

# エネルギー消費量からみた車いす運動

— 各種の車いす運動中の走行速度と酸素消費量との関係 —

平 田 敏 彦, \* 平 上 二 九 三

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人々の身体移動は, 車いすがその手段として利用されている。

我々は, 先に, 日常生活における歩行という観点から車いすの運動をとりあげ, スポーツ型の車いす運動中の酸素摂取量は, 走行速度の増加にともなって曲線的に増加する傾向があることを報告した。しかし, 今日, 車いす利用者は, ただ単に日常の歩行に変わるところの身体の移動ということだけでなく, いろいろなスポーツや運動場面にも活動に適した機能をもつ車いすを選択して用いている。

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ることが考えられているが, しかし, 車いすの種類が運動中のエネルギー消費量に及ぼすところの研究はまた十分にされているとはいえない。

本研究の目的は, 標準型とスポーツ型の異なる様式での車いす運動中の走行速度と酸素消費量との関係と比較することと, 車いすの様式が車いす運動中のエネルギー消費量に与える影響を検討することである。

## 研究 方 法

### 1. 被 害 者

被害者は, リハビリテーション学院の学生と教職員で, 20歳~30歳までの健康な男子7名である。いずれの被検者も車いす運動に馴れている者である。被害者の年齢, 身長, 体重, 安静時心拍数を表1に示した。

### 2. 車いすの種類と速度の設定

実験に用いた車いすは, 鉄製標準型(N T - 1), チタン製標準型(N T - 2), バスケットボール用スポーツ型(S T - 1), レース用スポーツ型(S T - 2)の4種類である。それぞれの車いすの規格は, 表2に, デザインは, 図1に示した。

各被検者は, 1周82.7mの平

Table 1. physical characteristics of subjects.

Subj.	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Rest HR (beats/min)
M I Y	20	165	72	70
F U J	21	177	68	68
M U R	21	165	52	60
O K A	23	182	63	72
F R A	23	166	64	68
T A I	29	173	79	72
H I R	30	173	68	68
Mean	23.9	171.6	66.6	68.3
S D	3.7	6.1	6.1	3.8

面コースを有する屋内で, 5分間の走行運動をそれぞれの車いすを用いておこなった。コース床面は, カーペット面であった。

実験での車いすの条件速度は, N T - 1が46m/min, 69m/min, 80m/min, 92m/min, 105m/minの5段階に, N T - 2, S T - 1, S T - 2, 46m/min, 69m/min, 80m/min, 92m/min, 114m/min, 127m/minの6段階に設定した。S T - 2では, さらに, 138m/minの速度条件を加えた。

それぞれの速度は, 走行コースの枠に1m間隔取り付けられている光マーカーで表示した。各被検者には, できる限り光マーカーに合わせて同速度で車いすを動作するように指示した。しかし, 実験結果に用いた車いすの走行速度は5分間に走行した実際の距離から求めた。

Table 2. Wheelchair type using experiment

型 式	特 性	重量(kg)	大車輪径(インチ)
標 準 型	鉄 製(N T - 1)	19	24
	チ タ ン 製(N T - 2)	9	24
ス ポー ツ 型	鉄製・バスケット用(S T - 1)	16	26
	アルミ製・レース用(S T - 2)	8	27

\* 川崎医科大学附属病院 リハビリテーション科



Fig 1. Wheelchair type using experiment (left side: standard type (NT-1), standard type (NT-2), sport type (ST-1), sport type (ST-2))

### 3. 作動回数, 心拍数, 換気量, 酸素摂取量の測定

車いす推進のための作動回数は, 運動開始後, 走行速度が一定の時に10回の作動回数に要する時間から求めた。

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ー (PC 8801) で導出して毎分の値を求めた。

運動中の換気量と酸素消費量は, 携帯用酸素消費量 (Morgan社製) を用いて毎分の値を求めた。(図2)。各速度での換気量と酸素消費量の値は, 運動開始後の3分から5分までの測定値を平均して求めた。

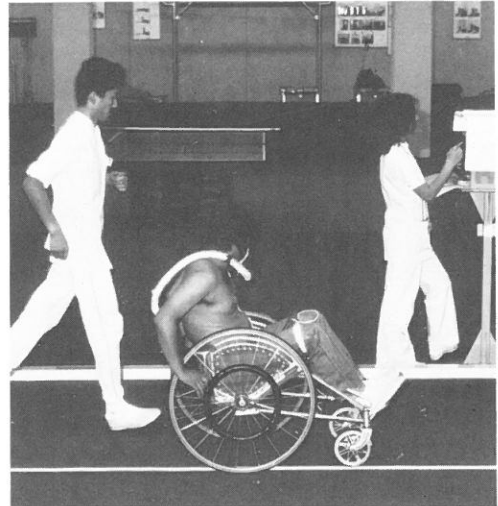


Fig 2. Application of oxygen consumptionmeter for measuring aerobic energy during wheelchair exercise.

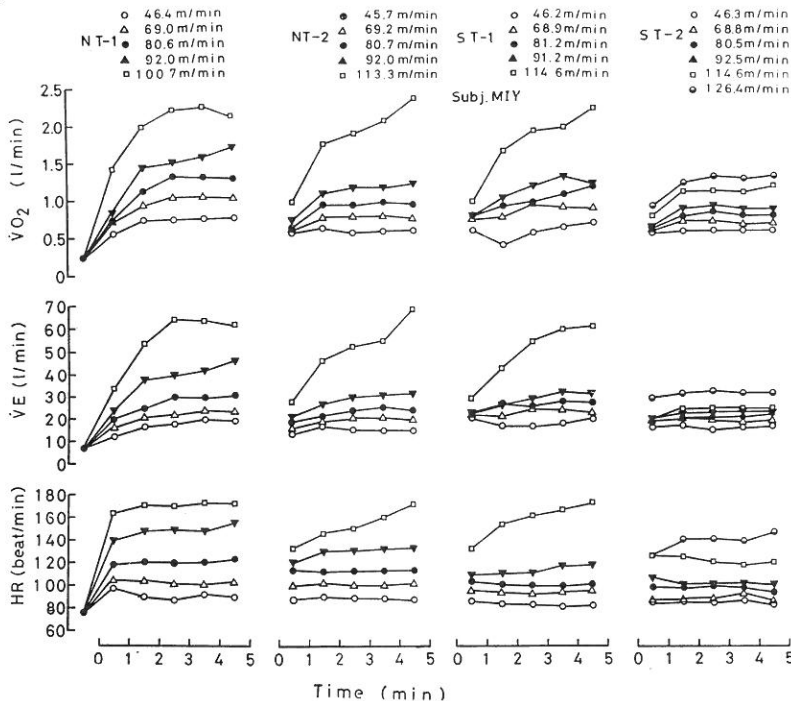


Fig 3. Cardiopulmonary responses to exercise time.

#### 4. その他

実験は、それぞれの被検者について、3日間以上に分けて実施した。また、同日の実験は、実験と実験の間に10分以上の休息をとりながらおこない被労が残らないように注意した。

#### 研究結果

図3は、代表的な被検者MIYの5分間の車いす運動中の心拍数、換気量、酸素消費量の経時的变化を4種類の車いすについて、各速度別に示したものである。

心拍数、換気量、酸素消費量は、どの様式の車いす運動

中においても走行速度の増加にともなって高い変動傾向を示した。また、ST-1やST-2の車いす運動中は、NT-1、やNT-2の車いす運動中に比較して、どの測定値の経時的变化も低い傾向がみられた。

この傾向は、他の被験者においても同様のものであった。

表3は、4種類の車いす運動中の測定結果を全被検者の平均値と標準偏差値とをそれぞれの走行速度別に示したものである。

全ての測定結果値は、それぞれの車いすの種類において、速度が高くなるにともなって高い値を示した。

Table 3. Mean and standard deviation of velocity, frequency, ventilation heart rate and oxygen consumption during wheelchair exercise.

n = 7	Velocity (m/min)	Frequency (f/min)	Ventilation (l/min)	Heart rate (beats/min)	Oxygen consumption (ml/kg/min)
NT-1	46.21±0.15	35.9±11.0	14.1±4.2	81.4±5.5	4.83±1.12
	68.91±0.24	43.1±12.4	20.8±4.0	95.0±9.7	8.65±1.65
	80.63±0.58	46.7±13.2	25.9±5.5	101.6±18.6	11.42±2.17
	91.91±0.59	52.0±15.0	34.1±9.7	128.8±31.7	15.08±3.36
	106.45±6.91	71.0±13.8	55.6±11.6	161.1±14.7	24.88±4.96
NT-2	46.24±0.31	30.8±11.1	12.8±2.7	83.4±20.0	2.86±0.73
	69.03±0.33	37.7±12.3	17.5±3.1	93.3±21.1	5.79±1.34
	80.73±0.27	39.1±14.0	20.9±4.3	101.6±12.2	7.61±1.57
	91.93±0.08	47.5±18.9	26.7±6.0	112.3±11.6	10.91±2.48
	114.36±1.24	65.8±20.7	47.8±15.8	134.7±22.4	19.87±4.87
126.97±1.80	78.5±9.3	53.1±14.6	143.5±17.7	25.69±7.55	
ST-1	46.38±0.53	37.1±11.6	15.4±2.5	86.2±12.1	4.28±1.17
	68.93±0.12	42.7±13.0	21.1±2.3	98.5±9.0	6.75±1.50
	80.80±0.24	45.3±11.1	23.4±4.4	98.9±15.3	9.24±2.09
	94.78±6.74	46.9±14.2	31.6±3.2	122.2±11.0	11.42±1.63
	113.09±3.52	69.4±12.2	46.8±13.4	153.3±20.7	19.24±5.83
127.01±2.15	71.5±26.3	51.0±14.4	149.4±10.9	23.61±8.61	
ST-2	46.10±0.20	35.4±10.7	12.6±2.1	76.8±7.6	2.78±1.08
	68.83±0.12	38.2±6.5	15.0±2.6	82.6±8.7	4.10±1.09
	80.59±0.34	43.1±8.8	16.5±2.5	85.4±9.7	5.12±1.32
	91.76±0.37	44.7±9.8	18.8±3.1	90.2±10.7	6.45±1.63
	114.91±0.16	57.1±6.7	25.1±4.4	100.4±10.4	10.22±1.90
126.49±0.24	60.9±10.1	30.0±5.1	105.8±11.2	12.94±1.27	
138.13±0.27	64.2±7.7	33.6±8.6	119.0±10.0	15.07±3.90	

図4は車いす推進のための作動回数と速度との関係をそれぞれの車いす別に全被検者の平均値で示したものである。

車いすの走行速度は、作動回数の増加にもなって直線的に増加する傾向を示したが、車いすの作動回数がほぼ5回/分以上に増加するにもなってST-2を除いて速度の増加傾向がゆるやかなった。

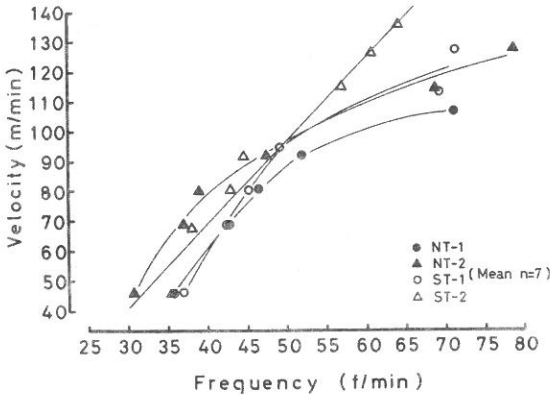


Fig 4. Correlation between in frequency and velocity during wheelchair exercise.

図5は、走行速度と換気量との関係をそれぞれの車いすの種類別に全被検者の平均値と標準偏差値とで示したものである。換気量は、走行速度の増加にもなって曲線的に増加する傾向が全ての車いすにみられた。

中でも、走行速度が80m/分以上において、NT-1の車いすの増加傾向が最も高いのに対して、ST-2の車いすが低い増加傾向を示し換気量の増加に車いすの差がみられた。

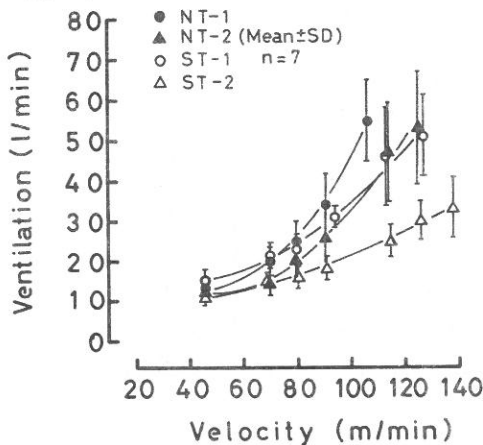


Fig 5. Correlation between changes in velocity and ventilation during wheelchair exercise.

図6は、走行速度と心拍数との関係をそれぞれの車いすの種類別に全被検者の平均値と標準偏差値とで示したものである。心拍数は、走行速度の増加にもなって、曲線的に増加する傾向が全ての車いすにみられた。

ST-2の車いすの増加傾向がゆるやかなのに対して、NT-1、NT-2、ST-1のそれぞれの車いすの増加傾向は著しいものであった。

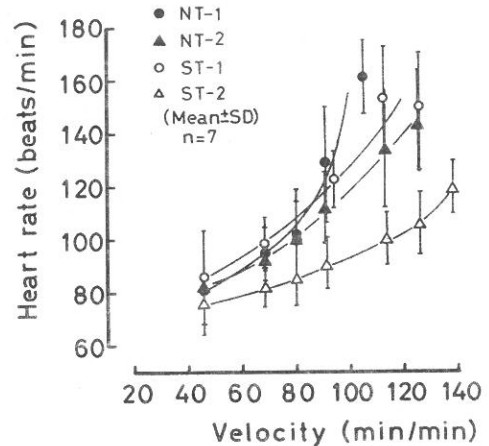


Fig 6. Correlation between changes in velocity and heart rate during wheelchair exercise.

図7は走行速度と酸素消費量との関係をそれぞれの車いすの種類別に全被検者の平均値と標準偏差値とで示したものである。酸素消費量は、走行速度の増加にもなって、曲線的に増加する傾向が全ての車いすにみられた。酸素消費量の増加傾向は、ST-2、ST-1、NT-2、NT-1の車いすの順であったが、NT-2の車いすとST-1の車いすのそれは、ほぼ同じであった。

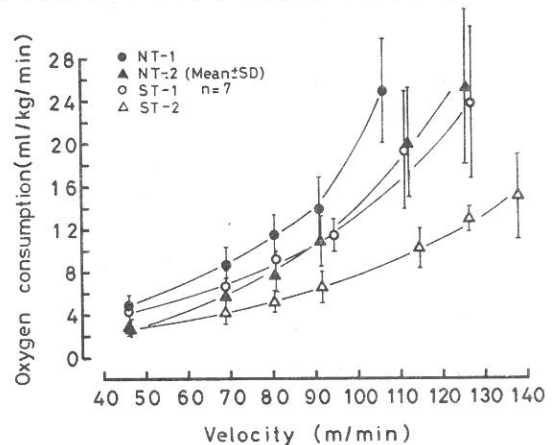


Fig 7. Correlation between changes in velocity and oxygen uptake during wheelchair exercise.

図8は、走行速度とエネルギー消費量との関係をそれぞれの車いすの種類別に全被検者の平均値と標準偏差値とで示したものです。

車いす走行時のエネルギー消費量は、走行速度の増加ともなって、増加する傾向が全ての車いすにみられた。エネルギー消費量の増加傾向は、ST-2、NT-2、ST-1、NT-1、の車いすの順であった。ST-2の車いすのエネルギー消費量は、ほぼ5.5km/時以上の走行速度においてゆるやかな増加がみられたが、他の車いすにおいては、著しい増加傾向であった。

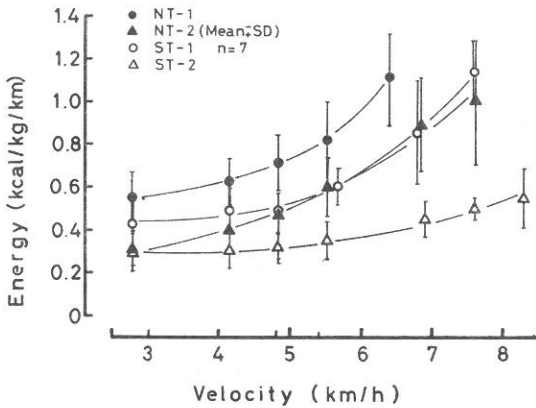


Fig 8. Correlation between changes in velocity and energy during wheelchair exercise.

### 考 察

人の歩行や走行中の速度は、ある一定速度までにおいて、歩幅と歩数の増加によることが知られている。

本研究に用いた車いすの車輪径は、NT-1、NT-2のそれぞれの車いすが24インチで、ST-1、ST-2のそれぞれの車いすが26インチと27インチであったにもかかわらず、全ての車いすの場合に、車いすの走行速度は、作動回数の増加ともなって同様に増大した。しかし、ほぼ100m/分の速度以後においては、車いすによって増加傾向に差がみられた。その速度にあたるどころの作動回数は、およそ毎分50回位であった。

このことは、当然ながら車いすの走行速度増加が作動回数の増加によっていることを意味している反面、車いすの種類によっては、最大作動回数が毎分間当り50回位が限度のようにも思われる。

Hirdebrant 達<sup>6)</sup>は、11歳~20歳の30名の患者を対象して、特別製のトレッドシム上での車いす運動において、走行速度の増加ともなって心拍数や酸素摂取量が増加することを報告している。

本研究の結果においても、全ての車いすにおいて、心拍数、酸素摂取量は走行速度の増加ともなって増加する傾向を示した。しかし、それぞれの車いすの傾向を比較すると、NT-1の車いすのその増加傾向は、他の車3種類のいすに比べて明らかに高い増加傾向を示した。反対に、ST-2の車いすの増加傾向は、他の車いすに比べて最も低い増加傾向を示し、車いすの種類によって走行中の酸素摂取量の増加傾向に差がみられた。

Hirdebrant 達<sup>6)</sup>の報告では、車いすの車軸が後方にある方が、前方に位置する車いすに比較して、運動中の作動回数、心拍数、エネルギー消費量が低くなるとしている。

Wolfe 達<sup>18)</sup>は、コンクリートの床面での車いす走行に比較して、カーペットの床面での走行の方がエネルギー消費量が高くなることを報告している。

しかし、本研究に用いた車いすの全種類の車軸は、被保険者の肩甲骨下より後方に位置していることと、どの種類の車いす運動もカーペットの平面床で実施されたことから、これらの影響をうけていないと思われる。

一方、本研究に用いた車いすの重量は、NT-1、NT-2、ST-1、ST-2それぞれの車いすが19kg、9kg、16kg、8kgであったが、NT-2とST-1のそれぞれの車いす運動中の換気量、心拍数、酸素摂取量は、走行速度の増加ともなって、同様の増加傾向を示した。つまり、このことは、車いすの重量が運動中の呼吸循環応答に大きな影響を及ぼしていないことを意味していると思われる。

ST-2の車いすでは、作動回数と走行速度との間に有意な直線関係が得られ、作動回数の増加ともなって速度増加がみられた。しかし、エネルギー消費量は、他の車いすの運動中に比較して、走行速度の増加に対して著しい増加傾向がみられなかった。この理由の一つとしては、車いすの車軸位置と身体重心との位置が近く、前屈後傾位の作業姿勢がとれ上腕の動きが、他の車いすの姿勢に比較して良くなったものと思われる。

湯浅ら<sup>19)</sup>の指摘のように、この作業姿勢では、上肢運動であるが、末梢血管抵抗や交感神経性血管収縮緊張の高まりが低くなり、腕作業の効率が高まったことの影響かもしれない。

### 要 約

健康な男子7名(20歳~30歳)を被検者として、4種類の異なる車いすを用いて運動を実施した。運動中の心拍数、酸素消費量を測定し、次の結果を得た。

1. 全ての種類の車いす運動中の走行速度は、作動回

数の増加にともなって増加する傾向がみられた。

られる。

2. 全ての種類の車いす運動中の心拍数、酸素消費量は、走行速度の増加にともなって増加する傾向がみられた。

3. 車いす運動中のエネルギー消費量は、車いすの車軸と身体との位置との関係に影響をうけていることが考え

## 謝 辞

本研究は、昭和61年度文部省科学研究費補助金及び岡山県立短期大学調査研究費助成でおこなわれたものです。

## 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) Dicaro 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. Kroger: 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) 平田敏彦, 平上二九三: エネルギー消費量からみた車いすの運動, *岡山県立短期大学紀要*第30号: 57-61, 1986.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 加賀谷潤彦: 経路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.
- 12) 加賀谷淳子: 心拍数と作業強度, *体育の科学* 26 (3) : 203-208, 1982.
- 13) 小林倍男, 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*: 346, 1984.
- 14) 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速度 — 運動処方研究として —, *体育の科学* 4 : 6 : 12, 1976.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 湯原景元, 朝比奈一夫, 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 11 月 29 日受理