

斜面歩行における 1 Cycle の時間因子の研究

岡山大学医学部整形外科学教室 (主任：田辺剛造教授)
(指導：武智秀夫助教授)

高 橋 洋

(昭和58年10月8日受稿)

Key words: time factor, level walking,
slope walking

緒 言

人間の正常歩行に関しては、すでに多くの研究がされている。成人の平地歩行については、Murray¹⁾, Inman²⁾, 織田³⁾, 池田⁴⁾などにより、また幼児歩行については、中村⁵⁾, 鶴見⁶⁾などにより研究されている。

しかし、成人の斜面歩行を研究した報告は、著者の渉猟した限りでは、Man と Inman⁷⁾による足部の Intrinsic muscle の筋電図的研究のみであった。

斜面歩行では、平地歩行に比して膝、足関節に変化がみられるのは、坂道を歩く時によく経験されることであり、立脚期の各時期がどのように変化するかは興味あるところである。

著者は、フットスイッチを使用して、平地歩行と斜面歩行の立脚期、二重支持期、立脚期の各時期の時間を、健康な成人8人について測定し、その統計的処理を行ない、比較検討したので報告する。

研 究 方 法

1. 研究対象

研究対象は、健康な成人男子8人である。8人の身長は164 cm から172 cm (168.0 ± 3.3 cm, 平均値 $\pm$ SD), 体重は51 kg から78 kg (67.9 ± 9.6 kg), 年齢は24才から34才 (29.8 ± 3.6 才) である。各人には、関節の運動範囲、筋力、下肢長などくに異常は認めていない。

2. 測定装置

立脚期の各時期を測定するために、三栄測器株式会社に依頼して作製したフットスイッチを

表 1.

	スイッチA	スイッチB
踵 接 地	ON	(-)
足底接地—立脚中期	(+)	ON
踵 ば な れ	OFF	(+)
つまさきばなれ	(-)	OFF

(+) スイッチ通電中

(-) スイッチ絶縁中

使用した。スイッチは、負荷がかかると通電し、負荷が除かれると絶縁される性質を持つ導電ゴムを、ステンレス製の金網で上下よりはさみ、全体をビニールで被覆し、リード線がついている。スイッチは、両鞋底の第1中足骨骨頭部と踵部に絆創膏で固定され、リード線で送信機につながれている。靴は市販の布製、ゴム底を使用した。このスイッチを使用することにより、踵接地、足底接地—立脚中期、踵ばなれ、つまさきばなれをとらえることができる。すなわち、踵部につけたスイッチをA、第1中足骨骨頭部につけたスイッチをBとすると、表1のようになる。スイッチによりえられた情報は、三栄測器製の多用途テレメータ272形で受信して、三栄測器製のレクチホリー8K 24-2-Lで記録した。紙送り速度は50 cm/sec とした。

3. 測定法

実験は、被験者にスイッチを装着した靴をはかせて、平地および3°, 6°, 9°, 12°の斜面を昇降させた。斜面台は、片側をジャッキで角度の変換ができるように作製した。斜面は長さ400 cm, 幅90 cm, 厚さ11 cm の木製の板に、滑り止めとしてゴム板を張った。歩行は各自の普

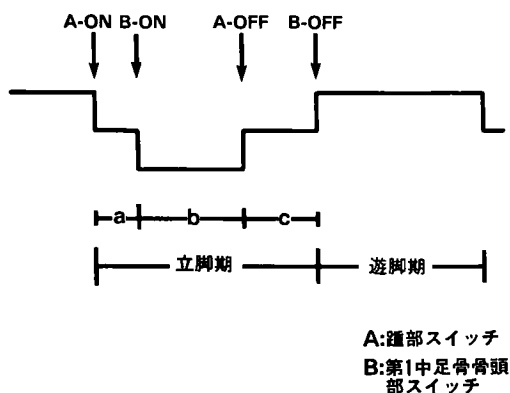


図1. 歩行の1 Cycle

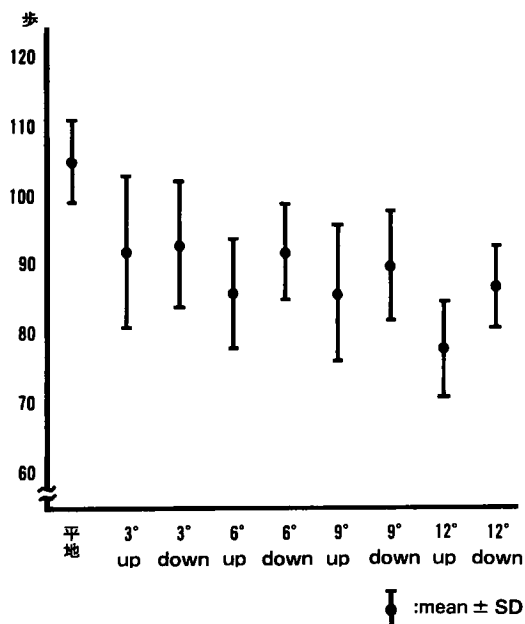


図2. 1分間の歩数

通歩行速度で数回繰り返しておこなった。靴底に装着したフットスイッチで立脚期、遊脚期、二重支持期を測定した。また、立脚期においては図1のように、踵接地から足底接地まで（以下立脚期aとする。）、足底接地から踵ばなれまで一立脚中期（以下立脚期bとする。）、踵ばなれからつまさきばなれまで（以下立脚期cとする。）の3時期を測定した。

4. 測定値の処理

フットスイッチでえられた測定値から、8人の被験者それぞれについて代表的と思われる10

Cycleをえらびだした。この10 Cycleについて、立脚期、遊脚期、二重支持期、立脚期a、立脚期b、立脚期c、1 Cycleの時間を算出した。1分間の歩数は60秒を1 Cycleの時間で割り、2を乗じて算出した。各時期の時間の比率を比較するため、それぞれを1 Cycleに対する百分率(%)に換算した。8人の被験者それぞれについて、測定された各時期の比率の平均値を求めた。つぎに、平地、3°、6°、9°、12°斜面昇降の平均値の有意差検定をおこなった。検定はt検定法 ($p < 0.05$, $p < 0.01$) をもちいた。

結 果

1. 1分間の歩数

被験者8人の1分間の歩数の平均値は図2に示す。斜面上昇、下降ともに、斜面傾斜が増加するにつれて歩数の減少がみられる。

2. 立脚期と遊脚期

8人の立脚期、遊脚期の平均値は図3に示す。平地歩行の平均値は、立脚期が $57.1 \pm 2.5\%$ 、遊脚期が $42.9 \pm 2.5\%$ であった。平均値の有意差検定は表2である。立脚期をみると $p < 0.05$ では、平地と3°下降、6°昇降、9°昇降、12°上昇の間に有意差があり、平地よりも立脚期が長く

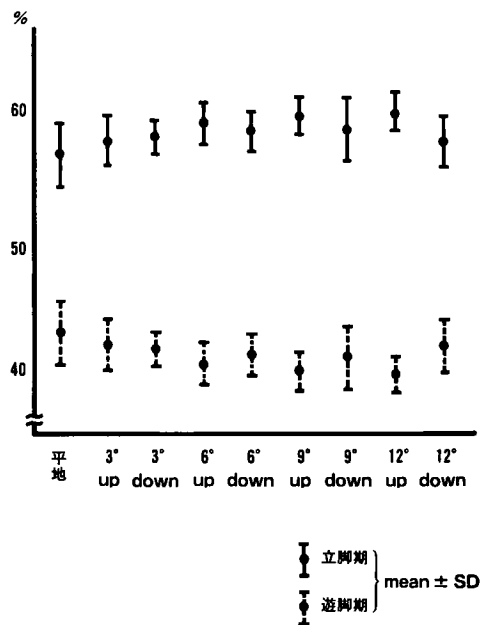


図3. 立脚期と遊脚期の百分比

表 2. 立脚期の有意差検定

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
		+	+	+	+	+	+		平地
			+		+		+		3°up
					+		+		3°down
									6°up
					+		+		6°down
								+	9°up
									9°down
								+	12°up
									12°down

p<0.01
*短縮

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
			+	+	+	+	+		平地
					+		+		3°up
					+		+		3°down
									6°up
									6°down
									9°up
									9°down
									12°up
									12°down

p<0.01
*短縮

表 3. 二重支持期の有意差検定

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
	+		+		+		+		平地
					+		+		3°up
					+		+		3°down
									6°up
					+		+		6°down
									9°up
									9°down
								+	12°up
									12°down

p<0.05
*短縮

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
			+		+		+		平地
							+		3°up
									3°down
									6°up
					+		+		6°down
									9°up
									9°down
								+	12°up
									12°down

p<0.01
*短縮

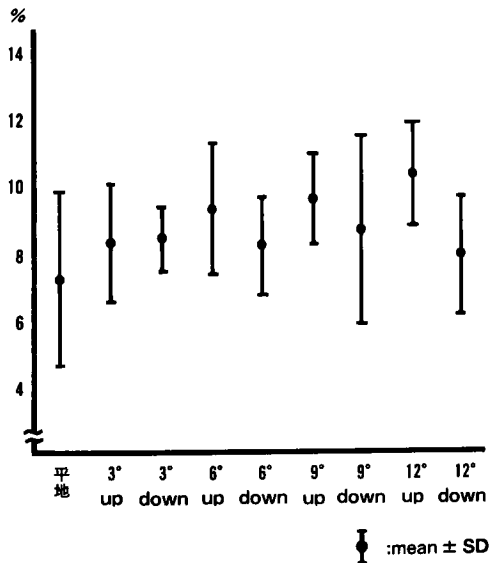


図 4. 二重支持期の 1 Cycle に対する百分比

になっている。また、3°上昇と6°上昇、9°上昇、12°上昇の間、3°下降と9°上昇、12°上昇の間、6°下降と9°上昇、12°上昇の間にも有意差があり、斜面傾斜が増加すると立脚期の延長がみられる。これに反して、9°上昇と12°下降、12°上昇と12°下降の間にも有意差がみられるが、この場合は12°下降の方が立脚期は短縮している。

p<0.01では、平地と6°昇降、9°昇降、12°上昇の間、3°上昇と9°上昇、12°上昇の間、3°下降と9°上昇、12°上昇の間に有意差がみられ、斜面傾斜の大きい方が立脚期が延長している。

遊脚期は立脚期とまったく逆の間係を示す。

3. 二重支持期

8人の二重支持期の平均値は図4に示す。平地歩行の平均値は、7.2±2.6%であった。平均値の有意差検定は表3である。p<0.05では、平地と3°上昇、6°上昇、9°上昇、12°上昇の間に有意差があり、平地よりも延長している。また、3°上昇と9°上昇、12°上昇の間、3°下降と9°上昇、12°上昇の間、6°下降と9°上昇、12°上昇の間にも有意差があり、斜面傾斜が増加する

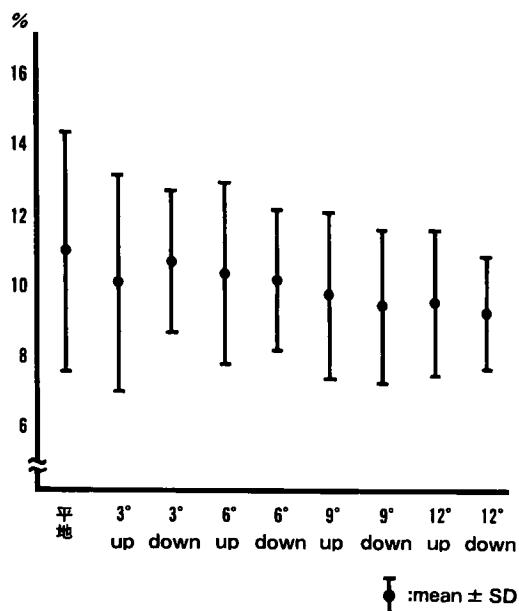


図5. 立脚期 a の 1 Cycle に対する百分比

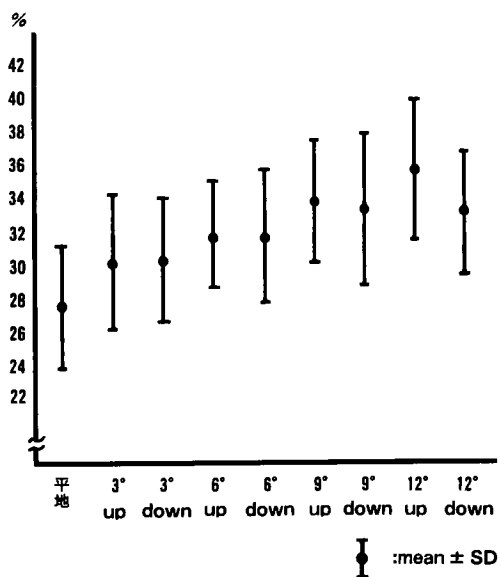


図6. 立脚期 b の 1 Cycle に対する百分比

と長くなっている。また、12°上昇と12°下降の間にも有意差がみられるが、この場合下降する方に短縮があった。

$p < 0.01$ では、平地と6°上昇、9°上昇、12°上昇の間、3°上昇と12°上昇の間、6°下降と9°上昇、12°上昇の間、12°上昇と12°下降の間に有

表4. 立脚期 b の有意差検定

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
+	+								平地
				+	+	+	+	+	3°up
							+		3°down
					+	+	+	+	6°up
							+		6°down
								+	9°up
							+		9°down
								+	12°up
									12°down

$p < 0.05$
*短縮

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
+			+	+	+	+	+	+	平地
									3°up
									3°down
							+		6°up
									6°down
							+		9°up
									9°down
								+	12°up
									12°down

$p < 0.01$
*短縮

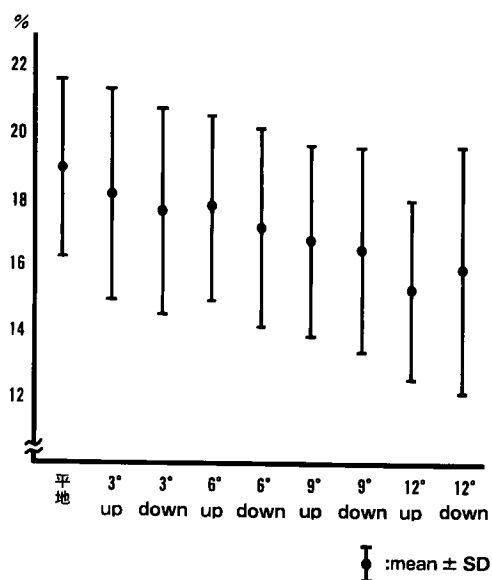


図7. 立脚期 c の 1 Cycle に対する百分比

意差がみられた。

4. 立脚期 a

8人の立脚期 a の平均値は図5に示す。平地

歩行の平均値は $10.8 \pm 3.4\%$ であった。有意差はまったく認められなかった。

5. 立脚期 b

8 人の立脚期 b の平均値は図 6 に示す。平地歩行の平均値は $27.4 \pm 3.7\%$ であった。平均値の有意差検定は表 4 である。p<0.05では、平地と 3°昇降、6°昇降、9°昇降、12°昇降の間に有意差があり、平地よりも延長している。また、3°上昇と 6°下降、9°昇降、12°昇降の間、3°下降と 12°上昇の間、6°上昇と 9°昇降、12°昇降の間、6°下降と 12°上昇の間、9°上昇と 12°上昇の間、9°下降と 12°上昇の間にも有意差があり、斜面傾斜が増加すると長くなっている。また、12°上昇と 12°下降の間にも有意差があるが、この場合 12°下降の方に短縮がみられる。

p<0.01では、平地と 3°上昇、6°昇降、9°昇降、12°昇降の間、6°上昇と 12°上昇の間、9°上昇と 12°上昇の間、12°上昇と 12°下降の間にも有意差がみられた。

6. 立脚期 c

表 5. 立脚期 c の有意差検定

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
				+	+	+	+	+	平地
							+		3°up
									3°down
							+		6°up
									6°down
									9°up
									9°down
									12°up
									12°down

p<0.05
*短縮

平地	3°up	3°down	6°up	6°down	9°up	9°down	12°up	12°down	
									平地
									3°up
									3°down
							+		6°up
									6°down
									9°up
									9°down
									12°up
									12°down

p<0.01
*短縮

8 人の立脚期 c の平均値は図 7 に示す。平地歩行の平均値は $18.9 \pm 2.7\%$ であった。平均値の有意差検定は表 5 である。p<0.05では、平地と 6°下降、9°昇降、12°昇降の間に有意差があり、平地よりも短縮している。また、3°上昇と 12°上昇、6°上昇と 12°上昇の間にも有意差があり、斜面傾斜の大きい方が短くなっている。

p<0.01では、6°上昇と 12°上昇の間に有意差があった。

考 察

人間の歩行は、多くの人々により研究されてきた。19世紀前半までは、観察を主体とする定性的なものであったが、19世紀後半から20世紀前半にかけて、光学的手法、電気的手法の利用により、歩行の定量化がおこなわれるようになった。さらに、20世紀後半からは、電子工学の発達普及により、総合的な歩行分析ができるようになってきた。

土屋⁸⁾は、現在までの歩行の分析にもちいられた基本的手法を、つぎの 4 種類に分類している。

1. 運動学的分析手法

歩行にともなう、四肢各部の関節が時間的にどのように屈曲し、偏位するかを記録し、分析するものである。

2. 力学的分析手法

歩行運動の原因である人体の内力または外部反力を測定し、分析するものである。

3. 代謝分析手法

歩行によるエネルギー消費を調べるもので、主として歩行効率を調べる目的で行なわれる。

4. 数学モデル的分析手法

人体構造を模する数学的、機械的なモデルを作り、このモデルについて運動方程式をたて、人体内部に働く力とモーメントを計算するものである。

本研究は、上記のうちの運動学的分析手法に属し、立脚期の時間因子を研究したものである。

正常平地歩行の歩行速度を変えることによって、1 Cycle 中の時間因子、すなわち立脚期、遊脚期、二重支持期が占める時間の比率が変化することについては、多くの報告がある。しか

し、平地歩行と斜面歩行を比較研究したものは、著者の渉猟した限りでは、Man と Inman⁵⁾による足部の Intrinsic muscle の筋電図の研究がみられるだけであった。また、平地歩行でも、立脚期中の各時期について研究したものや、統計的处理をしたものは少なかった。本研究では、フットスイッチをもちいることにより、簡単に立脚期の各時期の区分と、各時期の占める時間の測定が可能であった。

つぎに、測定された実験結果について考察を加えてみる。

歩行速度は、本実験では平地歩行が105歩/分であった。正常人の平地歩行速度について、Murray¹⁾は111~122歩/分、Inman²⁾は100~120歩/分、織田³⁾は84~116歩/分と報告している。本実験の平地歩行速度はこの範囲に含まれている。また、結果にみられるように、斜面歩行では平地歩行よりも速度が遅くなっている。被験者間で、同一斜面上での歩行速度にはかなりのバラツキがあるが、ほとんどの例で上昇下降ともに、斜面傾斜が増加するにつれて速度が遅くなる。同じ傾斜の上昇下降間では、下降よりも上昇の方が速度が遅くなっている。

上昇歩行の際は、重力に抗して体を運ばなければならないため、また下降歩行の際は、重力による加速の制動をしなければならないためと推察される。

立脚期と遊脚期の比率は、平地歩行では立脚期が57.1%、遊脚期が42.9%であった。

Murray¹⁾は117歩/分で立脚期61%、遊脚期39%と、池田⁴⁾は96歩/分で立脚期59.5%、遊脚期40.5%と報告している。本実験の測定値は、立脚期の比率が若干小さく、遊脚期の比率が若干大きいようである。しかし、二重支持期も含めてこれらの比率は、被験者の人種、年齢、性別、身長、体重などの因子や、歩行面の状態とその長さ、靴装着の有無、装着していればその種類、測定方法などにより影響されると考えられる。

平地歩行と斜面歩行での立脚期の比率を、危険率1%で有意差検定をした。平地と6°昇降、9°昇降、12°上昇の間に有意差があり、斜面歩行に立脚期の延長が認められた。

平地歩行と異なり、斜面歩行の立脚中期には、

距腿関節が上昇時には背屈位、下降時には膝を屈曲してやはり背屈位をとっている。そして、背屈位で距骨下関節も含めて、側方動揺性を抑制する必要がある。この側方動揺性を抑制するために、平地歩行よりも立脚期の時間が延長すると考えられる。

平地と3°昇降間には有意差がなく、この程度の傾斜では平地歩行と大きな差がないのであろう。

平地と12°下降の間にも有意差がない。12°下降はかなりの急斜面のため、足底接地をつづけるために膝関節を大きく屈曲する必要がある。このことにより、体重負荷線が早く足関節を通過し、中足骨骨頭に移動する。したがって、12°以下の斜面よりも踵ばなれが早くおこる。以上の理由により、立脚期の比率に変化を生じて、平地と12°下降の間には差がなくなると考えられる。

二重支持期の比率は、平地歩行では7.2%であった。Murray¹⁾は116歩/分で11%、池田⁴⁾は96歩/分で9.3%と報告している。他の報告に比べると、その比率は小さいが、織田³⁾の5~15%という報告もある。

平地歩行と斜面歩行での二重支持期の比率を、危険率1%で有意差検定をした。平地と6°上昇、9°上昇、12°上昇の間に有意差がみられ、平地よりも延長していた。これは、斜面歩行のときには重心の安定を確実にするためと推察される。

立脚期の各時期はフットスイッチにより、立脚期 a, b, c に区分できる。平地歩行での比率は、立脚期 a が10.8%、b が27.4%、c が18.9%であった。池田⁴⁾は a が8.1%、b が29.0%、c が22.4%と、織田³⁾は a が9.6%、b が27.9%、c が22.6%と報告している。

平地歩行と斜面歩行での立脚期 a, b, c の比率をみると、立脚期 b は危険率1%で3°上昇、6°昇降、9°昇降、12°昇降に延長がみられた。斜面歩行では、立脚期に距腿関節の側方動揺性を安定させるため、足底全体で接地している時期、つまり立脚期 b が延長すると考えられる。

立脚期 c は危険率5%でみると、6°下降、9°昇降、12°昇降に短縮がみられた。立脚期 c はふみきりの時間を示したものであるが、この

結果にみるように、立脚期 b ほど著明な有意差はないが、傾斜が増加すると短縮する傾向があるといえよう。

一般に傾斜が増加するにつれてふみきり時間が短縮するのは、ふみきりの際に距腿関節は底屈位をとり、不安定になっている時間をできるだけ短くしようとしているためではないだろうか。

鶴見⁷⁾は幼児歩行の研究を行っているが、それによると成人歩行に比し、3才以下では立脚期が延長すること、7才までは立脚期 c が短縮することを示している。そして、その理由として、幼児では片脚立脚の不安定性、足底部の推進力の弱いことをあげている。

鶴見の幼児歩行の研究と、著者の成人斜面歩行の研究を比較すると、時間因子は同様の現象を示し、成人斜面歩行は幼児歩行と類似している。その原因として、立脚期の距腿関節の側方動揺性を抑制するため、ふみきりの際に距腿関節が底屈位をとり不安定になっている状態を早く解除しようとするためと考えられる。

結 論

1. 斜面における正常歩行の時間因子を検索する目的で、健康な成人男子 8 人に、フットス

イッチを装着した靴をはかせて、平地と 3°, 6°, 9°, 12° の斜面を昇降させた。

2. 1 分間の歩数は、斜面傾斜が増加するにつれ歩数の減少がみられた。同一傾斜での上昇・下降間では、上昇歩行の方が速度が遅かった。

3. 立脚期は、6°昇降、9°昇降、12°上昇で平地よりも延長していた。

4. 二重支持期は、6°上昇、9°上昇、12°上昇で平地よりも延長していた。

5. 立脚中期は、3°上昇、6°昇降、9°昇降、12°昇降で平地よりも延長していた。

6. 平地歩行に比して、斜面歩行の立脚期、二重支持期、立脚中期に延長がみられるのは、重心の安定性を確実にするためと、距腿関節の側方動揺性によると考えられた。

7. 成人斜面歩行は、歩行に習熟するまでの幼児歩行と近似していると考えられた。

稿を終わるにあたり、ご校閲賜った岡山大学整形外科田辺剛造教授にこころから感謝いたします。また本研究を直接ご指導いただいた岡山大学整形外科武智秀夫助教授に深謝いたします。さらに研究にあたり、種々ご助言頂いた岡山大学理学療法部長島弘明講師に感謝します。

文 献

1. Murray, M.P., Drought, A. B. and Kory, R.C.: Walking pattern of normal man *J. Bone Joint Surg.* **46-A**, 335—360, 1964.
2. Inman, V.T., Ralston, H.J. and Todd, F.: *Human Walking*, Williams & Wilkins, Baltimore/London, 1981.
3. 織田良之祐：正常成人の自由歩行におけるバゾグラム。日整会誌, **32**, 442—482, 1958.
4. 池田 正夫：バゾグラムと筋電図の同期的記録による正常人自由歩行の研究。日整会誌, **46**, 323—338, 1972.
5. Man, R. and Inman, V.T.: Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. *J. Bone Joint Surg.* **46-A**, 469—481, 1964.
6. 中村 八郎：正常小児歩行におけるバゾグラム。日整会誌, **34**, 47—66, 1960.
7. 鶴見 信之：小児歩行の筋電図学的研究。日整会誌, **43**, 611—628, 1969.
8. 土屋 和夫：歩行分析(1)。総合リハビリテーション, **5**, 57—60, 1977.

**Study of the time factor during one cycle
of the gait on the slope**

Hiroshi TAKAHASHI

The Department of Orthopedic Surgery,

Okayama University Medical School

(Director : Prof. G. Tanabe)

Time factors of walking on level ground and slopes of 3, 6, 9 and 12 degrees were studied in eight normal adult men using foot switches. The greater the inclination of the slope, the less the cadence became. On the same slope, the downslope cadence was greater than the upslope cadence. The stance phase was longer when walking upslope (6, 9 and 12 degrees) and downslope (6 and 9 degrees) than when walking level. The double stance phase was longer when walking upslope (6, 9 and 12 degrees) than when walking level. Mid-stance was longer when walking upslope (3, 6, 9 and 12 degrees) and downslope (6, 9 and 12 degrees) than when walking level. The prolongation of the stance phase, double stance phase and mid-stance in slope walking compared with level walking was considered to be due to the instability of the center of gravity of the body and of the talo-crural and subtalar joints during slope walking. The time factors in normal adult slope walking is considered to be similar to those of children who have not yet acquired the adult walking pattern.