

歩行の運動生理

阿久津邦男*

歩行者の交通安全や歩行不足が叫ばれる時代である。この歩行運動を検索するために、歩行運動を4期に分け、主働筋と関節の働きを動力学的に検索した。また日本人の歩行実態を歩幅、速度などから、性・年齢別に検討し、歩行トレーニングのために、歩行速度とエネルギー消費についても考察した。

Motive Physiology of Walking

Kunio AKUTSU*

Amid the increasing concern over the safety of pedestrians and people's lack of walking, this paper analyzes the dynamics of walking, particularly the functions of main muscles and joints, at four stages. It also examines walking habits, by sex and age, of Japanese people such as the stride and speed of their walk, and the relations between walking speed and energy consumption for ambulatory training.

1. 歩行の4期^{1), 2)}

ヒトのなす運動のなかで、歩行は最も基本的運動である。歩行動作の理解を容易にするために、歩行を4期に分けて、側方および水平方向からみた像をとりあげ、筋の働きや動作の特徴を分析してみる。

歩行運動の1周期は、被検脚が後方にある後脚蹴り出し期、遊脚期、前脚着床期、片脚支持期の4期に区分できる。その側面をスローモーションで、い

くつかの像に示そう。

後脚蹴り出し期は、両脚で支持し、コンパスの脚のように離れ、後脚は推進力の役割を果し、遊脚期は、一方が床から離れていて、後方から前方に向けて、他方の脚と交差する時間にあたる。前脚着床期は、床に接して体重を受ける。このとき脚は前進する方向を決め、制御し、調節する役目を果たす時期にあたる。

この脚は、片方の脚だけで体重を支持する片脚支持期となって、歩行運動1周期が終り、繰り返して歩行が続く。

これら4期を動力学的に考察してみると、第1期

*専修大学教授（運動生理学）
Professor, Senshu Univ.
原稿受理 昭和52年11月7日

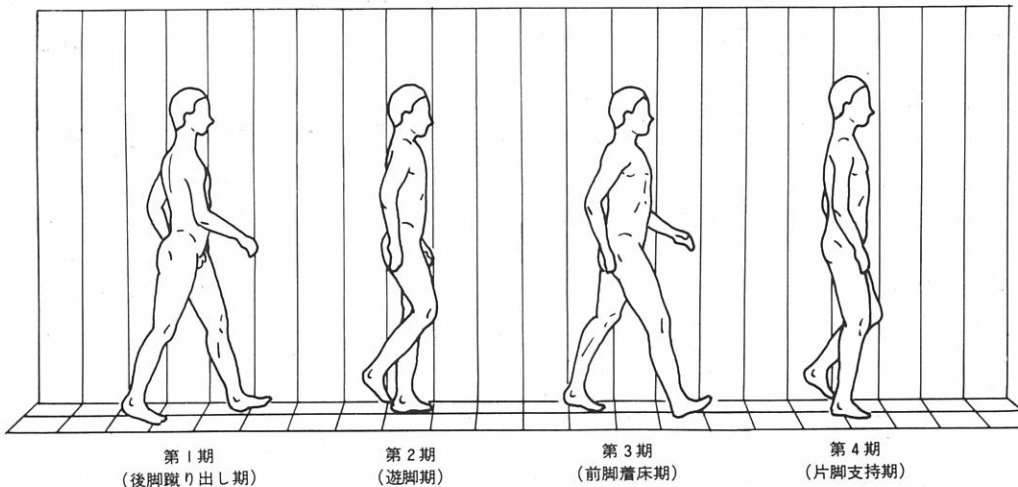


Fig. 1 歩行の4期

The four stages of walk

の後脚蹴り出し期は、後脚は前方へ軀幹を押し出す運動で、関節は中足基節関節、距腿関節、膝関節が適応するように屈曲運動して、股関節はこの動作に協力する。この前進するための関節の運動は、下腿三頭筋・大腿四頭筋、大殿筋などの大きな筋によって駆動されて歩行が組み立てられる。このときの足の役割は、距腿関節が主役で、下腿三頭筋が強力な力で主動筋となるし、膝の役割は、下腿三頭筋と大腿四頭筋が主動筋となって働く。

第2期の遊脚期は、支持期を終わって床面を離れる。膝は屈曲して足はもち上げられる。単純な振り運動によって、前進する。蹴り出して後方にある股関節は、垂線を越えて前方へ通過する。この交差するときに、脚全体を吊り下げて働きながら、歩行を促進する。

この時期に、腰椎から起こった腸腰筋と大腿直筋は、正常歩行時には僅かしか働かないが、速歩のときには、速度が増すにつれて増強する。

足は蹴り出し期には屈んでいるが、前脛骨筋と第3腓骨筋、さらに趾の背屈筋によって足先がもちあげられる。

第3期の前脚着床期は、移動してきたばかりの全体重を受け、下肢は床面からのショックをやわらげる作用をする。

このときの足は、脚が交差すると間もなく、踵が接床するが、そのショックを第一に吸収するのは踵である。ついで足裏全体が床に接触するが、今日歩行不足のヒトや歩幅のせまい人には踵からの接触の明確でない例がある。

一方、膝の関節は、大腿四頭筋によってやわらかく屈曲される。

第4期の片脚支持期は、全体重を支持し、バランスをとり、前進するという3つの役割を果たす。下肢が最大の体重圧を受けるのは、垂直線を経過するときであり、歩行一周期のなかで頭部が最も高くなる時期でもある。

片脚支持の際の動きは、距腿関節が重心線と交差するとき、つまり下肢が垂直になる瞬間であり、足痕はFig. 3のごとくなる。

足痕は足底と床の接触面を示すもので、踵の離床は、片脚支持の最後にしか起こらない。

2. 日本人の歩行実態とその評価

今日、歩行不足だといわれる。文明の進歩につれて歩かなくとも生活ができるようになって、自動車



Fig. 2 着床期の接床順序
Dark area denotes order in which foot touches ground

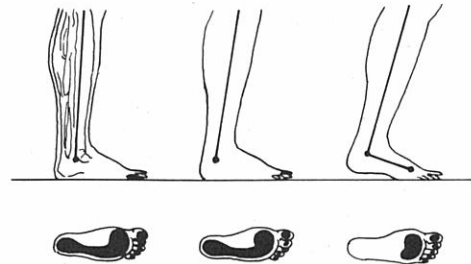


Fig. 3 片足支持期の足の変化
Variation of foot while total weight is on it

によって歩行が奪われるという現実がある。

歩行不足がその裏腹に運動不足となって、肥満、腰痛、糖尿病に代表されるような、いわゆる運動不足病は、その背景に歩行不足があげられ、歩け歩け運動が社会的欲求ともなっている。

日本万歩クラブでは、歩行運動のすすめに関するキャッチフレーズとして、1日1万歩をすすめているが、ペドメーターを用いて、1日の歩数を調査したのがTable 1である。

集金人やセールスマンは1日約12,000歩を歩いているが、学生でも約8,000歩しか歩いていないこと

Table 1 職業別1日の歩数
Number of strides perday depending on occupation

職 種	調査人数	歩 数
新聞配達	3	18,200 (歩)
セールスマン	2	12,700
集金人	4	12,500
高校生	17	8,700
大学生	9	7,900
主婦	22	6,000
ホワイトカラー	7	6,000
工 員	4	5,200
O L	11	5,100
商店員	6	5,000
教 員	8	4,700
団地婦人	5	4,600
会社役員	3	3,400
施設老人	6	3,300
タクシー運転手	3	2,800

(ペドメーターによる1965~69)

がわかる。

運動不足を自覚するといわれる中年層の主婦やホワイトカラーが約6,000歩、OLや工具で約5,000歩、そして会社役員や老人では約3,000歩と少ない。

こうした歩行不足が、歩行運動にどのような影響をもたらすものか、また、加齢に伴って歩行がどう変化するかを検討するために、東京都内およびその近郊において、街の路面を歩くヒトについて、予め50mあるいは100mの距離を設定して、水平歩行をする人の側面から、歩行速度、歩幅、1歩あたりの

速度などを測定した。

ヒトが立ち、歩くという動作は、生後1年ごろから繰り返してきた反射運動であるから、その人特有の歩き方を持っているであろう。

それは、年齢、性、身長、体重、はきもの、服装、運動不足の程度などによって左右されるであろうから、一概に決められないが、歩行速度、1歩あたりの速度、歩数、歩幅について、年齢、性別に示したのがTable 2、3である。

2-1 歩幅について

Table 2 日本人の歩行実態 (男子)
Walking habits of the Japanese (male)

年 齢	歩 行 速 度		一歩当りの速度		歩 数		歩 幅		被検者数
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	
0~4	50.86	7.20	0.42	0.065	124.40	22.82	41.72	6.24	26
5~9	50.71	8.01	0.45	0.055	103.17	14.22	49.27	7.83	32
10~14	45.12	10.01	0.51	0.053	82.34	14.81	57.34	12.09	26
15~19	32.75	5.57	0.52	0.049	67.95	6.32	75.22	7.47	39
20~24	34.25	4.34	0.52	0.047	66.65	6.81	75.04	7.65	82
25~29	35.22	4.92	0.55	0.043	67.33	6.19	74.80	7.05	92
30~34	31.40	5.20	0.52	0.058	67.31	6.51	74.38	7.62	58
35~39	35.19	6.65	0.53	0.057	69.30	6.65	71.56	6.89	42
40~44	36.47	4.56	0.53	0.076	70.87	4.87	71.29	10.56	42
45~49	36.36	6.30	0.49	0.065	70.40	8.13	71.53	9.99	51
50~54	38.56	6.03	0.55	0.070	76.15	7.95	68.96	7.05	63
55~59	41.30	5.70	0.55	0.061	75.47	7.89	65.90	7.65	82
60~64	42.82	6.90	0.55	0.064	78.40	9.80	64.39	8.22	54
65~69	47.02	6.48	0.55	0.061	79.70	8.65	61.26	6.42	57
70~74	49.45	7.32	0.57	0.050	87.18	8.60	58.02	5.94	32
75~79	55.01	6.75	0.60	0.048	99.10	9.65	54.00	6.24	12

(50m当りの測定値)

Table 3 日本人の歩行実態 (女子)
Walking habits of the Japanese (female)

年 齢	歩 行 速 度		一歩当りの速度		歩 数		歩 幅		被検者数
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	
0~4	55.30	11.26	0.44	0.065	120.00	18.20	46.59	3.15	30
5~9	46.19	8.07	0.46	0.058	102.00	12.32	49.55	5.98	26
10~14	37.91	5.33	0.47	0.083	78.95	9.31	63.00	3.00	34
15~19	41.66	5.31	0.51	0.062	76.50	8.30	66.08	7.03	58
20~24	40.46	8.39	0.50	0.039	77.50	6.77	64.49	5.77	144
25~29	40.43	5.88	0.50	0.049	80.90	6.76	61.26	3.90	95
30~34	41.55	6.17	0.61	0.039	84.65	8.80	59.05	5.70	66
35~39	44.64	6.57	0.54	0.077	82.60	9.70	59.76	5.84	40
40~44	42.24	6.17	0.51	0.071	83.11	7.16	60.10	1.74	41
45~49	38.16	9.06	0.52	0.074	84.96	8.64	58.84	6.18	72
50~54	44.63	8.23	0.52	0.065	86.66	10.02	58.12	6.84	49
55~59	47.26	5.32	0.53	0.068	89.98	12.81	56.30	6.96	42
60~64	50.71	8.01	0.54	0.073	93.00	11.34	53.83	5.52	44
65~69	50.14	8.11	0.53	0.058	99.64	10.50	53.80	7.73	48
70~74	54.56	7.55	0.54	0.058	102.02	11.64	49.68	6.99	32
75~79	59.17	6.41	0.57	0.065	107.66	15.03	46.82	6.96	18

(50m当りの測定値)

歩幅 (length of the step) は、50mを自然歩行する連続した歩行から、距離を歩数で割った2つの支持点を隔てた距離といえる。いわば踵から踵までの幅である。

歩幅は、歩行運動を評価するときの代表的な測度であり、前歩と後歩の2つに分けられる。後歩は後脚蹴り出し期から、反対側の脚が垂直になるまでと、前歩は交差してから前脚着床期のはじめまでである。

すなわち、後歩の中には、蹴り出しの姿勢、骨盤の後方斜位、股関節膝関節と足の伸屈があるし、一方の前歩では、脚を前方に運ぶための骨盤の前進、股関節の屈曲および膝関節の伸展が含まれている。

Fig. 5は、歩幅と後歩・前歩を示した足痕である。

日本人の歩幅は、

Table 2、3 に示したように、男子では15~19歳が最大で75.22±7.5 cmであり、20歳代で75cm、30歳代73cm、40歳代で71cmと、10歳に2 cmほどの加齢に伴う短縮を示し、50歳を越えると70cmを割って急にせまく、70歳以上の老人では60cmを割っている。

女子においても同じ傾向であって、15~19歳の66.08 ± 7 cmを最高として、30歳をすぎると60cmを割り、70歳では50cmを下まわるなど、中高年層の歩幅の衰退は著しい。

歩幅は、むかしから陸軍ではよく測定されている。フランス軍は歩幅を75cmとし、歩調を毎分128のピッチで歩いたというし、ドイツ軍では歩幅80cmと大きく、歩調114歩のピッチで歩いた。

歩幅は、性差、年齢差の他に民族差がある。Fig. 6 は、日本人と在日欧米人の歩幅を性別・年齢別に比較した成績である。

欧米人男子の歩幅は、日本人のそれよりも約9~10cm広く、欧米人女子は日本女子よりも約7~8cm広い。また欧米人男子はその女子よりも約10cm広い。

また、日本人男子は欧米人女子よりも、僅かに3cm広いなど、日本人に比べて、下肢長の長い欧米人は歩幅において著しくすぐれている。

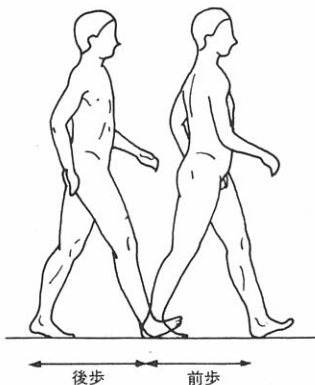


Fig. 4 歩幅
Stride

一方、歩幅ははきものや服装によっても左右される。

男子について、靴、草履、サンダル、つっかけおよび下駄について、歩幅を測定すると靴が最大であり、20歳代の男子ならば、草履やつっかけ、サンダルでは約70cmで、靴よりも約5 cmほどせまく、下駄は履き馴れないこともあるが、約65cmであるから靴よりも10cmも狭いことになる。

しかし、下駄は和服のときに履くことが多いから、単に履物のみで決定することは適当でなからう。日本女子について、履物と歩幅の関係をみると、男子のそれより種類が多く、ローヒール、ハイヒール、草履、サンダル、つっかけ、下駄などがある。

20歳代の女性についてみると、ローヒール、ハイヒールともに、パンプスでは66±5 cmであるが、草履62cm、つっかけ61cm、下駄では57cmと極端にせまい。50歳をすぎた人に下駄を履く人が多いといわれるが、この場合の歩幅は50cm以下で、男子青年の歩幅の3分の2に相当するせまい歩幅で歩いていることになる。

歩幅は、まず第1に骨の槓桿の長さによって決定されるもので、つまり路面には、服装、はきものなどの影響を受けた合計で投影される。したがって身長、結局は脚長が長いほど広く、関節の同じ開きでは歩幅は大きくなる。

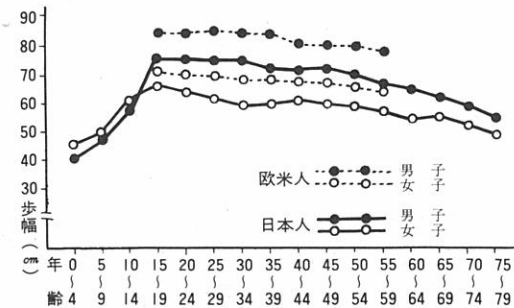


Fig. 6 歩幅と年齢の関係
Relationship between stride and age

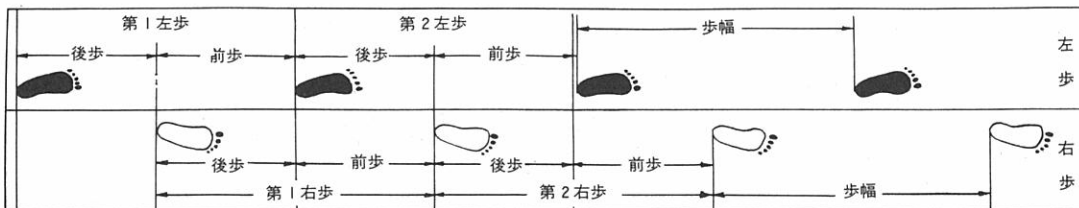


Fig. 5 歩幅と後歩前歩の足痕
Stride and foot prints of man walking

Fig. 7 は、大きい人と小さい人が同じ歩幅で歩いた場合を示した図である。これは欧米人と日本人に対比した場合も考えられる。

歩幅75cmの歩き方について、身長の高い人が歩くと、骨盤位を水平面のみたFig. 8 のように、骨盤の斜位を最大限に利用しようとする。そのとき上半身とくに肩は反対方向への回旋で代償されなければならないから、それに動員される筋群の働きは大きい負担となる。それに対して、大きい人は、骨盤を進行方向に対して、比較的横位におくことができるか

ら、上半身の相反作用を必要としないで下肢を主とした楽な歩き方ができる。

Fig. 8 は、大きい人と小さい人について、骨盤の傾きを同じ状態にして、両大腿で作られるコンパスの開く角度を同じにしてみた場合である。歩幅は下肢の長さに比例して大きくなり、欧米人男子の歩幅が日本人の男子よりも約10~12cmも広いのはそのためである。

胴長短脚といわれる日本人の歩幅は容易に理解できる変化要素に従っている。現代では男子は15才で父親の身長を追い越し、女子は13才で母親の身長を追い越すといわれているから、欧米人との差も少なくなつてこようが、一般に股関節の屈曲、伸展を多く使って、骨盤歩行をあまり用いていないが、背の低い人や訓練歩行では、骨盤の斜位を大きくして歩幅を広くして歩いているともいえる。

Table4 男子のはきものと歩幅の関係

Relationship between male footwear and stride					
	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代	60歳代
1. 靴	75±7	72±8	71±9	66±8	63±7
2. 草履	72	72	70	66	59
3. サングダル	70	69	68	62	57
4. っかけ	71	67	65	61	57
5. 下駄	65	64	60	55	54

(単位 cm)

Table5 女子のはきものと歩幅の関係

Relationship between female footwear and stride					
	20歳代	30歳代	40歳代	50歳代	60歳代
1. ローヒール	65±5	59±5	59±9	57±7	53±7
2. 3cmのハイヒール	66	64	63	57	52
3. 5cmのハイヒール	66	64	62	54	50
4. 草履	62	58	55	53	43
5. サングダル	65	63	60	52	47
6. っかけ	61	60	58	54	48
7. 下駄	57	55	54	50	44

(単位 cm)

2-2 歩行速度について

Fig. 9 は、日本人男子について、50mを歩く歩行速度について、年齢あたりにプロットした成績であり、Fig. 10は日本人男女と欧米人男女の歩行速度の年齢変化の平均値を示したものである。

歩行速度も、はきものや服装によって制限されるし、身長や体重にも左右されるから、個人差が大きい。

歩行速度の年齢変化をみると、男子では約15歳で

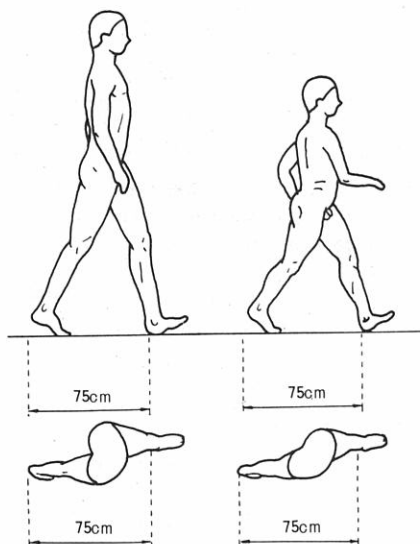


Fig. 7 身長の高さと歩幅の関係
Relationship between height and stride

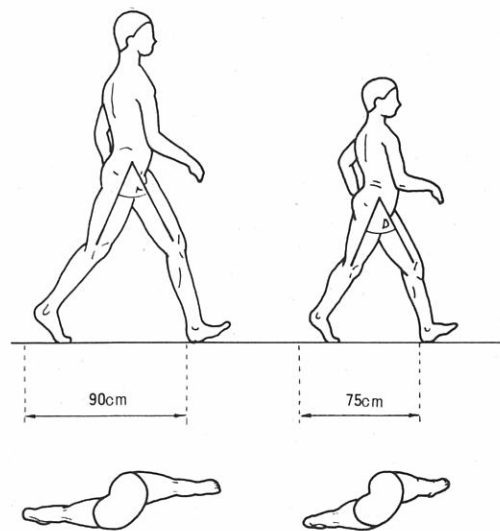


Fig. 8 身長の高さと歩幅の関係
Comparative strides of a tall man and small man using the same pelvic motion

ほぼ完成し、50mあたり33±5.6秒で歩いている。その後40歳頃までこの速度を保持しているが、45歳をすぎると加齢に伴って遅くなる。50歳代後半では、41.3±5.7秒と衰退し、60歳代後半では47.0±6.5秒、70歳代後半では55.0±6.8秒と著しく遅い。

高齢者では、男女ともに1mを約1秒の速度であり、100mを歩くのに青年に比べて40mつまり40秒も多く時間を要して歩いていることになる。

Fig. 10から欧米人と日本人の歩行速度を比較してみると、男女ともに35歳頃までほとんど変わらないが、40歳をすぎると日本人は遅くなる⁴⁾

これは、日本人の中高年齢層は体力の衰退が著しいといわれるが、40歳を境として歩行速度が遅くなるのに対して、欧米人では60歳頃まで、同じ速度水準を維持しているところに、欧米人との差を生じる原因のあることがわかる。

この傾向は女子についても同様であるが、20～30歳代ではむしろ日本女子の方が速い速度で歩いていることである。歩幅がせまく、歩行速度が速いということは、「ピッチでかせぐ」のたとえ通り、1歩あたりのスピードが早いことを物語っている。

体力のある青壮年期に、1歩あたりの速度で歩幅のせまいことをおこなっていても、体力衰退に伴って、ピッチを高めることは疲労しやすい歩き方となるから、加齢に伴って中高年齢層の歩行速度が急に遅くなることもうなずける現象といえる。

また、路面の性質によってもスピードは制限される。踏み固められた土の上を歩く女子学生は、100mを平均72±5.0秒で歩いているのにコンクリートやアスファルトの路面では78±5秒と5秒も多くかかっている。砂利や芝生の上では更に遅くなっている。

2-3 1歩あたりの速度

日本人は欧米人に比べて、歩幅が約10cmもせまく、歩行速度はほとんど同じであるのは、ピッチで歩かせかきだからである。

Fig. 11は、1歩あたりのスピードの年齢変化を性別に欧米人のそれと比較した成績である。

年齢別にみると、15歳ごろまで、発育に伴って遅くなり、15歳ではほぼ定常状態に入る。その後40歳前後まで、男子で0.52秒、女子で0.5秒とやや女子の方が速い。その後50歳をすぎるとやや遅くなる。

欧米人では、1歩あたりのスピードは目立って遅い。日本人と比較して、約0.1秒もピッチが遅い歩き方である。しかも15歳頃から60歳頃までほとんど年齢差を示していないことから、欧米人は、歩幅、歩行速

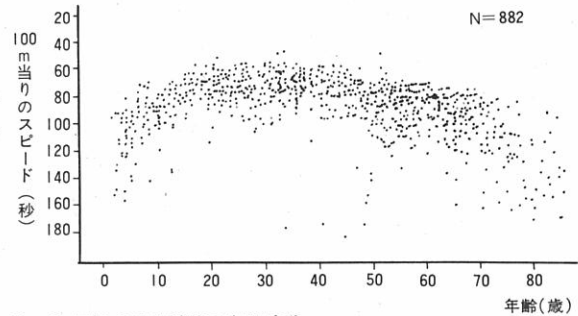


Fig. 9 男子の歩行速度の年齢変化
Relationship between male walking speed and age

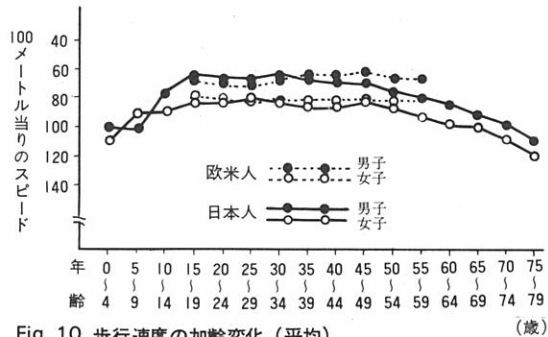


Fig. 10 歩行速度の加齢変化(平均)
Relationship between averaged walking speed and age

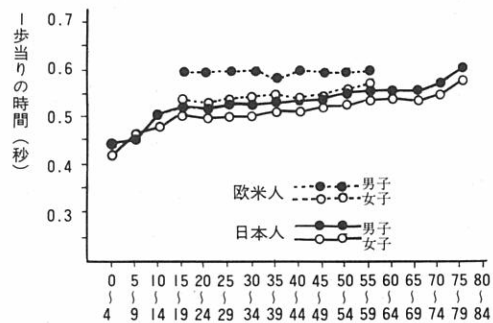


Fig. 11 1歩当りのスピードと年齢の関係
Relationship between speed per stride and age

度および1歩あたりのスピードともに60歳ごろまで衰退しないのに対して、日本人では40歳をすぎるといずれも低下していることがわかる。

歩行能力の衰退が加齢に伴って、早期に発現することが知られる。

今日、文明の進歩に反比例して、運動不足が目立ち、体力の低下が問題になっている。そして歩くことが健康維持・増進に必要な点として、成人病予防に歩く運動を実践している人々が見られるが、運動不足はこの加齢に伴う歩行能力の衰退の早期発現の上

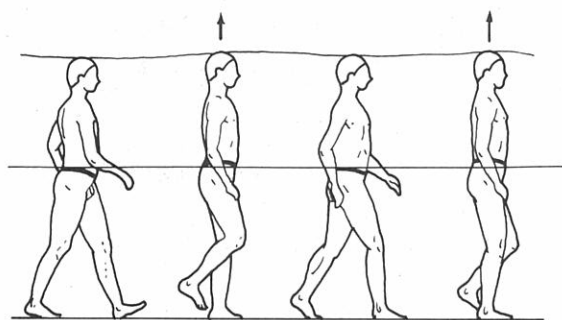


Fig. 12 歩行時の上下動
Vertical motion while walking

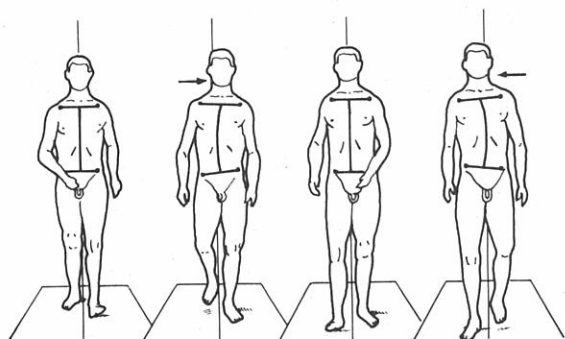


Fig. 13 左右動の大きい歩行 (ダクロケット参考)
Sketch of walk with large swaying motion

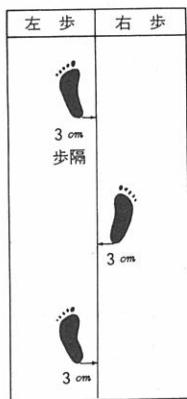


Fig. 14 歩隔
Distance separating feet

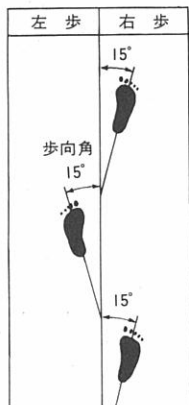


Fig. 15 方向角
Direction in which feet are pointed

からもみられる。

2-4 日本人の歩行癖⁶⁾について

トレッドミリ上を毎分60mから80m程度のスピードの歩き方から一般的な歩行動態を考察する。

歩行の4期について、上下動を考察すると後脚蹴

り出し期は最も低く、遊脚期は高く、着床期は低く、片脚支持期は高いという上下動を示す。このとき調子をとってリズムカルに歩いている人の中に、後脚を蹴り出す際に膝が伸びないために、より低く、上下動が一層大きい場合がある。

この人の中には、踵で弧を描くはねのあがる歩き方が少なくない。脚力弱く、すぐ疲れを訴える人にみられる。

また、第2期の遊脚期と第4期の片足支持期に、それぞれ、支持脚側に上半身を右に左に動く人がみられる。一般に歩行速度の遅い人に多い。

脚力が弱いのか、肩や頭を左右にふって歩いている人は、中年以降の婦人に多くみられて、ひとつの歩行癖といえよう。

Fig. 14は、歩隔を示してある。中央線からそれぞれ3cmで、両足間隔が6cm前後が、一般成人男子の歩隔であるが、中央線から5~6cmも離れる歩き方をする中高年者もある。これは左右動の大きい人に多くみられる。

男子の中には、Fig. 15にみられるように、方向角の大きい人もある。

成人男子では、約15°程度であるが、体重の大きい人はより大きく20°から25°にも及ぶ人がある。女子とくに和服を着て歩いている人、草履や下駄を履いた女子には方向角5°前後が多いし、中には平行またはマイナスで、爪先が内側に向いた極端な内股歩行をする人すらある。

方向角や歩隔の大きい人ほど左右動が大きい。左右動は、骨盤内水平位においてもみられる。Fig. 16は、歩行の4期における骨盤水平位における骨盤斜度と左右動を示している。

後脚蹴り出し期および着床期の体重が両脚に均等に加重され、両脚がコンパス状にバランスのとれた際の位置に対して、遊脚期および片脚支持期には、支持脚側に左右動する。そして、歩行速度が遅い場合、女性においてなど顕著である。

歩行癖は、体型や体力が同水準とみられる場合でも異なっているので、その人なりの歩き方によって現れるものである。一概にいえないが運動不足が背景にあって、歩行能力が低下している場合や40歳以降、つまり中高年者に多くみられる。

3. 歩行運動のエネルギー

ヒトは、運動なしにも絶えず酸素を消費しているが、歩けばそのスピードに対応して、さらに多くの

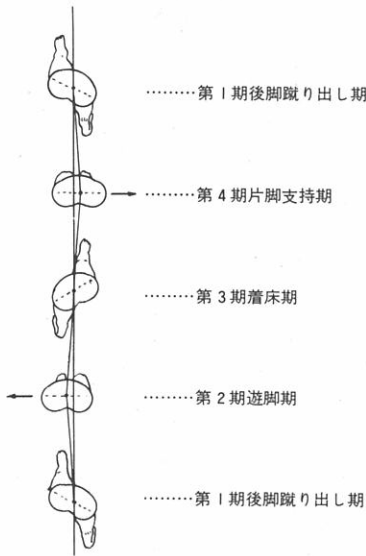


Fig. 16 歩行の4期における骨盤の傾斜位と左右動 Pelvic inclination and swaying motion during the four stages of walk

酸素を必要とする。

そのときの摂取する酸素量は、細胞や組織の要求する量によって決定されるのではなく、補給される酸素量によって決まるから、十分な酸素が供給されるような歩き方なら疲労しないが、急歩では完全な有酸素的状态が崩れるから、歩行時間に伴って疲労が累積する。

歩行速度と酸素需要量の関係に関する研究⁴⁾は、古くから数多く行なわれているが、パスマア(Pasmore)とダーニン(Durnin)は、これまで測定した水平歩行における歩行速度と酸素需要量の成績を集めて、歩行速度とエネルギーの関係を模索した。

Fig. 17がそれで、●印はアツラー(Atzler)、+印はベネジクト(Benedict)、□印はケーナー(Köhner)、×印はダグラス(Douglas)とホールデン(Haldane)、○印はマルガリヤ(Margarita)の成績である。

歩行速度が、毎時3kmの緩速から、やや急速の6kmまでは、スピードと酸素需要量は直線関係を示し、次の式で求められる。

毎分の消費カロリーを(C)とすると、

$$C = 0.8V + 0.5$$

ただし、Vは毎時歩行速度(km)、体重は60~75kgであるが、ほぼ同一の結果である。

それが、毎時6km、つまり毎分100m以上のスピードで歩くと、酸素需要量は急激に増加し、スピードが毎時1km増すごとに、約1.5cal/minの増加を示すことを示している。またマクドナルド(McDonald)

は、数多くの歩行時のエネルギー消費量を集めて、統計的に処理した。その結果は、Fig. 18, 19に示すように、

男子では

$$\log_{10}H = 0.0028V + 0.00002V^2 + 0.0033W + 0.072$$

女子では

$$\log_{10}H = 0.0053V + 0.0065W - 0.257$$

という式を得た。ここでHとはエネルギー需要量(cal/kg/min)、Vは歩行速度(m/min)、Wは歩行時の重量(kg)である。

このように歩行速度が増加するにつれて、エネルギー消費は加速度的に増すが、同一距離を歩くのに、散歩のようにあまりゆっくり歩いても、かえって多くのエネルギーを消費することになる。

自動車に経済速度があるように、歩行にも最も少ない消費量で同一距離を歩ける経済速度がある。

Table 6は、種々なる速度で歩いたときのエネルギー消費を、1kmを歩くために要した酸素消費量で比較した成績である。

毎分53mという緩歩から、146mという急歩または緩走までの速度のときのカロリーおよび酸素消費量であるが、毎分90mの速度のときに最低となり、これより速く歩くと再び増加してくるZuntzの成績である。

この関係は、急いで歩くと疲れるし、あまりゆっくり歩いても疲れる歩行経験をよく説明している。

この経済速度は、効率で説明できる。歩行効率(E)は次のようにして求められる。

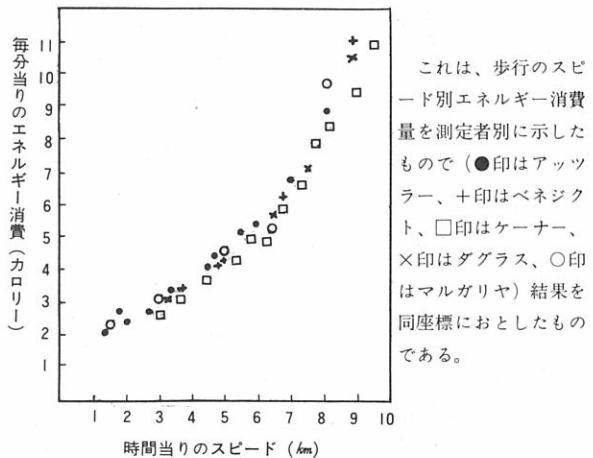


Fig. 17 水平歩行のスピード別によるエネルギー消費量 Relationship between energy consumption due to horizontal walk and speed

Table 6 種々なる速度で歩いたときのエネルギー消費
Relationship between energy consumption and walking speed

毎分のスピード	1 km 当りのカロリー	1 m ごとの酸素消費量
53 m	64 Cal	12.6 cc
60 "	58 "	11.3 "
80 "	52 "	10.8 "
90 "	51 "	10.7 "
102 "	53 "	10.9 "
140 "	73 "	14.9 "
146 "	77 "	15.3 "

Table 7 登行勾配RMR の関係
RMR of ascent

勾配	R M R
35°	13.1~14.5
30°	10.9~12.7
25°	10.0~11.9
20°	9.8~10.2
15°	9.1~11.4
10°	9.9~11.6
5°	6.4~11.6
0°	2.7~4.3
-5°	3.3~3.7
-10°	4.3~5.0
-20°	6.8~7.7
-30°	8.7~9.2

$$E = \frac{W}{M - R} \times 100$$

W は歩いた仕事量、M は歩行時の総エネルギー消費量、R はその期間の安静水準エネルギー消費量である。

この場合に、その外的仕事量を単に水平推進力にのみ求めるか、身体各部の相対的運動も含めるかで E は著しく変化するが、推進力と歩行距離を乗じて、その間のエネルギー需要量を除して求めたラプトン (Lapton) の自然歩行の効率曲線が Fig. 20 である。

毎分60mの歩行効率は17%、70mでは20.5%、80mでは22.5%、90mで23%とスピードが増すにつれて最高になるが、100mで22%とややおち、120mでは21.5%、140mでは19.5%と次第に低下する。

これは、欧米人についての成績で、脚長の短い日本人では、経済速度はもう少し遅いところにあることが考えられる。それは男子で75m/min、女子で70m/min、前後ではないだろうか。

また、著者らは、ハイキングなど歩け歩けの運動の盛んな時代の社会的欲求として、登行時のリュックの重さを加味した歩行運動の消費を求めた⁵⁾ところ、水平歩行(0°)のエネルギー代謝率は、毎分70m程度の歩行で、リュック重量10kgで2.5であるのに、20kgで2.95、30kgでは約3.5そして、山岳部員の背負

男子 $\log_{10} H = 2.8 \times 10^{-3} V + 2.0 \times 10^{-5} V^2 + 3.3 \times 10^{-3} W + 7.2 \times 10^{-2}$

女子 $\log_{10} H = 5.3 \times 10^{-3} V + 6.5 \times 10^{-3} W - 2.57 \times 10^{-1}$

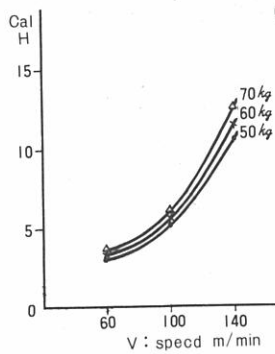


Fig. 18 歩行速度とエネルギー需要量 (男子)
Relationship between walking speed and energy demand (male)

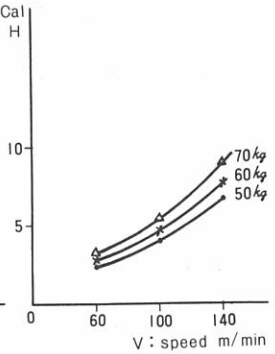


Fig. 19 歩行速度とエネルギー需要量 (女子)
Relationship between walking speed and energy demand (female)

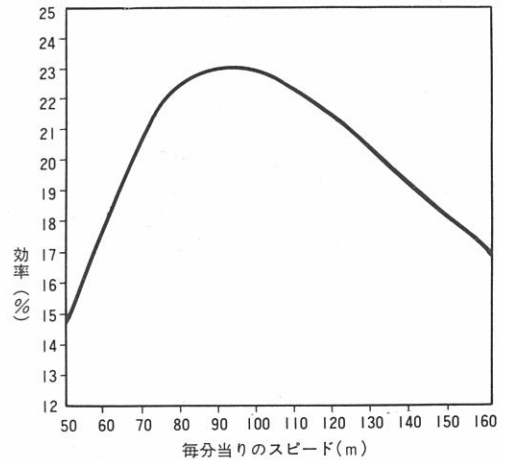


Fig. 20 自然歩行の効率曲線 (ラプトンによる)
Efficiency curve of natural walk

ような40kgでは、約4に近いRMRを示した (Fig. 21)。

また、登行にみられる勾配歩行でも、平地歩行では、2.7~4.3のRMRが5°勾配の上り坂では6.4~11.6、10°の上りで9.9~11.6、25°では10~11.9と登行では約10程度のRMRであることがわかった。

下り坂は、一見楽に思われるが、登山経験者なら理解できるであろう。下り勾配が急になるほどRMRが増加する。-10°では平地歩行の2倍に近い4.3~5.0、-20°では6.8~7.7にも及ぶのである。

今日、歩かない時代だ。それが運動不足の背景となっていて、歩く健康法の社会的欲求が大きい。リハビリテーションとしても歩行運動による機能回復法が実践されている。

ここに歩行の4期と題して歩行の動力的分析、運動不足に対処して日本人の歩行実態、そして、歩行トレーニングの基礎資料として歩行運動とエネルギー消費の成績を紹介する。

参考文献

- 1) Hans, K. and Wilhelm R.: Hypokinetic Disease, Diseases Produced by Lack of Exercise, Charles C. Thomas, 1961.
- 2) R. J. Ducroquet: La marche et les boiteries, 1955.
- 3) 鈴木良平訳: 歩行と跛行, 正常および病的歩行の研究, 医歯薬出版, 1975.
- 4) 阿久津邦男: 歩行の科学, 不味堂新書, 15, 1975.
- 5) 阿久津邦男: 歩く健康法, 8版, 女子栄養大学出版部, 1977.
- 6) 阿久津邦男: 正しく歩こう, 女子体育, 11.3~12.1, 女子体育連盟, 1970.

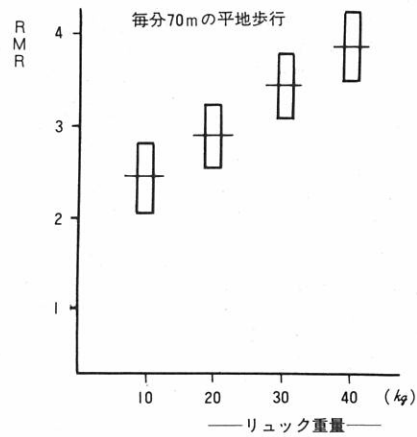


Fig. 21 リュックの重さと RMR の関係
Relationship between weight of Knapsack and RMR