

エネルギー消費量からみた車椅子運動 (3) — 脊髄損傷者と頸髄損傷者について —

平田敏彦・永富史子*

脊髄損傷者は、車椅子を駆動することによって身体の移動をおこなっている。また、その身体活動能力は脊髄の損傷レベルに依存している。

我々はこれまでに異なる速度における車椅子運動中の酸素摂取量と心拍数との関係から速度の増加のともなって酸素摂取量の増加がみられ、また、脊髄損傷レベルによって身体の活動量に差がみられることを報告した¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。これは脊髄損傷のレベルが高くなる者ほど高い強度での維持的な運動は実施が困難であることを意味している。

しかし、脊損者においても健常者と同様に健康的な生活を送るため、全身持久力を高め体力の維持向上を図ることは重要である。

本研究の目的は、脊損者の車椅子運動中の酸素摂取量と心拍数の関係および日常生活活動中の心拍数から、全身持久力向上の運動実施の可能性について検討することである。

研究 方 法

1. 被検者

被検者は、年齢20歳～37歳の胸腰椎移行部の完全損傷男性対麻痺者（脊髄損傷レベル：Th10～L2）6名と頸髄完全損傷の四肢麻痺男性（脊髄損傷レベル：C6B2）1名および女性（脊髄損傷レベル：C7A9）1名である。

また、被検者の年齢、身長、体重、を表1に示した。

2. 運動負荷

各被検者は日常生活で常用している車椅子を用いて、

1周82.7mの平面コースを有する屋内の施設で5分間の車椅子走行をおこなった。走行速度は男性対麻痺者が45m/min, 68m/min, 92m/min, 115m/min, 138m/minの5段階に、男性の頸髄完全損傷（以下、男性頸損者）が25m/min, 35m/min, 45m/min, 60m/min, 70m/min, 80m/minの6段階に、女性の頸髄完全損傷（以下、女性頸損者）が25m/min, 37m/min, 45m/min, 48m/min, の4段階に設定した。それぞれの速度は、走行コースの内側枠に1m間隔にとりつけられている光りマーカーで表示した。各被検者にはできる限り光りマーカーに合せて、同速度で車椅子を作動するように指示した。実験結果に用いた車椅子の走行速度は、5分間に走行した実際の距離から求めた。

3. 作動回数、心拍数、換気量、酸素摂取量の測定

車椅子の作動回数は運動開始後走行速度が一定になったの時、10回の作動回数に要する時間から求めた。走行中心拍数は胸部双極誘導法により携帯用デジタル心拍数メモリー（Vine社製）を用い記録した後、マイクロコンピュータ（PC9801）で導出して毎分の値を求めた。

運動中の換気量と酸素摂取量は、携帯用酸素消費量計（Morgan社製）を用いて毎分の値を求めた。各速度での換気量と酸素摂取量の値は、運動開始後の3分から5分までの間の測定値を平均して求めた。各車椅子速度での実験は、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、実験中は十分な休息を取りながらおこない疲労の影響がないように配慮した。

4. 日常生活中心拍数測定

男性頸損者と女性頸損者の日常生活中心拍数を同様の携帯用デジタル心拍数メモリーを用いて起床時から就寝時まで測定した。同時に行動記録も調査した。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subjects	Leves	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
Paraplegia Male n=6	Th10～L2	28.8±8.8	167.5±5.8	55.8±6.4
Quadriplegia Male n=1	C7A	20.5	165.0	70.3
Quadriplegia Female n=1	C6B2	22.4	145.0	38.0

* 川崎医科大学付属病院リハビリテーションセンター

研究結果

1. 車椅子走行中の速度、作動回数、換気量、心拍数、酸素摂取量

表2は車椅子運動中の測定結果を各被検者群について各走行速度別に示したものである。男性対麻痺者の結果は6名の全被検者の平均値と標準偏差値で示した。車椅子走行中の作動回数、心拍数、換気量、酸素摂取量は、各被検者ともに走行速度が高くなるにもなって高い値を示した。

図1は車椅子走行中の作動回数と走行速度との関係を各被検者群について示したものである。図中の男性対麻痺者群は全被検者の平均値で示した。走行中の作動回数は各被検者群ともに速度の増加にもなって増加する傾向がみられた。なかでも女性頸損者の走行中

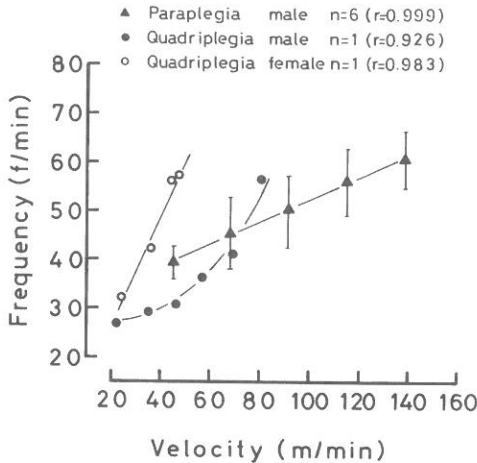


Fig 1. Correlation between in frequency and velocity during wheelchair exercise.

の作動回数は、男性対麻痺者と男性頸損者に比較して高い増加傾向がみられた。

また車椅子の最大作動回数は、男性頸損者が56.5回/分で女性頸損者が57.6回/分であった。いずれも本実験で実施できた最高可能速度の時であった。

図2は走行速度と心拍数との関係を各被検者群について示したものです。図中の男性対麻痺者群は全被検者の平均値で示した。男性対麻痺者群と男性および女性頸損者の心拍数は走行速度の増加にもなって、3群ともに同様な直線的増加の傾向がみられた。

しかし、男性頸損者と女性頸損者の車椅子走行限界速度がほぼ80.5m/minと47.6m/minであったことから、車椅子運動による心拍数増加の最大値は137拍/分と109拍/分であった。また、男性対麻痺者群の

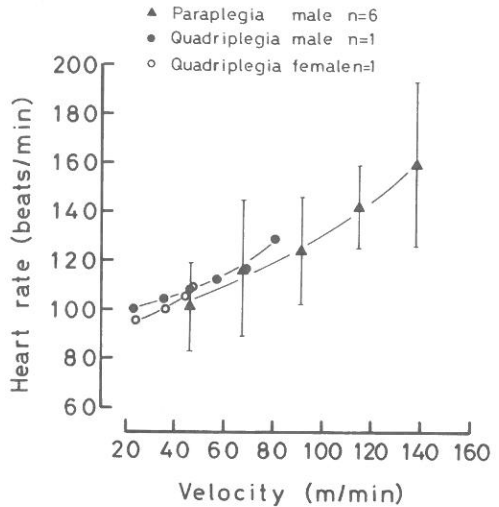


Fig 2. Correlation between changes in velocity and heart rate during wheelchair exercise.

Table 2. Means and standard deviation of velocity, frequency, ventilation, heart rate, oxygen uptake during wheelchair exercise.

	Velocity (m/min)	Frequency (f/min)	Ventilation (l/min)	Heart rate (beats/min)	Oxygen uptake (ml/kg/min)
Paraplegia Male (n=6)	46.2±0.33	39.6± 3.8	15.0± 8.3	101.5±18.8	3.7±0.8
	68.9±0.39	45.5± 7.6	17.1± 6.9	116.8±28.4	5.6±1.3
	91.9±0.10	50.6± 7.8	21.0± 4.8	123.7±22.0	8.7±1.0
	115.0±0.29	56.4± 7.0	25.3± 3.6	142.3±17.4	13.4±1.6
	138.3±0.18	60.8± 6.3	33.2± 1.8	159.3±34.0	18.2±2.8
Quadriplegia Male (n=1)	23.3	26.6	16.8	100.0	5.4
	35.5	28.9	16.8	104.0	6.0
	46.5	30.7	22.2	108.0	6.6
	57.9	36.2	26.1	112.0	8.8
	69.5	41.3	26.0	115.5	9.7
	80.5	56.5	33.0	137.0	10.7
Quadriplegia Female (n=1)	24.2	32.3	15.2	95.0	6.1
	36.7	42.3	16.0	99.5	7.9
	44.5	56.1	20.3	105.0	8.4
	47.6	57.6	27.4	109.0	11.6

車椅子走行速度の限界がほぼ138.3m/分であり、心拍数の最大値もほぼ159.3拍/分であった。

図3は走行速度と酸素摂取量との関係を各被検者群について示したものである。図中の男性対麻痺者群は全被検者の平均値で示した。酸素摂取量は走行速度の増加にともなって、3群ともに直線的に増加する傾向がみられた。しかし、女性頸損者の増加傾向は男性対麻痺者群と男性頸損者に比較して同じ走行速度において高い酸素摂取量を示した。

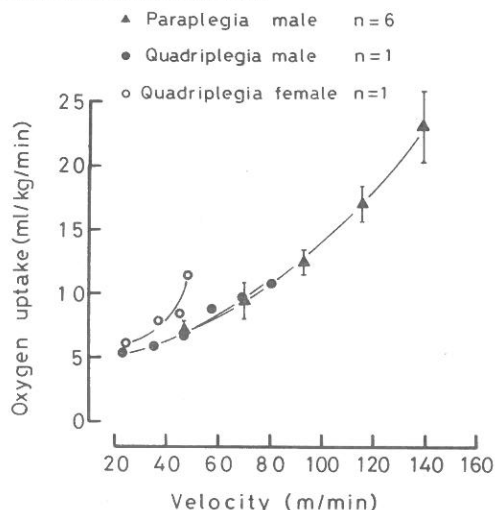


Fig 3. Correlation between changes in velocity and oxygen uptake during wheelchair exercise.

図4は車椅子走行中の酸素摂取量と心拍数との関係を各被検者群について示したものである。走行中の酸素摂取量は心拍数の増加にともなって、3群ともに直

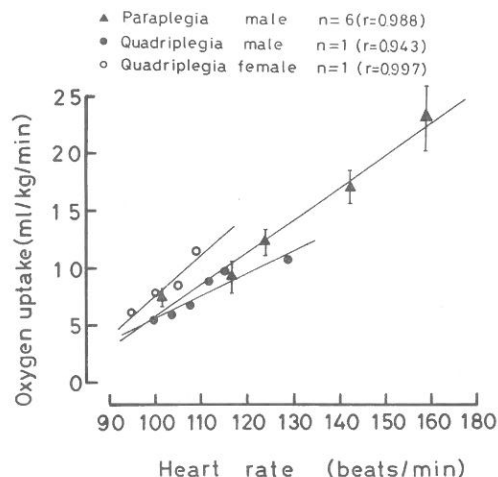


Fig 4. Correlation between oxygen uptake and heart rate during wheelchair exercise.

線的に増加する傾向がみられ、両者の間に高い相関関係がみられた。

2. 日常生活中心の心拍数変動

図5は男性頸損者の来院時から翌日の来院時までの24時間の心拍数の変動記録を示したものである。図中のaは筋力強化を中心とした理学訓練、bは車への移乗、運転、トイレ動作、cは体力向上のための車椅子運動である。それぞれの平均心拍数はaが77.6拍/分、bがトイレ動作が85.9拍/分、cが100.7拍/分をそれぞれ示しめた。中でも運動中の心拍数が100拍/分以上を示したのは大変少なかった。

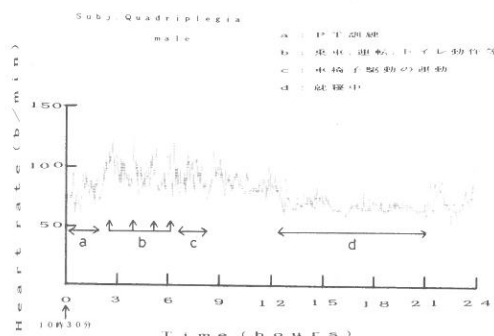


Fig 5. Changes of heart rate during 24 hours.

表3は同様に女性頸損者の24時間の心拍数の変動記録から主な生活活動中の平均心拍数を示したのものである。1日の活動の中で100拍/分を以上の心拍数変動を記録したのは、最高速度でおこなった車椅子運動の5分間のみである。

Table 3. Mean heart rate of various activities during 24 hours. (Quadriplegia: female subject)

主な動作内容	平均心拍数 (拍/分)	心拍数範囲 (拍/分)	動作時間 (分・回数)
実験前座位安静	77.3±1.8	(75~80)	10
理学療法訓練	86.5±10.7	(67~103)	120
トイレ動作	79.8±19.0	(60~118)	41(5回)
車椅子運動での実験	91.6±20.6	(70~109)	20(4回)
最高速度での車椅子運動	103.1±4.7	(102~109)	5(1回)

考 察

我々は先の研究で車椅子運動において、走行速度が車椅子の作動回数と深い関係があり、種類の異なる車椅子においても同様に、作動回数はほぼ50回/分まで直線的な増加傾向を示す報告をした。本研究の結果に

においても、男性対麻痺者や男女性頸損者による車椅子の作動回数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、男女性頸損者の両者の関係は男性対麻痺者に比較して可能な限界最大走行速度が低く、同一速度における作動回数も高くなる傾向がみられた。さらに、車椅子の限界最大走行速度は男性対麻痺者が138.3m/min、男性頸損者が80.5m/min、女性頸損者が47.6m/minであり、脊髄損傷レベルによって走行能力にも差がみられた。このことは脊髄損傷レベルが高くなるほど上肢活動が困難になり、その結果として車椅子の作動効率の低下をまねいていることと関係しているものと思われる。

一方、本研究の男女性頸損者において、車椅子走行中の心拍数と酸素摂取量は走行速度の増加ともなって増加する傾向がみられた。これらの傾向はHildebrandt⁹⁾達や我々の先の研究結果と同じく、運動負荷の増大がエネルギー消費量を高めていることになっている。なかでも女性頸損者の酸素摂取量は、男性対麻痺者や男性頸損者に比較して同一速度において高い値を示し損傷レベルの影響がうかがえる。

図6は車椅子走行中の酸素摂取量を走行距離当り求めて、速度との関係を示したものである。図にみられるように女性頸損者の酸素摂取量は男性対麻痺者群や男性頸損者に比較して同一速度において高い値を示し、また、最も低い酸素摂取量時の走行速度は、脊髄者や男性頸損者の70m/min~80m/minの速度に対してはほぼ40m/minであった。これは女性頸損者の呼吸循環機能への負荷が最大に到達する前に上肢筋持久力が限界になったためと思われる。

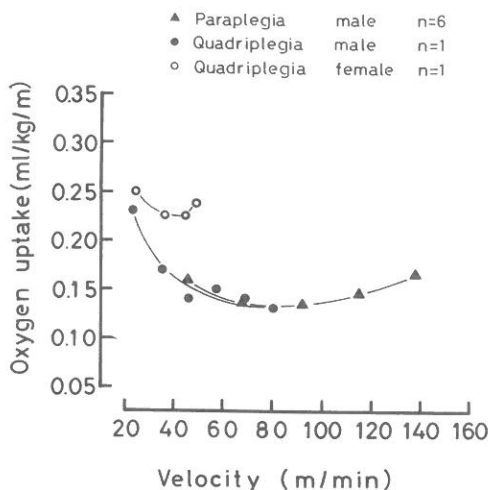


Fig 6. Correlation between changes in velocity and energy during wheelchair exercise.

運動中の酸素摂取量は心拍数の増加にもなって増加し、両者の間に有意な直線関係が成立することはよく知られている。本研究の男性対麻痺者や頸髄損傷の被検者で実施した車椅子運動中においても、酸素摂取量は心拍数の増加にもなって増加する傾向がみられ、両者の間に有意な直線関係が得られたことから、日常生活での活動量や全身持久力向上のための運動強度の表示に心拍数を用いることが可能であると思われる。

一般的に全身持久力を向上のための運動強度として、健康な青少年の場合は最大酸素摂取量の70%以上^{14) 23)}、中高年者の場合はその60%^{5) 19)}がそれぞれ設定されている。また体育科学センター¹⁵⁾によると最大酸素摂取量の60%の強度で30分間以上運動続けると効果がみられるとされている。これを心拍数でみると年齢の幅を考慮する必要があるが、120拍/分~135拍/分に相当する。一方、芳賀⁸⁾たちによると車いす型作業での運動強度は70%相当が有効としている。

本研究の車椅子運動による可能最大心拍数増加は男性対麻痺者が159.3拍/分、男性頸損者が137.0拍/分、女性頸損者で109拍/分であったが、しかし、頸髄損傷の被検者で日常生活において130拍/分以上の心拍数に相当する活動はほとんどみられなかった。これらのことは生活の中での車椅子運動が全身持久力向上を高めるための手段となりえないことを意味している。従って、だだでさえ運動実施が困難である頸髄損傷者の全身持久力向上の運動や活動量の確保については特別の考慮が必要と思われる、全身持久力向上のための運動方法の開発がいそがれる。

結 論

年齢20歳~37歳の胸腰椎移行部の完全損傷男性6名と頸髄完全損傷の男性1名および女性1名を被検者として車椅子運動実施し心拍数と酸素摂取量を測定した。さらに、頸髄完全損傷の男女性の日常生活の心拍数変動を記録し、次の結果を得た。

1. 男性対麻痺者群と男性および女性頸損者の車椅子走行速度は作動回数の増加にもなって増加する傾向がみられた。
2. 男性対麻痺者群と男性および女性頸損者の車椅子運動中の心拍数は、走行速度の増加にもなって直線的に増加する傾向がみられた。
3. 男性対麻痺者群と男性および女性頸損者の心拍数と酸素摂取量は走行速度の増加にもなって直線的に増加する傾向がみられた。
4. 車椅子走行距離当り酸素摂取量が最も低い値を示

したのは、男性対麻痺者群と男性頸損者が70m/min～80m/minの速度範囲に、女性頸損者がほぼ40m/minの速度であった。

5. 男性および女性頸損者の日常生活において、心拍数が130拍/分に相当する運動はほとんどみられなかった。

謝 辞

本研究に際し、いろいろと御配慮をたまわりました川崎リハビリテーション学院々長、明石謙先生に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Brown, D.D., R.G.Knowlton, J.Hamill, T.L.Schneider and R.K.Hetzler : Physiological and biomechanical differences between wheelchair-dependent and able-bodied subjects during wheelchair ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60 : 179-182, 1990.
- 2) Cerny, K., R.Waters, H.Hislop and J.Perry : Walking and Wheelchair energetics in persons with paraplegia. *Physical therapy* 60(9) : 1133-1139, 1980.
- 3) Corcoran, P. J. : Energy expenditure during ambulation, In Downery JA, Darling RD : *Physiological basis of rehabilitation medicine*. Philadelphia Saunders : 185-198, 1971.
- 4) 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(9) : 1104-1107, 1983.
- 5) 福永哲夫, 宮側敏昭, 藤松博, 猪狩敏 : 中高年者の全身持久性に関する研究 -60%VO_{2max} 強度によるトレーニング効果について. *体育科学* 5 : 96 - 103, 1977.
- 6) 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.
- 7) 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* 1(5) : 357-361, 1983.
- 8) 芳賀脩光 : 有酸素運動のトレーナビリティー. *真興交易医書出版部* : 209-230, 1990.
- 9) Hildebrandt, G., E.D.Voigt, B. Berendes and J. Kröger : Energy costs of propelling wheelchair at various speeds : cardiac response and effect on steering accuracy. *Arch. phys. Med. Rehabil.* 51 ation : 131-136, 1970.
- 10) 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.
- 11) 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 (2) - 各種の車いす運動中の走行速度と酸素摂取量との関係 -. *岡山県立短期大学紀要* 第31号 : 57-61, 1987.
- 12) 平田敏彦, 平上二九三 : 車椅子運動中の酸素摂取量 (2). *体力科学* 36 (6) : 380, 1987.
- 13) Hooker, S.P. and C.L.Wells : Effect of low- and moderate-intensity training in spinal cord-injured persons. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21 (1) : 18-22, 1989.
- 14) 石河利寛, 清水達雄, 永井信夫, 佐藤佑 : 女子大学生における最大酸素摂取量の35, 50, 65, および80%強度でのトレーニング効果について. *体育科学* 2 : 207-217, 1974.
- 15) 体育科学センター (編) : *健康づくり運動カルテ*. 講談社 : 49-73, 1976.
- 16) 加賀谷淳子 : 心拍数と作業強度. *体育の科学* 26 (3) : 203-208, 1982.
- 17) 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.
- 18) 老月敏彦, 山地啓司, 有沢一男氏 : 心拍数と走行, 走行スピードからみた運動強度. *体育の科学* 4 : 6-12, 1976.
- 19) 小川新吉, 古田善伯, 小原達郎, 大神八太郎 : ランニングトレーニングの中高年者の有酸素的作業能に及ぼす影響. *体育科学* 4 : 6-12, 1976.
- 20) 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. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 64 : 249-253, 1983.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 山岡誠一, 吉田和正, 平川和文 : 女子学生に対する5分間トレーニング効果. 第2報. *体育科学* 2 : 190-196, 1974.
- 24) 湯原影元, 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35回日本体力医学学会予行集 : 104, 1977.

平成4年5月29日 受付

平成4年6月11日 受理