最大歩行速度に至るための歩行条件

Optimal Condition for the Measurement of the Maximum Walking Velocity

安藤 正志¹⁾ 村山真理子²⁾

MASASHI ANDO, RPT, PhD¹⁾, MARIKO MURAYAMA, RPT²⁾

¹⁾Department of Physical Therapy, Saitama Medical School Junior College: 38 Moroyama, Iruma-gun, Saitama 350-0451, Japan. TEL +81 492-76-1540

²⁾Department of Physical Therapy, Tachikawa General Hospital

Rigakuryoho Kagaku 14(2): 55-59, 1999. Submitted Oct. 30, 1998. Accepted Jan. 20, 1999.

ABSTRACT: The purpose of this study was to clarify the optimum condition for measuring the maximum walking velocity. Eighteen healthy adults were ordered to walk 10, 30, 60, 120, and 210 m, and the required time for finishing each distance, walking steps, and heart rate during the walk were measured. All the values obtained were found to exert the relation of a secondary regression with the walking velocity. The maximum walking velocity was obtained from the secondary regression curve, and the measurement condition, where the walking distance was 108 m, measurement time was 33 sec, walking steps were 113 steps, and an increase in heart rate was 68 beats/min, was considered optimum.

Key words: walking, walking velocity, walking distance

要旨: 最大歩行速度を測定するのに、最も速い速度に至るために必要な歩行路の距離を明らかにすることが本研究の目的である。健常成人18名を対象に、10 m, 30 m, 60 m, 120 m, 210 mの5通りの異なった歩行距離を歩行させた。それぞれの歩行における所要時間、歩数、心拍数を測定した。これらの測定値はいずれも歩行速度と2次曲線の関係にあった。そして、この2次多項式回帰曲線から最も最大となる歩行速度を求めたところ、歩行距離は108 m、測定時間が33秒、歩数は113歩、心拍増加数は68拍毎分となるような歩行条件が望ましいことが明らかとなった。

キーワード: 歩行、歩行速度、歩行距離

1) 埼玉医科大学短期大学 理学療法学科: 埼玉県入間郡毛呂山町 38 (〒350-0451) TEL 0492-76-1540

2) 立川総合病院 理学診療科

受付日 1998年10月30日 受理日 1999年1月20日

I. 緒 論

歩行研究は、屋内外の自然環境で人が歩く様子を観察するものと¹⁾²⁾、実験的に歩行路を設けそこを歩行させる方法³⁾⁴⁾がある。歩行は、自然環境内で行われる動作であるから、本来、歩行研究は、自然の歩行路上で行われるべきものである。しかし、天候や気温、路面や勾配、あるいは交通状況や周囲からの刺激など、自然環境には、歩行に影響を及ぼす諸因子があまりにも多すぎる。このため多くの研究者は、実験的に諸条件を制約した歩行路を考案して利用している。Bardら⁵⁾は244 mの8角形のトラック、奥山ら⁶⁾は20 mの円形トラック、また Himannら⁷⁾は20 mの正方形トラックを考案している。医学的研究では、屋内に設けた10 mの直線路を用いた研究が多くみられる⁸⁻¹⁰⁾。このような、実験的歩行路を使用した研究によって自由歩行についての疑問点が一つ一つ解明されてきた。

一方、最大歩行速度は、自由歩行に比較して再現性があり、また、筋力や体力あるいは日常生活動作能力と相関関係があるため、よく利用されるパラメータである¹¹⁻¹⁴⁾。ところが、最大歩行速度の測定は、従来自由歩行を研究するために使用された歩行路の距離を、そのまま利用していることが多い。歩行路の距離が短すぎると最大速度に至る前に測定が終了してしまうことが考えられ、長すぎると、疲労のため速度が低下することが考えられる。そこで、本研究では最大歩行速度を測定するさいに、最も速い速度に至る歩行距離を明らかにすることを目的として、異なった距離の歩行路を歩かせ、最も歩行速度が速くなる歩行距離を調べた。また、この時の測定時間、歩数、心拍数も調べた。

II. 方 法

被験者は、健康成人男女18名(平均年齢 21.7 ± 3.4 歳、平均身長 164.1 ± 7.6 cm、平均体重 57.3 ± 7.1 kg)であった。

床面が平面なコンクリート上に、10 mの直線路および直線部7.15 mと半径2.5 mのコーナからなる1周30 mの楕円形トラックを設けた。被験者には事前に、軽装で履きなれた運動靴を準備させた。心電図電極を貼付し(CM5誘導)、最低5分間以上、座位姿勢で安静(座位安静)にさせた。心電図モニター上(FKUDA DENSHI DS-882)に表示された心拍数の変動が小さくなるのを確認した上で、30秒間心電図波形を記録した。

被験者に10 m直線路をできるだけ速く歩行するように指示し(最大歩行)、助走なしでスタート地点から歩行を開始し、ゴール地点を通り抜けさせた。この時の所要時間と歩数を測定した。また歩行開始から終了後15秒の間、心電図波形を記録した。

1 mトラックを1周、最大歩行させた。この時の所要時間と歩数および心電図を測定した。同様の手順でトラックを2周(60 m)、4周(120 m)、7周(210 m)したときの所要時間と歩数、心電図波形を測定した。

尚10 m、30 m、60 m、120 m、210 mの5通りの歩行順序はランダムとした。また、それぞれの歩行後、5分以上座位安静をとらせ、心拍数が100 bpm以下になったことを確認した上で、次の測定を行った。

III. データ処理

安静時心拍数は、座位安静で記録した心電図より15秒間のR波を数え、これを4倍して求めた。歩行時の心拍数は、記録された歩行中の心電図より、歩行終了前15秒間のR波を数え、これを4倍して求めた。増加心拍数は、それぞれの歩行時の心拍数から安静時の心拍数を差し引いた値とした。

歩行速度は、歩行の所要時間と距離から算出した(①式)。歩行率は、所要時間と歩数算出し(②式)、歩幅は、距離と歩数から算出した(③式)。

$$\text{speed (m/min)} = l (\text{m}) \times 60 (\text{sec}) / t (\text{sec}) \dots\dots\dots \text{①式}$$

$$\text{cadence (beats/min)} = f (\text{beats}) \times 60 (\text{sec}) / t (\text{sec}) \dots \dots \text{②式}$$

$$\text{step length (m)} = l (\text{m}) / f (\text{beats}) \dots\dots\dots \text{③式}$$

ここで、 l は歩行距離、 t は所要時間、 f は歩数である。

データの解析は、統計ソフト stat flex puls (ビューフレックス社)を使用した。10 m、30 m、60 m、120 m、210 mの歩行時の速度、歩幅、歩行率の増減は、2元配置分散分析と多重比較検定(Scheffe法)を使用して検討した。歩行距離と歩行速度、所要時間と歩行速度、歩数と歩行速度、心拍増加数と歩行速度との関係は、それぞれ2次多項式回帰分析を使用した。また、これらの2次多項式回帰式で得られた予測値と実測値は、重相関係数を算出してその信頼性を調べた。重相関係数はヒストグラムに表した。

さらに歩行距離と歩行速度、所要時間と歩行速度、歩数と歩行速度、心拍増加数と歩行速度との分析で得られ

た2次多項式回帰式にもとづいて、2次曲線の頂点の算出式である④式により、最も速い速度に至るそれぞれのパラメータの値を求めた。

$$\max y = b_2 - 4ac / 4a \dots\dots\dots (④式)$$

IV. 結 果

それぞれの歩行距離を歩行させたときの歩行速度と被験者を要因とする、2元配置分散分析の結果、歩行速度、被験者ともに有意な主効果があった ($F=11.6$, $F=5.7$, $P<0.001$)。さらに多重比較検定をしたところ10 mは全ての距離に比べ遅く ($P<0.05$)、30 m, 60 m, 120 m, 210 mでは差がなかった ($P>0.05$)。歩幅と被験者を要因とする、分散分析では、両要因に有意な主効果があった ($F=13.9$, $F=17.5$, $P<0.001$)。多重比較検定の結果、10 mの距離と60 m, 120 m, 210 mで差があった ($P<0.01$)、30 m, 60 m, 120 m, 210 mでは差がなかった ($P<0.05$)。同様に歩行率と被験者を要因とする分散分析でも2要因ともに有意な主効果があった ($F=25.8$, $F=4.3$, $P<0.001$)。多重比較検定の結果は、10 mと他の距離において差が認められた ($P<0.001$)。30 m, 60 m, 120 m, 210 mでは差がなかった ($P<0.05$)。

また、心拍数と心拍増加数は、歩行距離が長いと増加した (表1)。

y 軸に歩行速度、x 軸に歩行距離を取った全被検者の散布図から、最大歩行速度に至るために必要な歩行路の距離は、30 m から120 m の間にあり、それより短距離であっても、長距離であっても速度は低下する傾向にあった。そこで、これらの事実を証明するために散布図から最も近似する回帰式を求め、最大歩行速度に至る理論的距離を算出した。歩行距離と歩行速度は、2次多項式回帰曲線に従った (図1a)。同様に、歩行所要時間、歩数、心拍増加数と歩行速度も、それぞれ2次多項式回帰に従った (図1b-d)。しかしながら、歩行速度の個人差が大きい

表1 測定値の平均 (標準偏差)

	10 m	30 m	60 m	120 m	210 m
速 度	170.2	195.0	191.0	189.4	183.9
(m/min)	(15.4)	(15.3)	(20.1)	(17.2)	(15.4)
歩 幅	1.02	1.00	0.98	0.95	0.95
(m)	(0.09)	(0.06)	(0.07)	(0.08)	(0.07)
歩行率	166.9	194.4	194.6	198.9	194.2
(beat/min)	(16.5)	(10.7)	(14.1)	(13.3)	(14.6)
心拍数	119.8	134.3	147.9	165.4	178.2
(beat/min)	(14.3)	(18.2)	(16.1)	(10.8)	(9.8)
心拍増加数	45.1	59.6	73.2	90.7	103.5
(beat/min)	(12.9)	(16.5)	(17.7)	(15.4)	(11.9)

図1 全例の歩行速度と各因子との因果関係

- a は歩行速度と歩行距離の2次多項式回帰曲線
 b は歩行速度と所要時間の2次多項式回帰曲線
 c は歩行速度と歩数の2次多項式回帰曲線
 d は歩行速度と心拍増加数の2次多項式回帰曲線
 矢印は予測最高速度を示す

図2 歩行速度と各因子との関係の1例

aは歩行速度と歩行距離の2次多項式回帰曲線
bは歩行速度と所要時間の2次多項式回帰曲線
cは歩行速度と歩数の2次多項式回帰曲線
dは歩行速度と心拍増加数の2次多項式回帰曲線
矢印は予測最高速度を示す

ため、重相関係数は、いずれも低値であった ($R=0.27$ から 0.34)。

そこで、各個人ごとに、歩行距離、所要時間、歩数、心拍増加数の各パラメータと歩行速度との2次多項式分析を行った (図2)。各人で求めた歩行距離と歩行速度の重相関係数の度数分布を図3aに示す。全例の重相関係数の平均と標準偏差値は、 0.72 ± 0.18 であった。所要時間と歩行速度から求めた2次多項式回帰の重相関係数の平均は、 0.73 ± 0.17 であり、歩数と歩行速度の重相関係数の平均は、 0.73 ± 0.18 、そして心拍増加数と歩行速度では、 0.73 ± 0.21 であり、いずれも重相関係数は高かった (図3b-d)。

さらに各個人の2次多項式曲線をもとに、最も速い速度となる時の (y軸の最高値) 各パラメータの値 (x軸の最高値) を求めた (図2矢印)。このような手順で求められた最大歩行速度に至る各パラメータの平均値は、歩行距離 108.2 ± 54.1 m, 所要時間 33.4 ± 16.9 秒, 歩数 112.9 ± 41.9 歩, 心拍増加数 67.7 ± 29.0 拍であった。

V. 考 察

健常者の全力疾走では、個人差もあるが初めの30 mは加速期であることが知られている。速度が定常状態となり、最大速度に達するのは、30 m以降であることが報告されている¹⁵⁾。自由速度歩行については、最初の一步を

図3 歩行速度と各因子との2次多項式回帰で得られた重相関係数の度数分布図

aは歩行速度と歩行距離の2次多項式回帰曲線
bは歩行速度と所要時間の2次多項式回帰曲線
cは歩行速度と歩数の2次多項式回帰曲線
dは歩行速度と心拍増加数の2次多項式回帰曲線

除けば、次の歩からは、安定した周期となる報告がある¹⁶⁾。歩行速度の測定には、自由に速度を選ばせる自由速度歩行よりも、最大限の努力による最大速度歩行が選択される。これは、測定値に再現性が得られるためである。しかしながら、最大歩行を測定するための歩行条件の研究は行われてなく、自由歩行測定で使用される測定条件がそのまま利用されている。そこで、最大歩行速度を測定するための諸条件の一つである歩行距離を検討したところ健常者においては、10 mの歩行距離は短すぎる事が明らかとなった。

また10 m歩行時と比較し歩行距離が長いと歩幅が減少し、歩行率が増加した。これは、半径2.5 mのトラック曲線部を方向転換するのに必要な制御が原因であると考えられる。このことから最大歩行時の歩幅、歩行率を測定するには、曲線部分をなくするか極めてなだらかな曲線を考慮する必要があることが示唆された。

歩行距離と歩行速度は、2次多項式曲線に従うことが明らかとなった。これらの式より最も速度が最大となる距離を求めたところ、108 mであった。しかしながら、いずれの曲線においても個人差があり、曲線が左上がりでは比較的早期に最高速度に至るものや、あるいは曲線が右上がりとなり、最高速度に至るのが遅いものがみられた。障害者の歩行速度を測定する場合には、障害の種類や程度によって、より大きな個人差が生じることが考えられる。このため本研究で得られた歩行距離をそのまま適応できるとは考えていない。

こうした問題点を考慮して、本研究では、所要時間や歩数あるいは心拍増加数と最大速度との関係も調べている。その結果、最大速度に至るには、所要時間は33秒、歩数は112歩、そして心拍増加数は68拍であることが明らかとなった。これらの指標は、障害者においても少なからず最大歩行測定の目安となるものと考えられる。

VI. 結 論

本研究の結果、比較的若年の健常成人男女に、最大歩

行速度を測定するには、測定距離は100 m程度、測定時間が30秒程度、歩数は110歩程度、そして心拍増加数は70拍程度となるような歩行路が望ましいことが明らかとなった。

参考文献

- 2) 阿久津邦夫：歩行の科学。不昧堂出版，1975，pp56-57.
- 3) Sato H, et al.: Gait patterns of Japanese pedestrians. *J Human Ergol*, 19: 13-22, 1990.
- 4) 宮下充正：歩行研究の概略。体育の科学，5: 264-273, 1965.
- 5) 佐藤方彦・他：人間工学基準数値式便覧。技報堂出版，1992，pp212-222.
- 6) Bard G, et al.: Measurement of Energy Expenditure during Ambulation, with Special Reference to Evaluation of Assistive Device. *Arch Phys Med Rehab*, 40: 415-420, 1959.
- 7) 奥山美佐雄：無負荷歩行時の瓦斯代謝。労働科学研究，10: 156-179, 1932.
- 8) Himann JE, et al.: Age-related Changes in Speed of Walking. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20: 161-166, 1988.
- 9) 丸山仁司・他：歩行速度に関する研究。第9回日本私立医科大学理学療法学会誌，26-27, 1991.
- 10) 伊東 元・他：健常男子の最大歩行時における歩行周期の加齢変化。日本老齢医学会雑誌，26: 347-352, 1989.
- 11) 安藤正志・他：異なる歩行速度が快適歩行におよぼす影響。理学療法学，22: 10-13, 1995.
- 12) 中村隆一・他編：脳卒中の機能評価と予後予測。医歯薬出版，東京，1991.
- 13) 窪田俊夫・他：片麻痺歩行の安定性に関する定量的評価方法について。総合リハ，14: 123-128, 1986.
- 14) 窪田俊夫・他：脳卒中片麻痺の歩行能力における到達水準の予測。総合リハ，13: 611-617, 1985.
- 15) 大橋正洋：歩行（基礎から臨床まで）5. 脊髄損傷による対麻痺の歩行。理・作・療法，20: 475-481, 1986.
- 16) 佐々木秀夫：スポーツなるほど辞典 一陸上競技一，東京堂出版，1984，pp70-73.
- 17) Mann RA, et al.: The Initiation of Gait. *J.B.J.S.*, 61A: 232-239, 1979.