

エネルギー消費量からみた車いすの運動

平田 敏彦, 平上 二九三※

研究方法

1. 被検者

被検者は19～30才の健康な男子4名である。いずれの被検者もリハビリテーション学院の学生で、車いすの運動に馴れている者である。被検者の年齢、身長、体重と最大心拍数および最大酸素摂取量を表1に示した。

2. 実験手順

各被検者は1週82.7 mのカーペット床面の屋内コースを用いて、10分間の車いす運動をおこなった。車いすの速度は毎分60 m, 80 m, 100 m, 120 mの速度を表示した。各被検者にはコース内側の速度光マーカーに合わせてできる限り同速度で車いすをおこなうように指示した。

実際の速度は走行距離と運動時間とから求めた。運動中の心拍数は胸部双極誘導法により、携帯用デジタル心拍メモリー(Vine社製)を用いて記録した後、マイクロコンピュータ(PC 8000, PC 8801)で導出して毎分の値を求めた。

車いす運動中の酸素摂取量は携帯用酸素消費量計(Morgan社製)を用いて毎分の値を求めた(図1)。各速度の運動中の心拍数と酸素摂取量の値は運動開始5～10分間の測定値を平均して求めた。

日常生活で車いすを利用している人々の多くは脊椎損傷、頸髄損傷、ポリオ等の種々の原因によって歩行が不可能になった場合が多い。こういった身体障害者は身体の移動が車いすという条件から行動が制限されるために、特に、健常者に比較すると運動量が少なくなることが予想される。

一般的に運動中の酸素摂取量は身体の移動速度、移動時間、作業姿勢によって増加することが知られている。しかし、生体が効果的に運動を持続するためには、運動負荷とそれにあつたところのエネルギー消費がなされなければならない。

人の歩行の至適速度は歩行中の速度とエネルギー消費量との関係から多くの研究がなされている。しかし、身体障害者の歩行、つまり車いす運動中のエネルギー消費量の面からの研究報告はあまりみられない。

本研究は車いす運動中の走行速度と酸素摂取量との関係を検討するとともに、エネルギー消費量の面から至適速度をとらえることと、車いすでの生活をする人々の運動処方やリハビリテーション指導の資料を得ることを目的とした。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

Subj	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Resting	
				HR (beats/min)	B.P (mmHg)
MIY	19	165	70	70	130-70
OGU	19	166	63	63	118-66
FUJ	20	173	55	55	124-86
FAL	22	166	64	64	114-60
Mean	20	167.5	63	68	121.5 70.5
S.D	1.2	3.2	2.4	2.4	6.1 9.6

※ 川崎医科大学附属病院リハビリテーション科

実験はそれぞれの被検者について2日間に分けて実施した。同日の試験は10分以上の休息をとりながらおこない疲労が残らないように注意した。実験に用いた車いすはすべてスポーツタイプのものであった。



Fig 1. Application of Oxygen consumption meter for measuring aerobic energy output during wheelchair exercise.

研究結果

図2は代表的な被検者1名の車いす運動中の心拍数、換気量、酸素摂取量の変化を各速度別に示したものである。心拍数、換気量、酸素摂取量は運動開始後それぞれ増加する傾向を示した。どの測定値もそれぞれの速度において、運動開始3~4分後にほぼ一定の状態に達した。さらに、それぞれの変化は速度が高い方が高い変動を示した。

表2は車いす運動中の速度、心拍数、換気量、酸素摂取量、Metsの測定結果を被検者別に示した。いずれの値も運動開始後の5~10分間の値を平均したものである。すべての被検者において、速度の高くなるとそれぞれの値も高い傾向を示した。

図3は車いす運動中の速度と心拍数との関係を4名の被検者それぞれの変化で示したものである。運動中の心拍数は速度の増加にともなって、すべての被検者が、ほぼ直線的に増加する傾向を示した。全被検者について両者の関係に有意に高い相関関係が得られた。

同様に車いすの速度と酸素摂取量との関係を図4に示した。全ての被検者の酸素摂取量は速度の増加にと

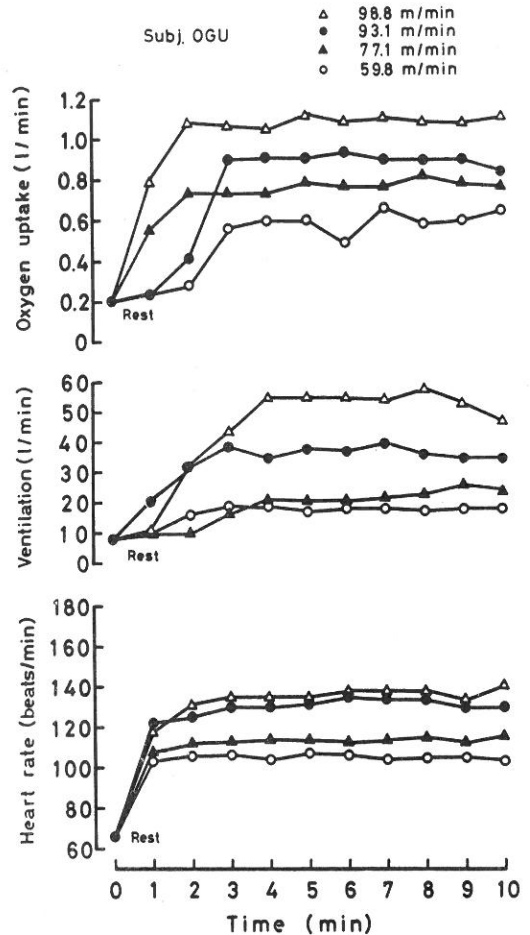


Fig 2. Cardiopulmonary responses to exercise time.

もなって、直線的に増加する傾向を示した。

全被検者について両者の関係に有意に高い相関関係が得られた。

図5は車いす運動中の心拍数と酸素摂取量との関係を示した。全ての被検者において、酸素摂取量は心拍数の増加にともなって直線的に増加する傾向を示し、両者の関係に有意に高い相関関係が得られた。

図6は車いす運動中の速度と $m \cdot$ 体重当りの酸素摂取量との関係を示したものである。 $m \cdot$ 体重当りの酸素摂取量は速度の増加にともなって減少する傾向を示し、ほぼ80 m/分の速度から、反対に増加する傾向を示した。酸素摂取量が最も低い傾向を示したのは75 m/分~85 m/分位であると思われる。

同様に、図7はMetsと車いす運動速度との関係を全被検者について示したものである。車いす運動中のMetsは全ての被検者において、速度の増加にともなって曲線的増加傾向がみられた。また、90 m/分の歩

Table 2. Mean for physiological variable during wheelchain propulsion

	Velocity (m/min)	HR (beats/min)	VE (l/min)	VO ₂			Mets
				l/min	l/kg/min	l/m/kg	
MIY	59.8	87.6	20.5	0.74	10.6	0.177	3.0
	78.0	105.0	26.9	0.97	13.8	0.177	3.9
	107.0	126.0	53.3	1.57	22.4	0.209	6.4
	112.5	173.0	—	—	—	—	—
OGU	59.8	104.6	17.9	0.62	9.8	0.164	2.8
	77.1	114.2	24.1	0.81	12.8	0.166	3.7
	93.1	132.8	33.3	0.90	14.3	0.154	4.1
	98.8	137.8	36.8	1.08	17.1	0.173	4.9
FUJ	59.8	93.0	18.7	0.71	10.2	0.171	2.9
	78.3	110.0	20.8	0.89	12.7	0.162	3.6
	98.9	130.0	30.1	1.24	17.8	0.180	5.1
	106.8	140.0	64.6	1.88	26.9	0.252	7.7
FAL	68.0	105.0	19.1	0.69	10.8	0.162	3.1
	77.6	105.0	20.9	0.75	11.7	0.151	3.3
	98.9	120.6	31.7	1.09	17.0	0.172	4.9
	118.5	172.0	64.9	1.62	25.4	0.214	7.3

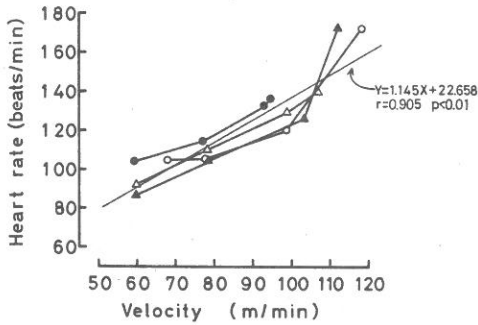


Fig 3. Relation between velocity and heart rate during wheelchain exercise.

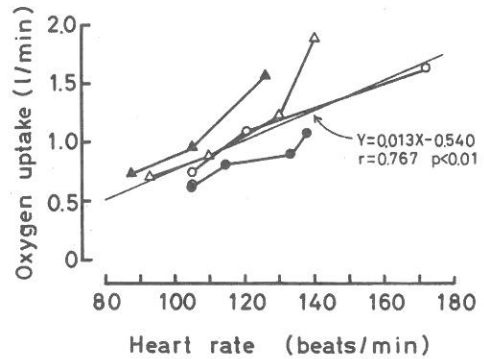


Fig 5. Relation between heart rate and Oxygen uptake during wheelchain exercise.

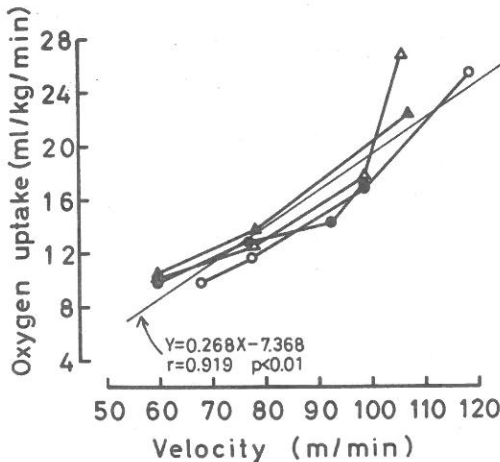


Fig 4. Relation between velocity and Oxygen uptake during wheelchain exercise.

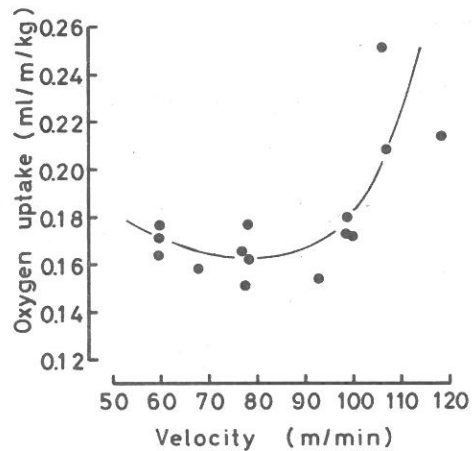


Fig 6. Relation between velocity and Oxygen uptake during wheelchain exercise.

行速度位から全ての被検者の Mets の値は強い増加傾向がみられた。

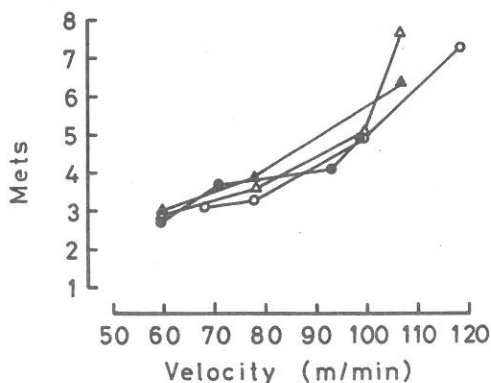


Fig 7. Relation between velocity and Mets during wheelchain and walking.

考 察

4つの異なる速度で車いす運動を4名の被検者を実施した結果、運動中の心拍数も酸素摂取量も車いすの速度の増加にもなって、増加する傾向を示し、それぞれの間に有意な高い相関関係が得られた。車いす運動において、速度の増加にもなって、心拍数の増加がみられることはHirdebrandt⁶⁾達の研究報告にもあるがその傾向は人の歩行に比較すると増加傾向が強いとされている。さらに、平地より斜度がつくにもなって心拍数の増加も高いことが報告されている。

加賀谷¹⁰⁾は、21～24才の男子学生の至適経済歩行速度がほぼ70m/分であり、その時の心拍数はおよそ85拍/分であると報告している。本研究での車いすの相当速度においては、ほぼ102.8拍に相当して、歩行と比較するとやや高いことが考えられる。

また、車いす運動において速度の増加にもなって酸素摂取量が増加することは作業強度という観点からとらえて、両者の間に直線的に増加することの報告^{1), 4), 17)}もみられている。しかし、腕という局所作業と脚や全身の作業とを比較すると明らかに差がみられるという報告^{9), 15), 18)}が多い。特に、人の歩行と比較すると車いす運動中のエネルギー消費は高いという報告^{12), 15)}と対に低いという報告^{1), 6)}がある。^{1), 17)}伊藤らは、⁹⁾自転車エルゴメーターでの腕作業の効率が13%で、脚のみの場合の25%よりはるかに低いことを報告している。車いす運動が単なる腕作業によると考えると、本研究の車いす運動においても、湯浅¹⁸⁾らの指摘のように、比較的少ない腕の筋を主に働かせて運動する形

式のため末梢抵抗や交感神経性血管収縮緊張の高まりで影響をうけていることも考えられる。

正常人の至適経済歩行速度は、60～80m/分の範囲にあるという報告¹⁵⁾が多い。中でも、Corcoran²⁾が83m/分を、加賀谷¹⁰⁾が70m/分を報告している。我々の研究グループも70～90m/分の値を得ている。このような観点から考えてみると、本研究の車いすの場合には、ほぼ80m/分(75～85m/分)前後が最も低い酸素摂取量を示した。従って、この速度が車いす走行の至適経済速度ととらえてよいものと思われる。それは正常人の至適経済歩行速度の範囲に相当する。一方、運動強度と速度との関係を見ると、Metsは速度の増加にもなって曲線的な増加傾向を示し、ほぼ90m/分の歩行速度から強い増加傾向がみられた。Wolfe達¹⁷⁾は正常人での車いす運動で、カーペットの床面でのエネルギー消費がコンクリート床面に比較して37%高いことを報告している。また、Smith達¹⁴⁾はarm crank方式の車いすとhandrim方式の車いすを比較するとarm crank方式の場合に30%高いエネルギー消費をすることを報告している。これらのことは、車いすでの運動が、車いすの形式や走行面の関係も運動中のエネルギー消費に影響を及ぼしていることを示唆するものである。

以上のことから、車いす運動を歩行という観点からとらえてみると、正常人の歩行にはほぼ等しい速度が至適経済速度であった。しかし、車いす運動中のエネルギー消費量は、車いすの形式や床面の状態によって影響をうけていることも考えられ、今後検討しなければならない課題であると思われる。

要 約

健康な男子4名(19～30才)を被検者にして、4つの異なる速度の車いす運動をおこなわした。運動中の心拍数と酸素摂取量から至適速度と速度と運動強度との関係を検討した。

結果を要約すると以下の通りとなる。

1. 車いす運動中の心拍数と酸素摂取量は速度の増加にもなって増加する傾向がみられた。両者の間にはそれぞれ有意な正の直線関係($Y = 1.145x + 22.658$, $r = 0.905$, $p < 0.01$, $Y = 0.268x - 7.368$, $r = 0.919$, $p < 0.01$)が得られた。

2. 車いす運動中の心拍数と酸素摂取量との間には有意な正の直線関係($Y = 0.013x - 0.540$, $r = 0.767$, $p < 0.01$)が得られた。

3. 車いすの至適的経済速度はm当りの酸素摂取量で見るとほぼ80m/分前後に相当する。

4. 車いす運動中の運動強度は速度の増加にともな っ て曲線的に増加する傾向を示した。

参 考 文 献

- 1) Cerny K., R. Waters, H. Hislop, and J. Perry: Walking and Wheelchair energetics in persons with paraplegia, *Physical therapy* 60(9):1133-1139, 1980.
- 2) Corcoran P. J. :Energy expenditure during ambulation, In Downey JA. Darling RD:Physiological basis of rehabilitation medicine. Philadelphia, Saunders:185-198, 1971.
- 3) Dicarlo S. E., M. D. Supp, and H. C. Taylor:Effect of arm ergometry training on physical work capacity of individuals with spinal cord injuries, *Physical therapy* 63(7):1104-1107, 1983.
- 4) Glaser R. M., M. N. Sawka, L. L. Laubach, and A. G. Suryaprasad:Metabolic and cardiopulmonary responses to wheelchair and bicycle ergometry, *J. Appl. Physiol.* 46(6):1066-1070, 1979.
- 5) Hermansen, L., and B. Saltin:Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise, *J. Appl. Physiol* 26:31-37, 1969.
- 6) Hildebrandt G. E. D. Voight, B. Berendes, and J. Kröger:Energy costs of propelling wheelchair at various speeds:cardiac response and effect on steering accuracy, *Archives physical. medicine and Rehabilitation* Mar:131-136, 1970.
- 7) 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, *日本義肢装具学会誌* 1(1):65-71, 1985.
- 8) 芳賀脩光: 車いす運動の運動強度と全身持久性トレーニング効果, *総合リハビリテーション* 11(5):357-361, 1983.
- 9) 伊藤稔, 伊藤一生, 里見仁志, 神山雄一郎: 腕及び脚作業時の作業能と心拍数の変化, 第32回日本体力医学会大会予稿集:105, 1977.
- 10) 加賀谷熙彦: 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) 加賀谷淳子: 心拍数と作業強度, *体育の科学* 26(3):203-208, 1982.
- 12) 小林培男, 福永哲夫: 呼吸循環応答からみた車椅子運動特性——第一報水平運動について——, *日本体育学会第35回大会号*:346, 1984.
- 13) 老月敏彦, 山地啓司, 有沢一男: 心拍数と歩行, 走行スピードからみた運動強度——運動処方の研究として——, *体育の科学* 4:6-12, 1976.
- 14) Smith P. A., R. M. Glaser, J. S. Petrofsky, P. D. Underwood, G. B. Smith, and J. J. Richard:Arm crank vs handrim wheelchair propulsion:Metabolic and cardiopulmonary responses, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 64:249-253, 1983.
- 15) 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.
- 16) Vokac Z, H. Bell, E. Bautz-Holter, and K. Rodahl:Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing, *J. Appl. physiol.* 39(1):54-59, 1975.
- 17) Wolfe G. A., R. Waters, and H. J. Hislop:Influence of floor surface on the energy cost of wheelchair propulsion, *Physical Therapy* 57(9):1022-1027, 1977.
- 18) 湯浅景元, 朝比奈一男, 藤松博, 福永哲夫: 腕および脚作業中の呼吸循環応答, 第32回日本体力医学会大会予稿集:104, 1977.

昭和61年3月31日受理