

傾斜角度の異なる歩行運動における呼吸・循環機能変化について

Change of respiratory and circulatory function on slope walking

山本 忠志*
Tadashi YAMAMOTO

The following physical phenomenon in the body was found in consequence when people walk at regular speed and at the ten different degrees of slopes for 15 minutes.

Walking at the more degrees of the uphill slope involved functionally promoting the more circulation and respiration and increasing the more energy consumption. The upward tendency of the functions was in direct proportion to how many degrees of the slope.

In the meantime walking at the less degrees of the downhill slope involved declining the less respiration and energy consumption, but the decline of circulation was not observed.

It was also observed that walking at the uphill involves the bigger change in the functions of the body and the less change at the downhill.

キーワード：歩行運動、呼吸機能、循環機能、エネルギー代謝

Key words : slope walking, respiratory function, circulatory function, energy metabolism

1. 緒言

人間の身体運動機能のなかで歩行行動が極めて重要な位置を占めていることは言うまでもない。もしも人が歩行能力を喪失するか、著しく低下した場合には、移動能力が極度に制限される。その結果として日常生活に及ぼす影響は計り知れないものがある。人間の祖先が、進化の過程で直立歩行に移行して以後、人間の生息圏は次第に拡張し続けた。この人間の基本の運動形態として誕生した直立歩行または、二足歩行の運動は人間が誕生してほぼ1年で行われる。この運動は全身の筋肉の50%以上を使う全身運動としてあげられる。特に最近ではジョギングに代わってウォーキングと呼ばれる速歩歩行が体力の維持増進にいいという事で、多くの人が実施している。ところが、日本の地形はアップダウンが多いのが特徴である。そこで、その傾斜をうまく利用すべきであると思う。最近では、このような坂道や階段を利用したの「スローピング」¹⁾と呼ばれている歩行運動が実施されてきている。

ところで、平地における速度変化などによる生体への影響について観察した報告^{2, 3, 4)}は多いが、傾斜角度の違いについての生体への影響の違いを観察した報告は少ない。そこで、様々な傾斜角度での歩行運動が、生体の呼吸機能や循環機能にどのような変化を起こすのかを測定することによって、傾斜角度による呼吸・循環機能への影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

本研究の被験者は、表1に示すように、20~38歳の兵庫教育大学の学部生ならびに院生の健康な成人男子である。中に、BMI26以上の軽度の肥満傾向の被験者が2名存在する。

(2) 実験方法

実験は人工気象室内で行い、温度20℃、湿度50%の環境条件のもとで実施した。運動負荷は人工気象室内に設置されたトレッドミルを使用し、実験にあたり歩行の速度はすべて一定とし、その速度は、一般健康成人の経済

表1 被験者の身体特性

Sub.	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	BMI
Y.O	20	180	65	20
M.H	20	172	70	24
K.K	21	167	67	24
Y.I	32	169	68	24
T.F	34	184	79	23
O.S	23	173	74	25
T.M	32	173	70	23
R.Y	35	156	46	19
S.D	34	169	75	26
T.Y	38	163	78	29
平均	28.9	170.6	69.2	23.8
標準偏差	7.05	7.96	9.39	2.91

* 兵庫教育大学第5部 (生活・健康系教育講座)

速度であると報告されている70m/min⁵⁾に設定した。そして傾斜角度はまず最初に0度の平地歩行から開始し、1.5度、3度、6度、9度、12度、15度の6種類の登り歩行、さらに、-1.5度、-3度、-5度の3種類の降り歩行の傾斜角度の異なる計10種類の歩行を実施した。運動負荷実験は、被験者に1分間の安静状態を持続させた後、15分間の歩行運動を実施させた。数回の歩行練習を行い普段の歩行に近づけた後、それぞれの歩行を各被験者とも1週間以上の間隔をあけて行った。

呼吸機能の測定には、一呼吸毎に測定されるブレス・バイ・ブレスの呼吸機能測定装置（ミナト社製・レスピロモニターRM-200）を用いた。歩行運動中の呼気の分析は、換気量、酸素摂取量、炭酸ガス排泄量を1分毎に算出した。また、心電図の記録にはテレメーター心電計（フクダ社製・カーディオケアユニECU-10）を用い全実験中の心電図撮影を実施した。心拍数は送信機により送信された心拍動を受信機で心電図として記録し、R波高の測定より1分毎の算出を行った。また、30秒間隔でST分画の変化を測定した。さらに、酸素摂取量と呼吸商よりエネルギー消費量を1分毎に算出⁶⁾した。

3. 結果および考察

10種類の各種傾斜角度歩行を行ったが、軽度肥満傾向の2名については+15度の15分間の運動継続が不可能となり、途中で中止せざるを得なかった。このことから、普段から運動をしていないことが形態的变化に影響し、強度の運動を継続できない状態にしていることの伺える結果であった。

(1) 呼吸機能について

(a) 換気量について

運動中の1分当たりの量についてそれぞれの傾斜角度毎に被験者全員の平均と標準偏差ならびに最小と最大値を示したのが表2である。表に示すように、角度が増加するに伴って換気量も増加する事が認められた。ところが、降り歩行よりも登り歩行の方がその変化は大きく認

表2 各種傾斜角歩行時における換気量 (l/min)

傾斜角度(°)	平均値±標準偏差	最小値	最大値
-5	18.7±4.2	13.9	25.0
-3	19.2±4.5	14.9	26.4
-1.5	20.8±4.9	16.2	28.7
0	22.3±3.7	18.7	28.9
1.5	25.6±4.5	20.5	33.6
3	29.7±5.0	23.2	39.0
6	38.6±6.6	29.3	50.7
9	49.3±10.7	34.8	68.2
12	67.1±9.5	53.6	81.8
15	80.4±15.4	68.0	109.2

められた。特に、9度から12度での変化が最も大きく認められた。すなわち、この角度変化によって生体への負担が最も強く感じられる角度であることが示唆された。

(b) 酸素摂取量と炭酸ガス排泄量について

運動中の1分当たりの量についてそれぞれの傾斜角度毎に被験者全員の平均と標準偏差ならびに最小と最大値を示したのが表3、4である。表に示すように、角度が増加するに伴ってそれぞれの量も増加する事が認められた。換気量と同様に降り歩行よりも登り歩行の方がその変化は大きく認められた。特に、3度から6度、6度から9度での変化が最も大きく認められた。すなわち、この角度変化によって生体への負担が最も強く感じられる角度であることが示唆された。

また、両者の関係からみても、3度での酸素摂取量と炭酸ガス排泄量を比較してみると、ほぼ同程度の量であることが認められる。すなわち、生体の中で運動時のエネルギー供給系が脂肪燃焼による有酸素な状態が崩れ、糖の燃焼による無酸素的な状態での運動に移行している⁷⁾ことが考えられる。すなわち、この角度での運動が生体への負担度を強く感じる角度であることが示唆された。しかし、それ以降の角度では有酸素な状態での運動に移行していた。ところが、15度では3度の時よりも

表3 各種傾斜角歩行時における酸素摂取量 (ml/min)

傾斜角度(°)	平均値±標準偏差	最小値	最大値
-5	573±97	410	689
-3	647±108	425	775
-1.5	708±122	495	880
0	809±135	587	1020
1.5	914±125	646	1080
3	1035±155	749	1163
6	1555±241	1027	1797
9	2046±399	1305	2729
12	2446±376	1559	2821
15	2705±535	1685	3248

表4 各種傾斜角歩行時における炭酸ガス排泄量 (ml/min)

傾斜角度(°)	平均値±標準偏差	最小値	最大値
-5	535±77	410	658
-3	564±82	440	695
-1.5	640±85	495	785
0	724±92	551	853
1.5	870±110	646	1080
3	1030±166	740	1270
6	1436±204	1043	1689
9	1909±377	1341	2545
12	2353±311	1699	2681
15	2794±536	1912	3600

明らかに酸素摂取量よりも炭酸ガス排泄量が多くなっている事がみられる。この角度ではほとんどの被験者が有酸素ではなく、糖質を利用しての無酸素的な運動遂行であることが考えられる。

(2) 循環機能について

(a) 心拍数について

運動中の1分当たりの心拍数についてそれぞれの傾斜角度毎に被験者全員の平均と標準偏差ならびに最小と最大値を示したのが表5である。表に示すように、角度が0度からプラス方向に増加するに伴って心拍数が増加することが認められた。ところがマイナス方向の降り歩行においては、平地歩行に比べてほとんど変化なく推移していることが認められた。すなわち、降り歩行では循環機能については平地と同様の生体負担であることがわかった。一方登り歩行では6度から9度での変化が最も大きく示された。すなわち、この角度変化によって生体への負担が最も強く感じられる角度であることが示唆された。

(b) ST分画について

運動中のST分画をみると、STがマイナスになるST低下の出現は傾斜角6度に軽度認められ、傾斜角9度以上の歩行では傾斜角の増大につれてさらにST下降は増強する。また、歩行運動中の30秒毎の推移をみると、ほとんどの運動において下降する傾向が認められる。特に傾斜角9度以上では、歩行開始からその下降傾向は強く、どの被験者も運動開始5分程度でマイナスの出現が認められた。すなわち、ほとんどの被験者が心筋への酸素不足を示す虚血状態である⁸⁾ことが示唆された。

表5 各種傾斜角歩行時における心拍数 (beats/min)

傾斜角度(°)	平均値±標準偏差	最小値	最大値
-5	82±12	67	104
-3	84±13	69	106
-1.5	85±13	72	109
0	88±15	70	120
1.5	93±14	79	120
3	104±12	89	123
6	118±12	102	133
9	141±16	118	163
12	158±12	143	174
15	173±6	162	183

(3) エネルギー消費量について

呼吸商が1.0で酸素1lを消費するためのエネルギーは5kcalである。このことから、それぞれの運動中エネルギー消費量から1分間当たりの量について、それぞれの傾斜角度毎に被験者全員の平均と標準偏差ならびに最小

と最大値を示したのが表6である。表に示すように、角度が増加するに伴ってエネルギー消費量も増加する事が認められた。エネルギー消費量については0度からマイナス3度、0度からプラス3度においては軽度な変化を示していた。しかし、3度から6度での変化は大きくなり、約2倍の変化量となった。それ以後の角度変化も同様な変化であった。すなわち、平地をはさむ軽度の上り下りの状態では同様なエネルギー消費量の変化である事が示唆された。ところが、3度以上の傾斜角度をもつ坂道の登りでは、生体への負担が強く感じられる角度であることが示唆された。

表6 各種傾斜角歩行時におけるエネルギー消費量 (Cal/min)

傾斜角度(°)	平均値±標準偏差	最小値	最大値
-5	2.8±0.4	2.1	3.3
-3	3.1±0.5	2.1	3.7
-1.5	3.5±0.6	2.2	3.8
0	4.3±0.7	2.9	5.1
1.5	5.1±0.7	4.0	5.9
3	5.4±0.5	4.9	6.3
6	7.6±1.2	5.2	8.8
9	9.8±1.6	6.5	11.5
12	12.0±1.8	7.6	13.1
15	13.8±2.7	8.5	16.1

4. まとめ

各種傾斜角度の歩行を速度を一定にして15分間歩いた時の呼吸機能としての換気量、酸素摂取量、炭酸ガス排泄量、循環機能として心拍数、ST分画、さらに、酸素摂取量からエネルギー消費量を測定したところ、次の事が明らかになった。

(1) 呼吸機能については、傾斜角度の変化に伴って機能亢進が認められた。特に、降りよりも登りにその変化は大きく認められた。また、その変化は測定項目によって異なり、換気量では登りの角度の増加に伴って数値が増加し、特に9度から12度の変化が最も大きくなった。酸素摂取量と炭酸ガス排泄量では3度から6度、6度から9度での変化が他の角度変化に比べて大きいことが認められた。

(2) 心拍数については、登りの角度変化に伴って増加するが、降りの角度変化においては平地とほとんど変化が認められなかった。また、登りの変化では6度から9度での変化が最も大きく認められた。

(3) エネルギー消費量については、角度の増加に伴ってエネルギー消費量が増加する事が認められた。平地歩行の0度と降り歩行の-3度、登り歩行の+3度の変化量は同様な数値を示していた。しかし、+3度から6度での変化は大きくなり、約2倍の変化量となった。また、

それ以上の角度変化においても同様な変化が認められた。

以上の結果から、登り歩行では傾斜角度が3度より大きくなるにしたがって、呼吸、循環機能の亢進とともにエネルギー消費量が大きくなることがわかった。

文献

- 1) 奈良岡治成 (2002) スローピング完全入門、宝島新社新書。
- 2) 小笠原道生 (1934) 同速度の歩行と走行における酸素需要量について、体育研究2 (3) : 215-230.
- 3) 奥山美佐雄 (1933) 無負荷歩行時の瓦斯代謝、労働科学研究、10 : 156-179.
- 4) Rassmore,R.and Durnin, J.V.G.A. (1955) Human energy expenditure. *Physiological Reviews* 35 : 801-840.
- 5) Kagaya,H. (1985) The comparative study on walking ability in Canadian and Japanese. 埼玉大学紀要教育学部 (教育科学) (Ⅲ) 34 : 35-39.
- 6) Bobbert,A.C. (1956) : Energy expenditure in level and grade walking. *J.Appl.Physiol.* 15:1015-1021.
- 7) 中野昭一編 (1982) 図説・運動の仕組みと応用、医歯薬出版K K.
- 8) 村山正博他 (1987) 心電図の読み方、スポーツのための心電図メディカルチェック、文光堂、3-21.