

## 下肢切断者における歩行中の酸素摂取量

平田 敏彦 · 平上 二九三\*

人の移動運動でもっとも自然なものが歩行動作であるといわれている。したがって、歩行に関する研究は古くからおこなわれてきた。なかでも、歩行におけるエネルギー消費量の研究は 1912 年頃からおこなわれ多くの報告<sup>10) 12) 13) 17) 18) 19)</sup>がある。それによると、通常の平地歩行中のエネルギー消費量は歩行速度の増加にともなって増加するが、単位当りのエネルギー消費量は毎分 60 ~ 80 m の歩行速度の範囲が最も低く至適経済速度として考えられている。

一方、外傷等の理由により下肢切断のため義足装着をした条件での歩行中のエネルギー消費量は、義足装着の適合性やアライメントの安定性、床面等の条件によって正常人の歩行に比較して高くなることが報告<sup>21) 23)</sup>されているが、しかし、まだこれらの義足装着での歩行中のエネルギー消費量に関する研究は、正常人に比較して歩行速度や義足装着等条件を加えたものが少なく、まだ十分に研究されているとはいえない。

我々は、先に一側性の大腿切断者と下腿切断者の歩行中のエネルギー消費量が歩行中の速度の増加とともに増加し、それは正常人に比較して高くなることがみられ、その理由が膝関節の有無が歩行能力関係していることを報告<sup>8)</sup>した。しかし、義足歩行での歩幅、歩

数増加が歩行中の酸素摂取量におよぼす影響についてはまだ十分な考察を加えていない。そこで、本研究は、下肢切断者と正常人の歩行中の歩幅、歩数が歩行中の酸素摂取量にどのような影響をおよぼしているか、さらに、下肢切断高位との関係を検討することを目的とした。

## 研究 方 法

## 1. 被 検 者

被検者は、大腿切断（以下 AK 群とする）5 名と下腿切断者（以下 BK 群とする）6 名および健常者（以下 Normal 群とする）7 名の成人男性である。大腿および下腿切断者は、全て一側外傷性切断で、術後 2 年以上を経過した者である。各被検者の年齢、身長、体重、義足装着年数の平均値を表 1 に示した。

各被検者は、それぞれ日常使用している義足を装着して歩行を実施した。図 1-1 は、右側中断端の大腿切断被検者の義足装着例（大腿義足）を示したものである。図 1-2 は、左側下腿切断被検者の義足装着例（コンペンショナル型義足）を示したものである。義足重量は、AK 群が 3.0 ~ 4.0 kg、BK 群が 2.0 kg 以下であった。

Table 1. Physical characteristic of subjects.

Subjects	n	Age (Yrs.)	Height (m)	Weight (kg)	Duration of Prosthesis Use (Yrs.)
Above the knee	5	36.6 ± 4.8	1.68 ± 0.05	54.0 ± 9.3	11.2 ± 7.0
Below the knee	6	33.0 ± 9.4	1.66 ± 0.05	64.2 ± 8.2	13.3 ± 7.8
Normal	7	40.6 ± 13.0	1.68 ± 0.08	64.7 ± 7.2	————

\* 吉備高原医療リハビリテーションセンター診療科

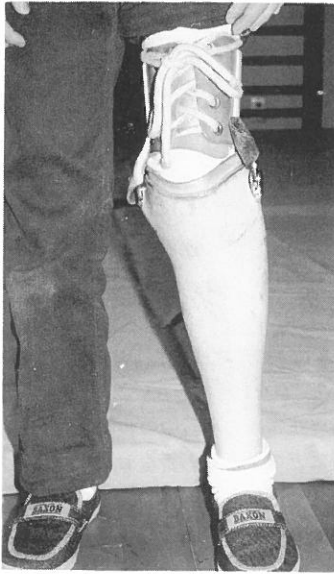


Fig 1-1

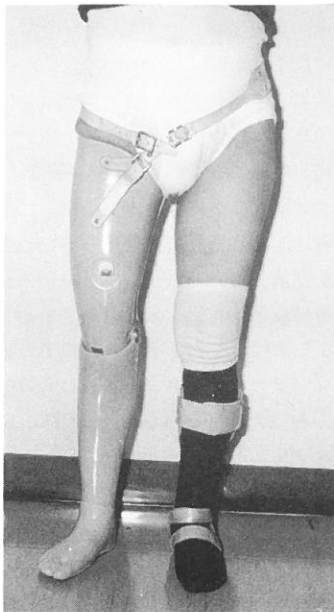


Fig 1-2

## 2. 実験手順

各被検者は、1周82.7mのカーペット床面の屋内コースを用いて5分間の歩行をおこなった。歩行速度は、AK群が毎分23.0m, 35.0m, 43.3m, 56.0m, 69.0m, 76.7mの6段階に、BK群が毎分23.0m, 35.0m, 46.0m, 69.0m, 92.0m, 114.0mの6段階に、Normal群が毎分23.0m, 46.0m, 69.0m, 92.0m, 114.0mの

6段階にそれぞれ設定した。設定した速度は、コース内側に1m間隔で表示される光マーカーにより維持させた。研究結果に用いた実際の歩行速度は、5分間の歩行距離から求めた。

歩行中の心拍数は、胸部双極誘導法により導出し、携帯用デジタル心拍メモリー（Vine社製）を用いて記録し、マイクロコンピューター（PC 8801）で導出し毎分の値を求めた。

歩行中の酸素摂取量は、携帯用酸素消費量型（Morgan社製）を用いて毎分の値を求めた（図2）。結果に用いた心拍数と酸素摂取量の値は、歩行運動開始後の3分～5分間の値を平均して用いた。

歩行中の歩幅と歩数は、歩行開始1分後、任意の時点で、歩幅は、6歩間の実測を平均して、歩数は同時に10歩に用する時間から毎分の値を求めた。それぞれの速度での歩行は、各被検者に疲労の影響が残らないように十分な休息をとりながら実施した。

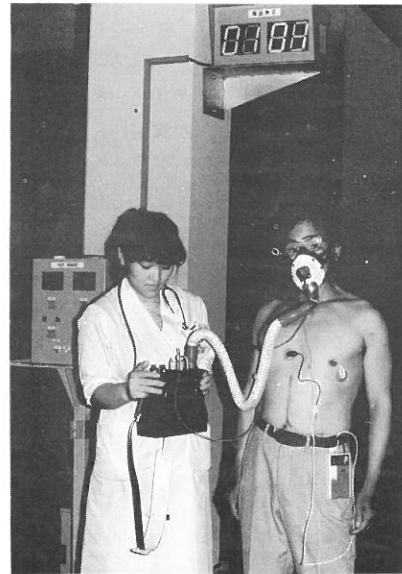


Fig 2. Application of oxygen consumption meter for measuring during level walking.

## 研究結果

我々は先に、AK群、BK群、Normal群において歩行中の歩幅と歩数が歩行速度の増加にともなって直線的に増加することがみとめられ、AK群、BKのそれは、Normal群に比較して毎分70mの歩行速度から歩幅の増加する傾向より歩数の増加傾向が高いことを報告<sup>8)</sup>した（図3）。このことは、義足装着での歩行におい

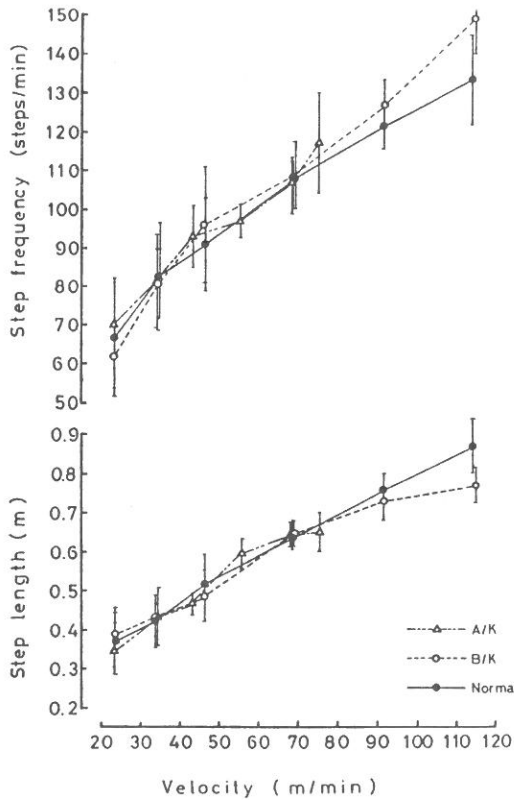


Fig. 3. Step length and frequency during level walking.

でも歩幅と歩数の増加が歩行速度の増加に深い関係をしていることを意味している。そこで、さらに本研究では歩幅と歩数が歩行中の酸素摂取量にどのような影響を及ぼしているかを検討した。

図4は、歩幅と歩数との関係をそれぞれ三群の全被検者について示したものである。図にみられるように両者の間に密接な相関関係がみとめられ、さらに三群ともに同様の回帰直線式が得られた。(AK群:  $r = 0.580$ ,  $P < 0.01$ ,  $Y = 0.0038X + 0.1709$ , BK群:  $r = 0.659$ ,  $P < 0.001$ ,  $Y = 0.0034X + 0.2219$ , Normal群:  $r = 0.698$ ,  $P < 0.01$ ,  $Y = 0.0055X + 0.0462$ )。

図5は、歩行中の酸素摂取量と心拍数との関係を三群の全被検者について示したものである。三群ともに両者の間に密接な相関関係がみとめられた(AK群:  $r = 0.693$ ,  $P < 0.01$ , BK群:  $r = 0.925$ ,  $P < 0.01$ , Normaru群:  $r = 0.558$ ,  $P < 0.01$ )。また両者の間に得られた回帰直線式は、三群ともにほぼ同様なものであった(AK群:  $Y = 0.012X - 0.430$ , BK群:  $Y = 0.017X - 0.950$ , Normal群:  $Y = 0.009X - 0.093$ )。

図6は走行中の酸素摂取量と歩幅との関係を三群の全被検者について示したものである。三群ともに、両者の間に密接な相関関係が得られた。(AK群:  $r = 0.680$ ,  $P < 0.01$ , BK群:  $r = 0.783$ ,  $P < 0.001$ , Normal群:  $r = 0.840$ ,  $P < 0.001$ )。しかし、Normal

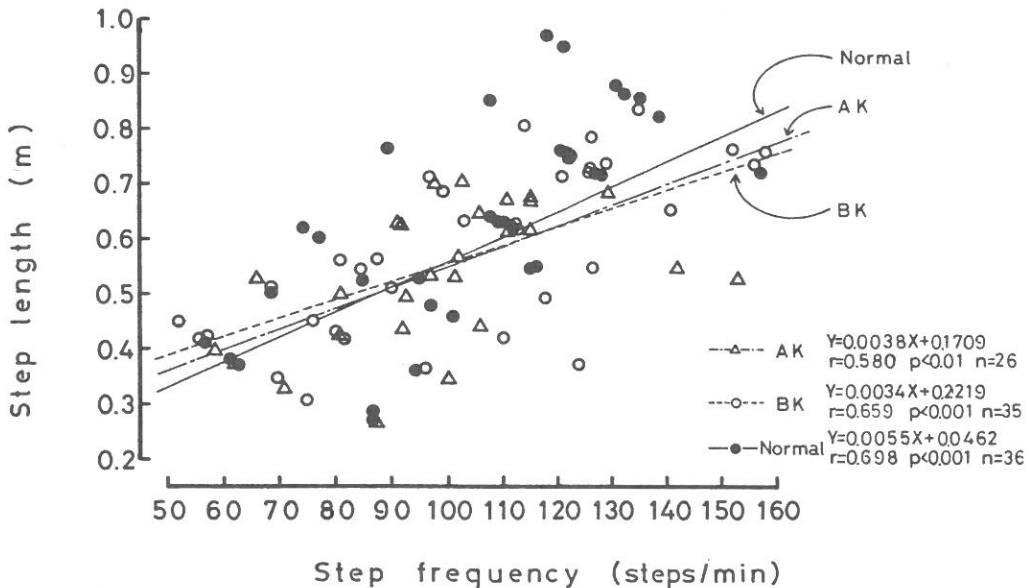


Fig. 4. Relationship between step frequency and step length during level walking.

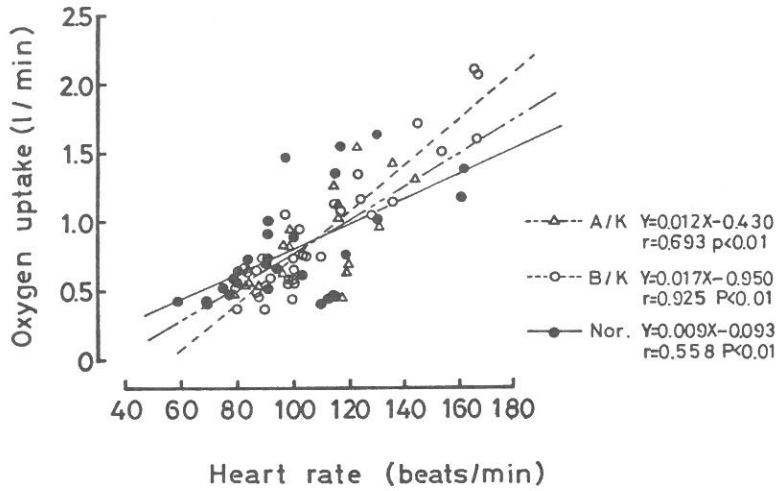


Fig 5. Relationship between heart rate and oxygen uptake during level walking.

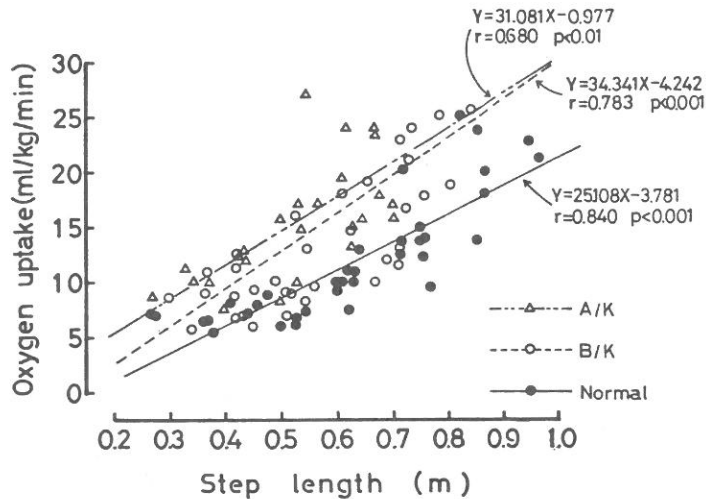


Fig. 6. Relationship between step length and oxygen uptake during level walking.

群の得られた回帰直線式 ( $Y = 25.108X - 3.781$ ) に比較して AK 群 ( $Y = 31.081X - 0.977$ ) と BK 群 ( $Y = 34.341X - 4.242$ ) の回帰直線式がほぼ同じ傾向を示した。

図 7 は、歩行中の酸素摂取量と歩数との関係を三群それぞれの全被検者について示したものである。三群ともに両者の間に密接な相関関係が得られた。(AK 群:  $r = 0.862$ ,  $P < 0.001$ , BK 群:  $r = 0.782$ ,  $P < 0.001$ , Normal 群:  $r = 0.766$ ,  $P < 0.001$ )。しかし、normal 群の得られた回帰直線式 ( $Y = 0.168X - 5.545$ )

と BK 群 ( $Y = 0.159X - 3.402$ ) の回帰直線式がほぼ同じ傾向を示したのに対して AK 群の回帰直線式 ( $Y = 0.240X - 7.764$ ) は異なった。

図 8 は、歩行中の酸素摂取量と歩行速度との関係を三群別に全被検者の平均値と標準偏差値とで示したのもある。歩行中の酸素摂取量は、歩行速度の増加にもなって増加する傾向がそれぞれの群にみられた。また、酸素摂取量の増加傾向は、Normal 群、BK 群、AK 群、順に高い増加変動を示した。さらに、歩行速度が高くなるにもなって三群間に明らかな差がみられた。

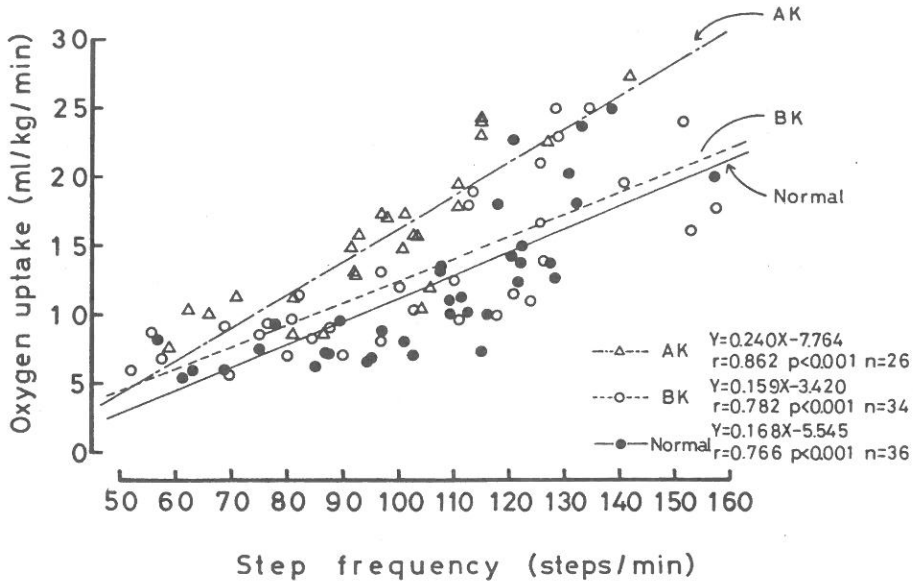


Fig 7. Relationship between step frequency and oxygen uptake during level walking.

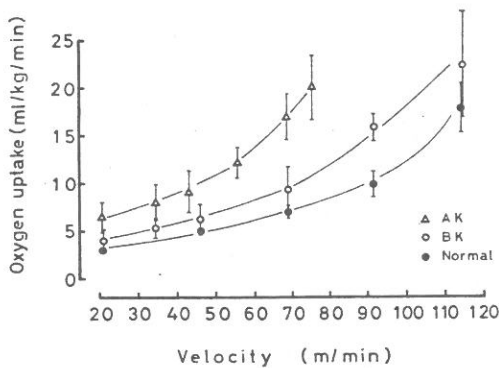


Fig 8. Correlation between change in velocity and oxygen uptake during level walking.

### 論 議

大腿切断者 (AK群), 下腿切断者 (BK群), 正常人 (Normal群) の歩行運動で歩幅と歩数は, 歩行速度の増加にともなって直線的に増加した。小祝<sup>20)</sup>らは, 歩行速度を増加させると歩幅が増大するとともに1歩時間の短縮, つまり, 歩数がある一定速度に到達するまで増加することを報告している。本研究においても歩行速度が毎分70mぐらゐまでに同様の傾向がみられた。しかし, それ以後は, 歩幅の減少にともない歩数の増加の変化がみられた。

Murray<sup>14)</sup>によると正常人で毎分170歩の歩行の時に歩幅が減少することを報告しているが, 本研究の大

腿切断者の歩行中のそれは, 毎分110歩ぐらゐにあたる。

AK群, BK群が義足歩行にもかかわらず歩幅と歩数との間にNormal群とともに高い正の相関関係が得られ, 両者の回帰直線式がほぼ同様であった。このことは, 義足歩行においても歩行中の歩幅と歩数との増加関係が正常人と同じであることを意味している。

一方, 三群のそれぞれの歩行中の酸素摂取量と歩幅との間に正の相関関係が得られ, 両者間の関係の回帰直線式は, AK群, BK群がほぼ同じの傾向であったのに対してNormal群は異ったものであった。

また, 酸素摂取量と歩数との間においても三群ともに正の高い相関関係が得られたが, 歩幅の場合と反対に両者間の関係の回帰直線は, BK群とNormal群とがほぼ同じであったのに対してAK群は異っていた。

これらのことからAK群の歩行中においては歩数と歩幅との増加が, BK群は歩数の増加が正常人に比較して多くの酸素消費量を必要としていると思われる。

正常人の歩行中のエネルギー消費量は, 歩行速度の増加により増加することが<sup>20)</sup>知られている。同様に下肢切断者の義足歩行中のエネルギー消費量も歩行速度の増加により増加するが, しかし, 義足の適合の程度や歩行周期が延長, 健側に比較して患側の立脚相が短かいことなどから走行中のエネルギー消費量が高くなるという報告<sup>4) 5)</sup>もある。Traugh<sup>21)</sup>は, 大腿切断者の歩行中における酸素摂取量がNormal群に比較しておよそ67%高いことを, Corcoran<sup>4)</sup>は, 10~15%

の増加を報告している。本研究においても、それぞれの群の歩行中の酸素摂取量は、速度の増加にともなって増加する傾向がみられ、また三群間に差がみられた。中でも Normal 群、BK 群、AK 群の順に切断部位が高く、義足が長くなる群において、歩行中の酸素摂取量が増加する傾向がみられた。

以上のことから、このように本研究での三群間に差がみられたのは、大腿切断部が高位な義足装着での歩行になるほど、速度増加のための歩幅や歩数を獲得するために脚の振出し、身体の安定性のために多くの動作を必要とし、さらに義足の適合度とも重なりあって酸素消費量が増加したものと推測される。

### ま と め

大腿切断者 5 名 (AK 群)、下腿切断者 6 名 (BK 群)、正常人 7 名 (Normal 群) の成人男子を被検者に 5 分間

の歩行をおこなわせた結果以下のようなことが明らかになった。

1. AK 群、BK 群、Normal 群ともに歩行中の歩幅と歩数との間に有意な相関関係が得られた。
2. 三群ともに、歩行中の酸素摂取量と歩幅との間に有意な相関関係が得られ、Normal 群に比較して、AK 群、BK 群の両者間の回帰直線式は同じ傾向であった。
3. 三群ともに、歩行中の酸素摂取量と歩数との間に有意な相関関係が得られた。AK 群に比較して、BK 群の Normal 群の両者間の回帰直線式は同じ傾向であった。
4. 歩行中の酸素摂取量は、歩行速度の増加とともに増加した。増加変動は、Normal 群、BK 群、AK 群の順に高くなり速度が増加するにともなってその差が明らかになった。

### 参 考 文 献

- 1) Åstrand, P.O and Rodahl, K.: Textbook of work physiology. McGraw-Hill: New York, 539-558, 1970.
- 2) 浅見俊雄他, 石井喜八, 宮下充正, 浅見高明, 小林寛道: 身体運動学概論, 大修館書店: 東京, 31-149, 1976.
- 3) Bard G., Ralston H.J.: Measurement of energy expenditure during ambulation with special reference to evaluation of assistive devices. Aech Phys. Med. Rehabil. 40: 415-420, 1959.
- 4) Corcoran P.J.: Energy expenditure during ambulation. Physiological basis of rehabilitation medicine, ed. by J.A. Downey and A.C. Darling, Saunders: Philadelphia, 185-198, 1971.
- 5) Fisher S.V., Gullickson G.: Energy cost of ambulation in health and disability: a literature review. Arch. Phys. Med. Rehabil. 59: 124-132, 1978.
- 6) Gonzalez E.G., Corcoran P.J. and Reyes R.L.: Energy expenditure in below-knee amputees: correlatin with stump length. Arch. Phys. Med. Rehabil. 55: 111-119, 1974.
- 7) Hermansen L. and B.Saitin: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. J. Appl. Physiol. 26: 31-37, 1969.
- 8) 平上二九三, 永富史子, 土肥信之, 平田敏彦: 下肢切断者の歩行速度とエネルギー消費量との関係, 日本義足装具学会誌, 1: 65-71, 1985.
- 9) James U. and Öberg. K.: Prostheti gait pattern in unilateral aboveknee ampatees. Scand. J. Rehabil. Med.5: 35-50, 1973.
- 10) 加賀谷滌彦: 経済速度及び境界速度歩行の心拍数と酸素摂取量, 日本体育学会第 26 回大会号: 295, 1975。
- 11) Leavitt L.A., Peterson C.R., Ganzoneri J.Paz.P. and Muolenberg A.: Quantitative method to measure the relationship between prosthetic gait and forces produced at stump-socket in terface. Am. J. Phy. Med.49: 192-203, 1970.
- 12) Margaria R., Cerrelli R., Aghemo P. and Sassi G.: Energy cost of running. J. Appl. Physiol. 18: 367, 1963.
- 13) 宮下充正: 歩行研究の概略, 体育の科学, 15: 264-273, 1965.
- 14) Muller E.A.Hettinger T.: Effect of the speed of gait on the energy transformation in walking with

- artificial legs. *Germ. Zschr. Orthp.* 83 : 620-627, 1953.
- 15) Murray M.P., Kory R.G., Clarkson B.H. and Speic S.B. : Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *Am.J. Phys. Med.* 45 : 7-24, 1966.
  - 16) 中村隆一, 齊藤 宏 : 臨床運動学, 医歯薬出版 : 東京, 155-186, 1979.
  - 17) 小笠原道生 : 周速度の歩行と走行に於ける酸素需要量に於いて, *体育研究* 2 : 1, 1934.
  - 18) 奥山美佐雄 : 無負荷歩行時のガス代謝, *労働科学研究*, 10 : 162-179, 1933.
  - 19) 奥山美佐雄 : 無負荷歩行時の瓦斯代謝, *労働科学研究*, 10 : 159, 1933.
  - 20) 小祝逸男 : 正常成人の各種歩行および駆足のバゾグラム, *日整会誌*, 35 : 142, 1961.
  - 21) Traugh G.H.P., J. Corcoran and R.L. Reyes : Energy expenditure of ambulation in patients with above knee amputees. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 56 : 67-71, 1975.
  - 22) Vokac Z.H., Bell E., Bautz-Holter and K. Rodahi : Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.* 39(1) : 54-59, 1975.
  - 23) Waters R.I., Perry J., Antonelli D. and Hishop H. : Energy cost of amputees : influence of level of amputation. *J. Bone Joint Surg (Am)*. 58 : 42-46, 1976.

昭和62年12月21日受理