
車いす使用者の身体的負担の定量化と走行環境に関する研究

Evaluation of Wheelchair User's Physical Load and Road Environment

橋詰 努 北川博巳

HASHIZUME Tsutomu, KITAGAWA Hiroshi

キーワード：

移動、車いす、身体負荷、評価、酸素摂取量

Keywords:

Mobility, manual wheelchair, physical load, evaluation, oxygen uptake

Abstract:

The improvement of the infrastructure of road and the mobility for handicapped persons such as elderly and wheelchair users is needed to realize the barrier-free society. However, few studies have discussed the energy metabolism with wheelchair users concerning about the basic activities or the propelling a manual wheelchair on various road environments. The purpose of this study is to evaluate the physical load of wheelchair users by the oxygen uptake values and the wheelchair driving force when they are propelling a manual wheelchair on a slope and other road environments, to improve the wheelchairs and to improve the mobility for handicapped persons. We measured the physical load with unimpaired subjects against the wheelchair's rear tire pressure in the room and the slope at outside. We evaluated the physical load by the oxygen uptake, the wheelchair driving force, and the heart rate. It was clarified quantitatively that the tire pressure significantly influenced on the heart rate, Borg scale, the oxygen uptake and the wheelchair driving force. The results of oxygen uptake and heart rate when wheelchair climbing up the slope (8%) showed the high physical load almost the limit of the participants. It was concluded that the evaluation method of the oxygen uptake

values and the driving force were useful to verify the physical load of wheelchair users referring to the tire pressure and the road environment.

1 はじめに

車いすを使用する身体障害者や高齢者の社会参加を促すために、道路、建物、交通機関など移動に関わる総合的な環境整備が必要である。同時に車いすの構造や機構の改良についての研究も重要である。車いす使用者の移動環境の整備のため、運動生理学的なアプローチによる身体的負担の定量化等に基づく客観的な評価が求められている。

本研究は車いす走行時の酸素摂取量と駆動トルク等を計測することにより、車いす使用者の身体的負担の定量化を行い、運動効率から考えた走行環境の改善や車いすの性能評価と改良を行うことを目的とする。

路面環境と車いす使用者の身体的負担の評価については、これまで車いす駆動トルクに着目して路面環境や車いす構造に言及した米田等の研究¹⁾がある。また、酸素摂取量と車いす駆動トルクに着目したトレッドミル上での橋詰等の研究²⁾や、酸素摂取量、筋電図等を用いた生理学的アプローチによる村木等³⁾の研究がある。車いすの走行においては屋外の歩道路面の凹凸、横断勾配、縦断勾配（スロープ）が大きなバリアとなるが、先行研究においては主に計測機器の制約により、実験室内やトレッドミル上での計測と評価にとどまっている。

筆者は健常者により、室内環境における車いすのタイヤ空気圧を変化させたときの実験と車いすの屋外スロープ走行実験を行い、酸素摂取量と車いす駆動トルク等による身体的負担について考察を行った。

2 タイヤ空気圧と身体的負担

自転車と同じように、車いす駆動輪（後輪）のタイヤの空気圧によって、車いすを走らせるときに負荷が異なることは経験的に知られている。そのため、在宅や施設・病院を問わずタイヤの空気圧を適正に保つように求められている。これまで経験的もしくは体感的に言われている、タイヤの空気圧の変化による車いす駆動の負荷を定量的に比較するため、タイヤの空気圧（30kPa、200kPa）をパラメータとして実験を行った。200kPaは指で強く押してもタイヤがへこまない程度の硬さであり、30kPaは人が乗車した場合にリムが地面につく程度の柔らかさである。

2.1 実験手法

2.1.1 計測装置

車いすを駆動するときにハンドリムに加わるトルクを計測するため、トルク変換器（共和電業製TP-10KMSA84）とロータリ・エンコーダ（小野測器製RP-8514L）を組み込んだ計測用車いすを使用した（図1）。車いすの座面高さは約46cm、座幅は約37cm、ハンドリム間距離60cm、駆動輪直径約60cm（呼び径24インチ）、重量約25kgである。

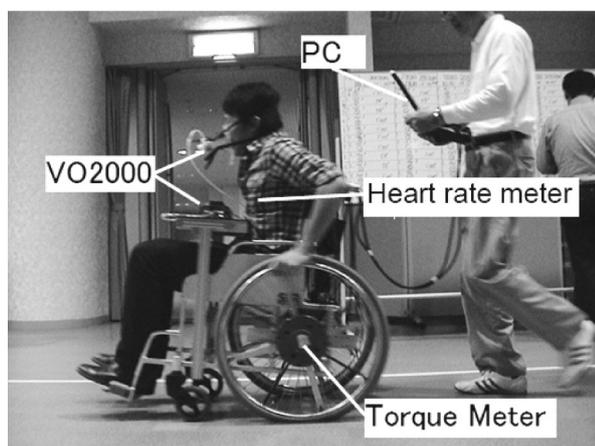


図1 計測用車いす
Fig.1 Experimental wheelchair

酸素摂取量は携帯型呼吸代謝測定装置VO2000（S&ME社製）を用いて、10秒毎の平均酸素摂取量、二酸化炭素排出量等を計測した。また、心拍数は心拍計S625X（ポラール社製）を使用した（図1）。

2.1.2 被験者と計測方法

被験者は表1に示す健康成人男性8名である。車いすの駆動周期を一定とするため、駆動ストロークをメトロノームにより60ストローク/分とし、楕円形の室内走行コース（1周60m）を1周1分間で走行する。1回の計測はVO2000により走行開始前5分間の安静時酸素摂取量を計測した後、走行コースを10周（10分間）走行した（時速約3.6km）。同時に8名のうち5名の1周毎（1分毎）の心拍数を計測した。

タイヤ空気圧はデジタルタイヤゲージ（パナソニックBTG-PDDL1）を用いて、30kPa、200kPaの2種類の設定とした。

表1 被験者の特性
Table 1 Summary data on subjects

Subjects	Sex	Age(yrs)	Height(cm)	Weight(kg)	Heart Rate
A	Male	56	175	71	measured
B	Male	32	171	63	measured
C	Male	27	174	72	measured
D	Male	23	170	56	measured
E	Male	21	167	59	measured
F	Male	21	173	57	-
G	Male	21	168	65	-
H	Male	42	173	90	-
Average		30.4	171.4	66.6	
S.D.		12.7	2.9	11.2	

2.2 実験結果

2.2.1 心拍数

心拍数は大まかな身体的負担を評価する指標として用いられる。

空気圧が低い時（30kPa）の5名の平均心拍数は126.2bpm（標準偏差21.1）であり、高い時（200kPa）の平均心拍数112.8bpm（標準偏差18.4）より約12%上昇し身体的負担が増加するが、両者の平均値の差に有意差はみられない。

2.2.2 酸素摂取量による仕事率の算出と比較

図2にVO2000による酸素摂取量のデータ例を示す。1試行は5分間の安静時の呼気ガスを計測した後、車いすの走行を開始する。走行開始直後から酸素摂取量が急増し、その後定常状態になる。

安静時の平均酸素摂取量は値が安定している図中aの4分間、走行中の値は、走行終了時の1分前からさらに5分間遡った図中bの5分間より求めた。車いす駆動に使われた正味の酸素摂取量は駆動時平均酸素摂取量－安静時平均酸素摂取量より求まる。

正味の酸素摂取量より、車いす駆動に必要とされ

る仕事率を(1)式により算出した。

$$\text{仕事率 [W]} = \text{VO}_2 \text{ [l/min]} \times 4.84 \text{ [kcal/l]} \times 69.77 \dots (1)$$

(1 [kcal/min] = 69.77 [J/sec])

車いす駆動中の正味の酸素摂取量から求めた仕事率の比較を図3に示す。タイヤ空気圧30kPaでは各被験者の平均仕事率は241.3W (標準偏差58.0)であり、200kPaでは156.2W (標準偏差24.0)であり、両者の平均値の差には有意差がみられた (p<0.01)。空気圧が低下すると酸素摂取量による仕事率が約54%増加する。

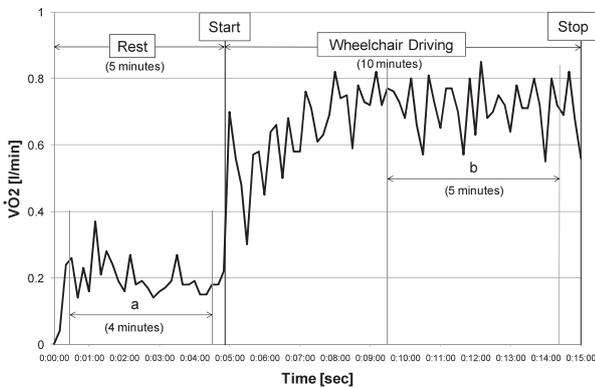


図2 酸素摂取量の変位
Fig.2 Oxygen uptake from rest to driving

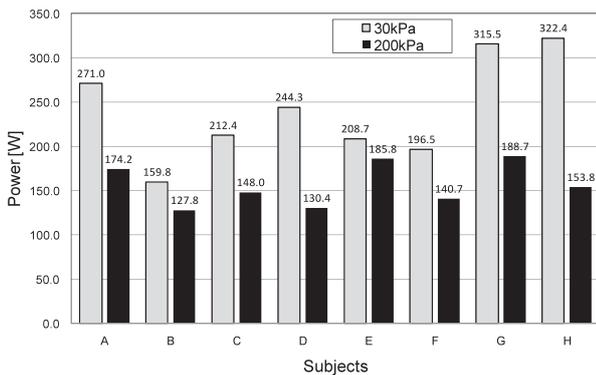


図3 酸素摂取量より求めた仕事率
Fig.3 Power estimated by oxygen uptake

2.2.3 車いす駆動トルクによる仕事率の算出と比較

コースを1周走行する時に、左右のハンドリムに加わる駆動トルクパターンの一例を図4に示す。トルクの出力パターンは60ストローク/分で周期的に出現する。楕円状のコースを周回するため、1周する間に4カ所緩やかに左側に曲がる必要がある。

図5に示すように、左側に曲がる時には手前で減速し(トルクの値が減少する)、右のハンドリムを進行方向に回転し(トルクの符号がプラス)、左のハンドリムはブレーキをかけるためトルクの符号がマイナスとなる。直線走行時は左右均等のトルクがハンドリムに負荷され値が小さい。

車いすを駆動するのに必要とされる仕事率は、計測用車いすから得られる駆動トルクNmと車輪の回転角より、(2)式より算出される。

$$\text{仕事率 [W]} = 1/2 (\text{Torque}(i) + \text{Torque}(i-1)) \times (\text{Angle}(i) - \text{Angle}(i-1)) / \text{samplingtime} \dots (2)$$

(Torque(i):時刻iのトルクデータ [Nm],
Angle(i):時刻iの回転角度データ [rad])

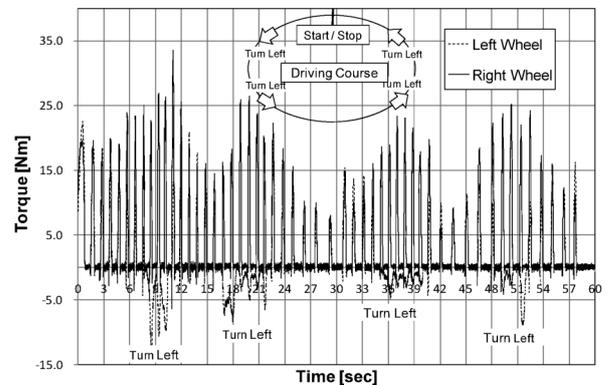


図4 車いす駆動トルク (1周)
Fig.4 Wheelchair driving torque (one lap)

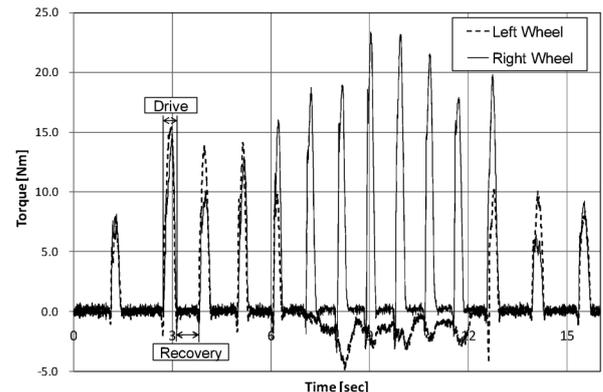


図5 車いす駆動トルク (1/4周)
Fig.5 Wheelchair driving torque (1/4 lap)

左右ハンドリムの駆動トルクより、各被験者の10周走行中の平均仕事率を算出した結果を図6に示す。空気圧30kPaにおける平均仕事率は23.1[W] (標準偏差3.4)で、200kPaでは15.2[W] (標準偏差2.8)で、平均値の差には有意差がみられた (p<0.01)。

酸素摂取量から求められた仕事率と同様に、タイヤの空気圧が低下し走行抵抗が増すと仕事率が約52%増加する傾向が認められた。駆動トルクによる仕事率の値は、酸素摂取量から得られた値の約1/10である。

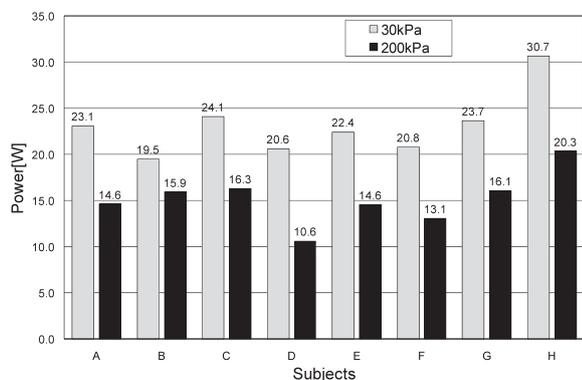


図6 車いす駆動トルクより求めた仕事率
Fig.6 Power by wheelchair driving torque

2.3 考察

酸素消費量と車いす駆動トルクより求めた仕事率の結果から、タイヤの空気圧が低くなると車いすを駆動する仕事率が増加し、酸素摂取量も増大し身体的負担が大きくなることが明らかになった。タイヤの空気圧が低下し走行抵抗が増すと、心拍数は約12%上昇し、酸素摂取量と車いす駆動トルクから算出されたそれぞれの仕事率は共に約50%を超える大幅な増加を示し、空気圧が車いす使用者の身体的負担に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

橋詰等²⁾の研究では、駆動ストローク100ストローク/分、車いす速度3.3km/h（トレッドミル速度3.6km/h）の実験条件において、酸素摂取量から求められた仕事率は92.6W、駆動トルク仕事率10.1Wであり、今回の8名の実験結果よりいずれも低い値を示している。本実験では楕円形コースを走行したため、4カ所のカーブを曲がる時のブレーキ操作による減速と、直線区間に入るときの加速が必要とされることにより駆動トルクが一定でないこと、各被験者の車いす操作の習熟度、年齢、体格、基礎体力差等に起因するものと考えられるが、今後被験者数を増やして検証する必要がある。

同研究²⁾では車いすの駆動トルクから算出される仕事率を、酸素摂取量から算出される仕事率で除した値を、車いすの走行効率と定義した評価を試みている。今回の実験結果から求めた走行効率は、タイヤ空気圧が30kPa、200kPaとも同じく約10%（平均値の差に有意差無し）であった（図7）。周回速

度（約3.6km/h）と駆動ストロークを60ストローク/分と一定としたため、空気圧が低下した分だけ、一回の駆動期における酸素摂取量と車いす駆動トルクの両者が共に増大し、結果として走行効率がほぼ等しくなったと考えられる。また同研究²⁾では、走行速度が約3.6km/hと今回の実験速度にほぼ等しい時の走行効率は約11%であり、両者は良い一致を示している。

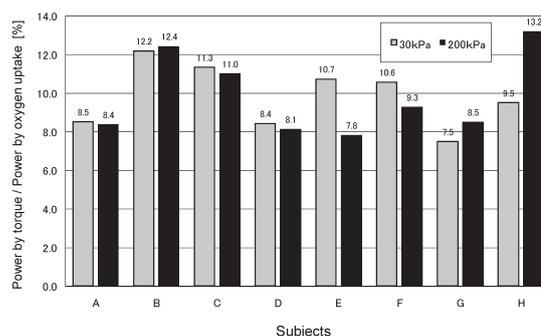


図7 仕事率の比率
Fig.7 Ratio of power torque/oxygen uptake

3 スロープ走行と身体的負担

歩道のスロープ（縦断勾配、横断勾配）は車いす使用者にとって大きなバリアである。高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（平成18年）による道路移動等円滑化基準⁴⁾では、「歩道等の縦断勾配は、5%以下とする。やむを得ない場合においては8%以下とすることができる」と定められている。この基準の根拠としては、既存研究と文献等から5%以下であれば車いす使用者が登坂可能であること、車いす使用者25名の実験結果（0、2、4、5、6、8%勾配、30m直線）では24名が8%登坂可能であったことによる。しかし、勾配ごとの登坂距離、速度の関連は不明であり今後の課題とされている。また現在国内においては歩道のバリアフリー化への取り組みが積極的に行われているが、その効果の定量的な検証が課題となっている。

本章では健常者により実際の環境下において車いすのスロープ走行実験を行い、身体的負担について考察を行った。

3.1 実験手法

3.1.1 計測装置

車いす駆動トルク、酸素摂取量と心拍数は2章の実験と同じ計測装置を用いた（2.1.1を参照）。

3.1.2 スロープ形状

走行実験は障害者スポーツ施設の屋外避難用スロープで実施した(図8)。スロープの勾配は約8%で、道路の移動円滑化ガイドライン⁴⁾に示されている歩道等の縦断勾配の上限8%に相当する。

1階から3階までの高低差は約7.6m、走行距離は約120mであり、途中1.5階・2階・2.5階の折り返し地点は平坦な踊り場になっている。スロープの途中には0.8mの平坦区間が2ヶ所ある。スロープ形状を図9に示す。



図8 スロープの外観
Fig.8 Overview image of slope course

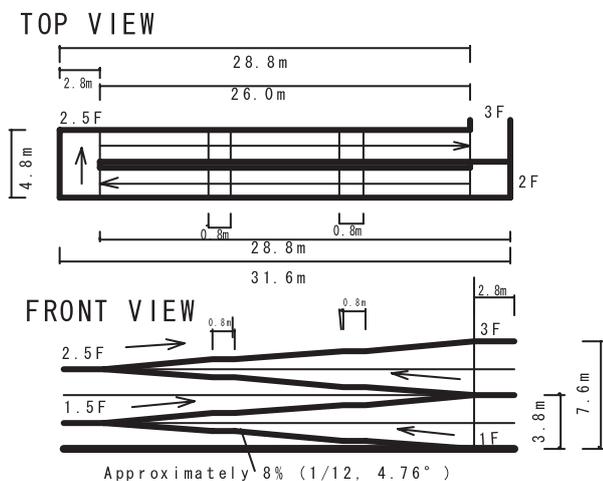


図9 スロープの形状
Fig.9 Profile of slope course

3.1.3 被験者と計測方法

被験者は健常成人男性5名である(表2)。被験者D、Eは車いすの操作に慣れているが、被験者A～Cは車いすの操作に慣れるため、実験の前に屋内外の路面において十分に走行練習を行った。

車いすのスロープ走行は、1階で5分間安静状態の酸素摂取量を計測した後、3階まで連続してスロープを上り(図10)、その間の酸素摂取量と車いす駆動トルクを計測する。3階で10分間安静状態の酸素摂取量を計測後、1階まで連続してスロープを下る。なお、車いすを漕ぐストロークと速度は自由とした。

スロープの歩行は、1階と3階で各5分間の安静状態の酸素摂取量を計測し、上り下りの歩行リズムはメトロノームを用いて100ステップ/分とした。スロープの上り下りの計測はそれぞれの条件下において各被験者とも1回計測を行った。

心拍数の計測は3名の被験者(A、D、E)について、スロープ上りのみ、車いすは60ストローク/分、歩行は60ステップ/分と100ステップ/分を各1回計測した。

表2 被験者の特性
Table 2 Summary data on subjects

Subjects	Sex	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Heart Rate
A	Male	21	167	59	Measured
B	Male	21	173	57	—
C	Male	21	168	65	—
D	Male	42	173	90	Measured
E	Male	56	175	71	Measured
	Average	32.2	171.2	68.4	
	S.D.	16.1	3.5	13.3	



図10 車いすによるスロープの登坂
Fig.10 Subject is ascending slope with wheelchair

3.2 実験結果

3.2.1 酸素摂取量の変化パターン

図11に車いすでスロープを上り下りしたときの、VO2000による酸素摂取量のデータ例（被験者B）を示す。スロープを上り始めた直後から酸素摂取量が急激に増大し3階で最大に達する。

運動終了後、酸素摂取量は速やかに減少しほぼ定常状態になる。スロープの下り初めは酸素摂取量が増大するが、その値は上りに比較して非常に小さく、1階に達するまではほぼ一定の値を示す。

他の被験者においても、酸素摂取量の変化パターンは良く類似しているが、3階に到達する前に酸素摂取量が最大値をとり、その後定常状態を示す被験者も見られた。

また、歩行時の酸素摂取量の変化パターンも同様の傾向を示す。

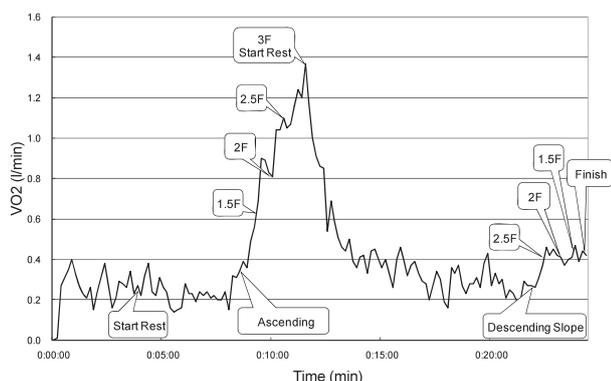


図11 酸素摂取量の変化（車いす、スロープの上りと下り）
Fig.11 Oxygen uptake pattern ascending /descending slope by wheelchair

3.2.2 階数毎の酸素摂取量と心拍数

車いす走行と歩行の運動に消費された正味の酸素摂取量は、運動時酸素摂取量と安静時酸素摂取量（5分間の平均酸素摂取量）との差から求めることができる。各被験者について、各階（1.5階、2階、2.5階、3階）に到達した時点の正味酸素摂取量を求め、被験者間の平均値を各階毎にプロットしたものを図12（スロープ上り）と、図13（スロープ下り）に示す。

スロープ上りの酸素摂取量（図12）は2階までは車いす走行が歩行を上回っているが、2.5階で逆転し3階では歩行の平均酸素摂取量（約1.16 l/min）が車いす走行（約1.02 l/min）より高くなっている。

スロープ下り（図13）は車いす走行と歩行共に最初に酸素摂取量が約0.20 l/minに増加するが、その

後車いすはほぼ一定の値を保ち1階到達時点では約0.10 l/minに減少する。車いすの下りは速度を抑えるためのブレーキ操作のみであり酸素摂取量が少ない。一方、歩行の酸素摂取量は緩やかな増加傾向を示す（終了時0.53 l/min）。

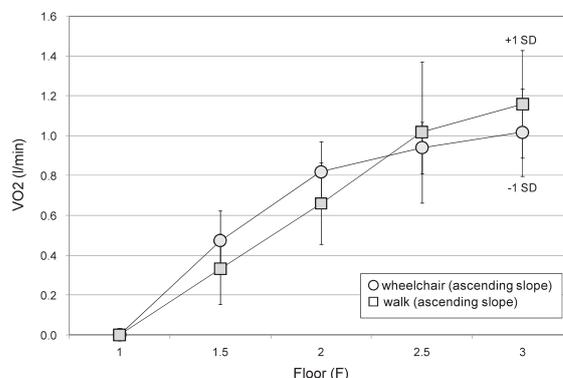


図12 酸素摂取量の変化（スロープ上り）
Fig.12 Oxygen uptake (ascending slope)

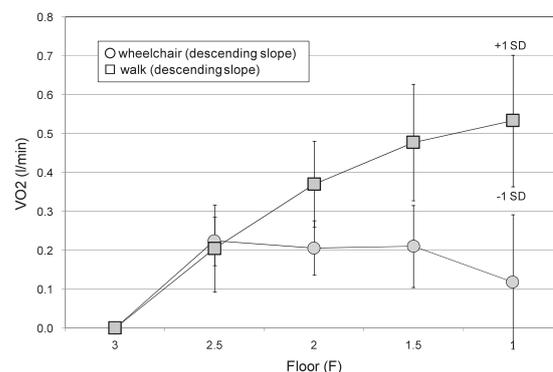


図13 酸素摂取量の変化（スロープ下り）
Fig.13 Oxygen uptake (descending slope)

車いすのスロープ上りの心拍数（図14実線）は、酸素摂取量と同様に1.5階に至るまでに急激な増加（約80bpmから120bpm）を示し、その後も階が上がるにつれて増加を続け3階では約150bpmに達する。心拍数150bpmは主観的運動強度であるボルグ指数15（きつい）に相当し、全被験者の3階到達時の身体的負担感（かなりきつい、限界である）と良く一致する。

一方、歩行では60ステップ/分より100ステップ/分の心拍数が全運動期間を通じて上回るが、100ステップ/分でも2階で約120bpmに達した後は心拍数が安定している。心拍数120bpmはボルグ指数12（ややきついと楽であるの中間）に相当し、こちら

も被験者の主観的負担感（楽である、まだまだ歩ける）と一致する。

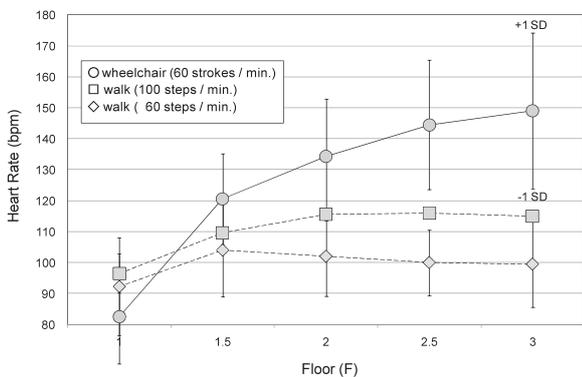


図14 心拍数の変化（スロープ上り）
Fig.14 Heart rate during ascending slope

3.2.3 単位距離当たりの酸素摂取量

スロープの上りについて、各被験者の運動開始の1階から3階に達するまでの酸素摂取量の時間変化を図15に示す。

歩行リズムを100ステップ/分としたことと、身体的負担が小さいため各被験者は1分半未満（約80～90秒）で3階に達している。その間の酸素摂取量は一気に増加している（図15破線）。

一方自由走行とした車いすでは3階に到達するまでの時間は、最短約2.5分から最長約5分と被験者間のバラツキが大きい。酸素摂取量の時間変化は歩行に比較して小さく、階が上がるにつれて徐々に増加する。

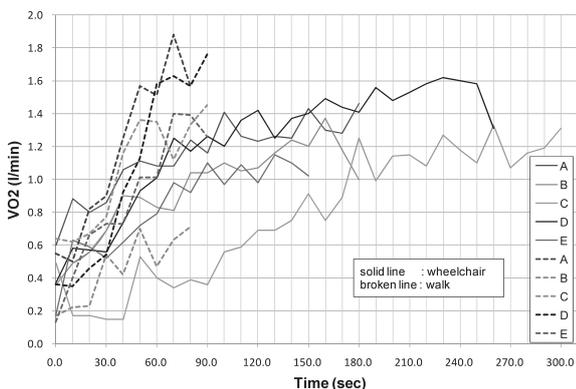


図15 酸素摂取量の変化（スロープ上り）
Fig.15 Oxygen uptake wheelchair / walk

図15に示した各被験者の1階から3階に至るまでの酸素摂取量を積分することにより運動に消費された全酸素摂取量を求め、単位距離（1 m）当たりの

酸素摂取量を算出した結果を図16に示す。

車いすの1 m当たりの酸素摂取量の平均値は0.021 l/m（標準偏差0.008）、歩行は0.007 l/m（標準偏差0.003）であり、両者の平均値の差は有意（ $p < 0.05$ ）であった。

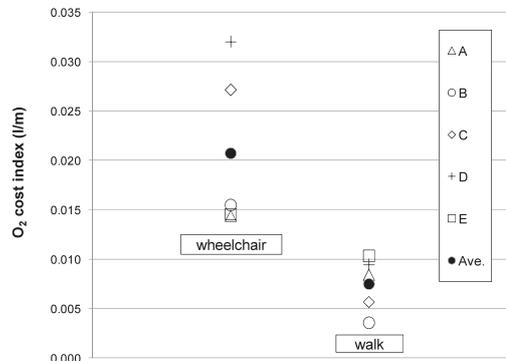


図16 酸素摂取量代謝指標（スロープ上り）
Fig.16 O₂ cost index ascending slope

3.3 考察

実際の避難スロープ（勾配約8%）における実験より、酸素摂取量の変化を階数毎にみると車いすの酸素摂取量の変化が急激であるが、3階到達時の酸素摂取量は歩行が車いすを上回る結果となった。一見矛盾する結果は、歩行は下腿筋群が主働筋であると同時に全身運動であるのに対して、車いす走行は上肢筋群が主働筋であり両者の筋量の相違によるものと思われる。

単位距離当たりの酸素摂取量を算出した結果を酸素摂取量代謝指標（O₂ cost index (l/meter)）とする。被験者の心拍数の変化と、酸素摂取量代謝指標（1 m当たりの酸素摂取量）では車いす走行が歩行より約3倍の値をとることより、車いすによる運動が歩行に比較して身体的負担が大きいことが明らかである。これは、全被験者の主観的評価と一致する。

村木等の報告³⁾では、トレッドミル上で定常状態にある時の歩行時の1m当たりの酸素摂取量は勾配7.5%の時に約0.015 l/mであり、車いす使用者による酸素摂取量は約0.018 l/mである。

今回の実験結果は歩行時の酸素摂取量が約1/2と小さな値を示している。車いすでは今回の結果が若干上回っているがほぼ同等の値を示している。その原因として本実験では定常状態の酸素摂取量ではないこと、勾配がきついことと、被験者が健常者ではあるが日常的に車いすを使用していないことによるものと思われる。

酸素摂取量代謝指標（1 m当たりの酸素摂取量）は車いす使用者の路面環境に対する身体的負担の指標として有用である。しかし、勾配による走行速度の低下、走行距離による身体的負担の変化についてはさらに検討が必要である。また、短距離のスロープにおいては、酸素摂取量が増加する割合（図15の酸素摂取量の傾き）にも着目する必要があると思われる。

心拍数が酸素摂取量と良い相関を示すことは周知のことである。実際の道路環境において多数の車いす使用者の酸素摂取量を計測することは困難であるため、今後心拍数と車いすの速度と走行距離のデータから身体的負担を推定するため、より簡便な計測手法の検討も必要である。

スロープを上るときの車いす駆動トルクパターンは、最初は初速を得るために漕ぐストローク数が高くトルクも大きい、車いすを駆動する負荷が大きいためすぐに速度が低下し、車いすが後方に押し戻されない範囲でゆっくりとトルクをかける傾向が見られる。

リハビリテーションの専門スタッフである理学療法士によると、スロープを上るときの車いすの漕ぎ方、下りのブレーキング操作にも経験的ノウハウがあり、車いす使用者はその指導の下にスロープの走行練習を行っている。このような経験知に対して酸素摂取量と駆動トルク等客観的なデータとの検証も今後必要である。

4 まとめ

健常被験者について酸素摂取量と車いす駆動トルク等から、車いす走行中の身体的負担を客観的に評価できることを示した。本研究により得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 車いすのタイヤ空気圧をパラメータにして身体的負担を考察した。適正な空気圧に対して、タイヤの空気圧が大きく低下した場合には、心拍数は約12%上昇する。人の酸素摂取量より求めた消費仕事率と車いす駆動仕事率のそれぞれの仕事率は、空気圧の低下により共に約50%を超える大幅な増加を示した。
- (2) 空気圧の低下が車いす駆動の抵抗を増加し、空気圧が車いす使用者の身体的負担に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。従来から車いすを安全で楽に走行するために、タイヤの空気圧を適切に保つことの重要性が指摘されてきたが、今回

の実験結果より、客観的なデータの裏付けを得ることができた。

- (3) スロープ上りの心拍数の変化について、車いす（60ストローク/分）は歩行（60ステップ/分）の約1.5倍であり、ボルグ指数（主観的運動強度：きつい）と良い一致を示す。勾配8%、距離120 mは健常者のスロープ登坂の限界と思われる。

心拍数は簡便な身体的負担の評価指標として利用価値が高いと思われる。

- (4) 酸素摂取量代謝指標（ O_2 cost index (l/meter)）は、酸素摂取量による身体的負担を定量的に評価可能と思われる。スロープ上りでは車いす走行の酸素摂取量代謝指標が歩行の約3倍に達する。酸素摂取量代謝指標は歩道のガイドラインの検証や、車いす訓練手法と評価等への応用が可能である。

謝辞

本研究は森ノ宮医療大学保健医療学部理学療法学科上田喜敏専任講師ならびに宮本忠吉教授、兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科土川忠浩教授、兵庫県立総合リハビリテーションセンター中央病院理学療法士永井利沙氏等との共同研究により実施された。また、研究における実験並びにデータ整理等は徳島大学大学院エコシステム工学教授藤澤正一郎研究室の松下征司氏、毛利太一氏の修士論文、近畿大学工学部社会環境工学科教授三星昭裕研究室の田中大貴氏、永山和也氏、菊池大氏の卒業論文の一環として行われたものである。研究の遂行にあたり熱心なご議論とご協力を頂いた皆様に末尾ながら謝意を表します。

本研究の一部は科研費基盤研究（C）（課題番号21560566）の助成を受けて実施された。

参考文献

- 1) 米田・橋詰・室崎・糟谷・末田・藤澤・鎌田：横断勾配が手動車いすの走行に及ぼす影響とその対策に関する考察、日本機械学会福祉工学シンポジウム、pp.29-32、2006
- 2) 橋詰・島村・米田：車いす駆動トルクと酸素消費量による車いす走行効率の考察、日本機械学会福祉工学シンポジウム、pp.15-16、2006
- 3) 村木・三星・松井・野村：車いすによるスロープ走行時の身体的負担の定量化とその応用、土木学会論文集D、pp.401-416、Vol.62 No.3、2006
- 4) 財団法人国土技術研究センター：道路の移動等円滑化整備ガイドライン、大成出版社、2008