に行うために、動作速度の増大につれ動作の正確性が要求され、左右の差異が小さくなったと推測できる。

膝挙上の垂直変位は、下肢の筋力に影響されることが報告¹⁷⁾されている。本研究では、男女の筋力について左右間に有意差が見られていない(表2)。これらのことから、男子の歩行1以外に、膝垂直変位に左右差が小さいことは、筋力の左右差が小さいことと関連するものと推測できる。

渡部ら¹⁹⁾は2～6歳児の歩行動作を計測し、歩隔、歩隔/身長から左右差が認められている。その結論と本研究の結果から、歩行動作にある左右差は、歩行動作の発生期から存在し、成人まで存続している可能性が考えられる。

右脚の高く上げる人数の割合については、女子の歩行2を除き全て半数の50%を越え、男女合計の平均は約58%であった。それらの結果から、ほぼ全ての速度では、約6割の被験者の右脚が左脚より高く上げていることがわかる。膝の挙上が歩行や走行の歩幅に影響する⁷⁾ことから、一般的に右脚の歩幅が左脚の歩幅より大きいことが推定できる。

本研究の被験者は、陸上競技やサッカーなどのような片側脚使用の経験者がいないことで、この約6割の右優勢は、生活環境による影響ではなく、ヒトの持つ身体動作の一つの特徴の可能性が考えられる。もう一つの理由は、上肢の右利きの影響であろう。本研究における96%の被験者が右利きで、上肢の右側優勢が下肢の同じ右側優勢に影響を与えている可能性も推測できる。

3) 左右差における性差

左右差における性差について、籠³⁾は、青年男女214人に対する質問紙法による報告では、上

肢について女子が男子より右手を用いる傾向がやや高く、下肢についての性差がみられなかった。高畑¹⁵⁾らは、男女には指組み、腕組みおよびボール投げには弱い性差、踏み切り足には強い性差が認められ、女子において右側使用者の占める割合が高く、右利きの自己意識も高かった。

本研究では、歩行1に男女の有意差があったことで、自由歩行では男子の左右差が女子より大きいことが示唆された。変位と筋力における右優勢人数の割合では、男子のほとんどが60%を越えているが、女子の多くは60%以下(表2)であった。それらのことから、男子が女子より右優勢の人数が多い傾向がみられた。それらの結果から、動作の習慣性や自己意識では、女子の右優勢傾向は見られたが、動作の構成内容には男子の右優勢傾向が見られたと考えられる。

湯ら¹⁷⁾が高速動作における下肢の安定性に関する報告から、女子が男子より動作の安定性が優れていることを報告している。本研究の結果から、女子の身体運動は安定だけでなく、左右の対称性も男子より優れている傾向が見られている。

左右差における性差について、浅見ら²⁾は478名の男女4～6歳児の蹴り、片足立ちおよびフットタッピング動作を比較したが、男女間の性差が見られなかった。その結果から、下肢における左右差の性差は、幼児期からの存在ではなく、ヒトが成人まで発育発達していく過程に発生した特徴と推測できる。

本研究で得られた以上の結論は、カメラが被験者の進行方向右側面から撮影したデータに基づいたものため、左右差を過大評価している可能性がある。

5. 結論

本研究は、下肢動作の左右差を明らかにするために、歩行と走行における膝垂直変位と筋力の測定から、移動速度の変化による左右差の変動、左右差の性差を調べ、また片側優勢の傾向性を調べた。自由歩行では右脚が左脚より高く上がり、男子が女子より左右差が大きいことがわかった。また垂直変位と筋力における右優勢人数の割合は約60%で、男女とも右優勢の人数が多く、その中で

も男子が女子より右優勢の人数が多い傾向が見られた。その歩行動作にある左右差は歩行動作自体の発生期から存在し、成人まで存続している可能性が考えられる。右優勢の傾向については、ヒトの生まれつきの特徴であるか、あるいは上肢の右利きに影響されたなどの可能性があるかと推定される。

付記

本研究は、科研費（15K01559）の助成を受けたものである。

文献

- 1) 足立 正 (1997) 児童の蹴り脚の動作様式における左右差について. 運動・健康教育研究, 7: 1-6.
- 2) 浅見高明・射手矢岬 (1985) 4 から 6 歳児の手・足の偏向性からみた運動機能特性. 体育科学, 23: 97-104.
- 3) 麓信義 (1982) ラテラルリティ現象の質問紙法による研究. 体育学研究, 26: 305-316.
- 4) 石河利寛 (1968) 一般日本人の体力. 福田邦三篇著, 日本人の体力, 杏林書院: 東京, pp.153-165.
- 5) 木村邦彦・浅枝澄子 (1974) ヒトの四肢の一側優位性について. 人類学雑誌, 82: 189-207.
- 6) 松原誠仁・小池関也・阿江通良 (2005) アスリートの歩行動作における下肢関節の左右差の検討. 日本体育学会大会予稿集, 56: 269.
- 7) 宮丸凱史・宮丸郁子 (1982) 短距離競走. 金原勇編著, 陸上競技のコーチング, 大修館書店: 東京, pp.190-231.
- 8) 村田伸・松尾奈々・溝田勝彦 (2008) 上下肢の一側優位性に関する研究. 西九州リハビリテーション研究, 1: 11-14.
- 9) 中野正英・尾縣貢・若吉浩二 (1995) 両足間におけるストライド差の検討. 日本体育学会大会号, 46: 506.
- 10) 尾縣貢・辻井義弘・岡田康雄・吉武信二 (1986) 疾走中の脚動作の左右差がピッチ, ストライドの左右差に及ぼす影響. 陸上競技紀要, 3: 2-6.
- 11) Sadeghi H., Allard, P., Prince, F. and Labelle, H. (2000) Symmetry and limb dominance in able-bodied gait: a review, *Gait and Posture* 12: 34-45.
- 12) 坂野登 (1986) 指組みと腕組みの遺伝性, 利き手との関係および人類学的特徴について. 京都大学紀要, 32: 47-63.
- 13) Shigeshima, K., Fujiwara, T., Ogoma, Y., Okura, M. and Nagaya, H. (2009) Symmetry of step length and temporal variability in gait of people without impairment, *J Jpn Health Sci.* 12: 25-30.
- 14) 白神敬介・根ヶ山光一 (2008) 家庭での自然観察によるつかまり歩きの縦断的発達研究. 発達心理学研究, 19: 375-388.
- 15) 高畑由起夫・東條直樹・米本憲市・杜義治・清水宏治・佐藤勝幸・小汐千春 (1996) ヒトの動作のあらわれる左右差についての研究. 鳴門教育大学研究紀要 (自然科学編), 11: 37-49.
- 16) 田中正敏・中村和利・島井哲志・高橋弘彦・佐々木武人 (1991) 上肢の左右差について. 体力科学, 40: 833.
- 17) 湯海鵬・岡本敦・金謙樹・豊島進太郎 (2010) 高速度動作からみた下肢の動的安定性. バイオメカニズム学会誌, 34: 333-338.
- 18) Vagenas, G. Hoshizaki, T. B. (1992): A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running, *Journal of Applied Biomechanics* 8: 11-29.
- 19) 渡部昌史・加賀勝 (2005) 幼児期の歩行動作における経年変化と左右差. 乳児教育学研究, 14: 1-7.
- 20) 山田英生・尾縣貢・岡田康雄・小倉幸雄・大山圭悟 (1993) 競走動作の左右差に関する研究. 陸上競技研究, 29: 10-17.