

心拍数と酸素摂取量の関係式から推定した スノーボード滑走中のエネルギー消費量

宮城 修 (大東文化大学スポーツ・健康科学部)

Energy expenditure during snowboarding estimated from the relational expression between heart rate and oxygen intake

Osamu MIYAGI

要 旨

本研究ではスノーボードの指導者ライセンスをもつ成年男子を対象にして、スノーボード滑走中における心拍数の変化を明らかにし、心拍数と酸素摂取量の関係式（以下、 $HR - \dot{V}O_2$ 関係式）からスノーボード滑走中のエネルギー消費量を推定することを目的とした。

$HR - \dot{V}O_2$ 関係式はトレッドミルを用いて速度を3分間ずつ150、180、210および240 $m \cdot min^{-1}$ の順に上昇させ、各速度における最後の1分間の心拍数と酸素摂取量を測定して最小二乗法により算出した。スノーボード滑走中の心拍数は携帯型心拍計を用いて1分ごとに測定し、滑走中の酸素摂取量は測定した心拍数を $HR - \dot{V}O_2$ 関係式に代入して算出し、酸素1Lあたり5kcalとしてエネルギー消費量を推定した。

結果については、スノーボード滑走中に測定した心拍数と最大心拍水準が $126.4 \pm 18.6 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $73.9 \pm 10.9\%$ であった。また、 $HR - \dot{V}O_2$ 関係式から推定したスノーボード滑走中のエネルギー消費量は $1149 \pm 55 \text{ kcal}$ 、そして体重あたりの1分間値が $0.141 \pm 0.006 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

以上の結果より、スノーボードの指導者ライセンスをもつ成年男子における120分間にわたる滑走において、エネルギー消費量が1100 kcalを超える高い値であることが明らかとなった。

I. 緒言

スポーツの活動中にどのくらいのエネルギーが必要とされているかを明らかにすることは、その競技種目のトレーニングプログラムを作成するうえで重要な基礎的資料となる。ヒトの活動時のエ

エネルギー消費量を求める方法には、酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2$ ）を明らかにして、その値をカロリーに換算する方法が一般的に用いられている^{2,14,16}。すなわち、酸素 1L あたりで体内の糖質だけが燃焼されたとすると 5.05kcal、脂質だけが燃焼されたとすると 4.96kcal のエネルギーが消費され、身体活動中はこれらの割合が変動し、その変動は一定時間内の二酸化炭素排出量を $\dot{V}O_2$ で除すことによって得られる呼吸商から判断する^{2,5,14}。運動時の呼吸商は概ね 0.9~1.0 となることから、 $\dot{V}O_2$ から身体活動中のエネルギー消費量を推定する場合は呼吸商を 0.96 と仮定して、酸素 1L あたり 5kcal として計算されている^{5,9,11}。これまでに各種スポーツ活動中における $\dot{V}O_2$ を検討した研究はいくつか報告されている^{3,14,15}。これらの報告ではダグラスバック法により、活動中のある時間帯に約 2 分から 3 分間の $\dot{V}O_2$ を測定して、エネルギー消費量を推測している。しかし、ダグラスバック法では測定時間の制限があるとともに、バックの膨らみ具合によっては選手の動きも制限してしまうために測定法として問題がある。

そこで、これに替わる方法として用いられるようになったのが、心拍数（以下、HR）から $\dot{V}O_2$ を推定する方法である^{5,10}。この方法はあらかじめトレッドミル走にて作成した HR と $\dot{V}O_2$ の関係式（以下、HR- $\dot{V}O_2$ 関係式）へ、運動中に測定した HR を代入して $\dot{V}O_2$ を推定している。すなわち、エネルギー代謝の増加につれて HR が増加すること、さらに $\dot{V}O_2$ と HR の間には高い相関関係があることを応用した方法である^{5,7,10,15}。

本研究ではこれらの方法を活用して、スノーボードの指導者ライセンスをもつ成年男子を対象にして、スノーボード滑走中における HR の変化を明らかにし、HR- $\dot{V}O_2$ 関係式からスノーボード滑走中のエネルギー消費量を推定することを目的とした。

II . 方法

1. 対象者

対象者は全日本スキー連盟公認のスノーボード準指導員資格をもつ成年男子 1 名であった。

2. 測定項目

1) 実験室での測定

身長と体重は身長体重計（TANITA 社製；BF220）を用いて測定した。身体組成は空気置換法による体脂肪測定装置（LMI 社製；BOD POD）を用いて身体密度を測定して、Brožek らの式¹⁾ から体脂肪率を算出し、体脂肪量と除脂肪体重を求めた。

最大酸素摂取量と最大心拍数（以下、HRmax）はトレッドミル走による漸増負荷法により測定した⁶⁾。その際における $\dot{V}O_2$ の測定は自動代謝測定装置（ミナト医科学社製；AE-310S）、そして HR の測定は携帯型心拍計（Polar 社製；S610i）を用いて行った。

対象者の HR- $\dot{V}O_2$ 関係式はトレッドミルを用いて、速度を 3 分間ずつ 150、180、210 および 240m・min⁻¹ の順に上昇させ、各速度における最後の 1 分間の HR と $\dot{V}O_2$ を測定して最小二乗法に

より1次回帰方程直線式を算出した。

2) スノーボード滑走中の測定

スノーボード滑走中のHRは、携帯型心拍計（Polar社製：S610i）を用いて1分ごとに測定した。滑走中の $\dot{V}O_2$ は上記により測定したHRをHR- $\dot{V}O_2$ 関係式に代入して算出し、酸素1Lあたり5kcalとしてエネルギー消費量を推定した。

スノーボード滑走中の測定は2021年2月4日～2月6日の期間中に北海道朝里川温泉スキー場で行い、1日目の午後、2日目の午前と午後、そして3日目の午前と午後を対象にして1回あたり120分間の滑走であった。測定した滑走斜面は朝里川温泉スキー場のパープルコースであり、全長が1100m、そして最大斜度が24度であった。このコースは全日本スキー連盟主催のスノーボード指導員検定会で用いられている斜面であり、リフトの乗車時間は6分50秒であった。なお、今回のスノーボードの滑走内容はショートターン、ミドルターン、及びロングターンであった。

Ⅲ. 結果

対象者の身体的特徴は表1に示しており、体脂肪率が12.3%、除脂肪体重が59.24kg、最大酸素摂取量が $48.5\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 、及びHRmaxが $171\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$ であった。

表1 対象者の身体的特徴

スノーボード歴	身長	体重	体脂肪率	体脂肪量	除脂肪体重	最大酸素摂取量	HRmax
(年)	(cm)	(kg)	(%)	(kg)	(kg)	($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$)
15	167.0	67.70	12.3	8.46	59.24	48.5	171

トレッドミル走により作成したHR- $\dot{V}O_2$ 関係式は表2に示したように $Y=36.351X-2693.123$ であり、この関係式の相関係数は0.971であった。

表2 対象者のHR- $\dot{V}O_2$ 関係式

HR- $\dot{V}O_2$ 関係式	相関係数
$Y=36.351X-2693.123$	0.971*

X : HR (beats/min) * : $P < 0.001$

Y : $\dot{V}O_2$ (ml/min)

スノーボード滑走中に測定したHRと最大心拍水準(以下、%HRmax)は表3のように、 $126.4 \pm 18.6 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $73.9 \pm 10.9\%$ であった。

HR- $\dot{V}O_2$ 関係式から推定したスノーボード滑走中のエネルギー消費量は表4に示したとおり、120分間の滑走におけるエネルギー消費量は $1149 \pm 55 \text{ kcal}$ 、そして体重あたりの1分間値が $0.141 \pm 0.006 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

表3 スノーボード滑走中のHRと%HRmax

滑走日	HR (beats \cdot min ⁻¹)	%HRmax (%)
2月4日午後	127.8 \pm 18.6	74.7 \pm 10.9
2月5日午前	127.8 \pm 18.6	75.4 \pm 10.5
2月5日午後	127.8 \pm 18.6	72.5 \pm 10.7
2月6日午前	127.8 \pm 18.6	73.5 \pm 11.3
2月6日午後	127.8 \pm 18.6	73.2 \pm 10.2
平均値 \pm 標準偏差	127.8 \pm 18.6	73.9 \pm 10.9

表4 HR- $\dot{V}O_2$ 関係式から推定したスノーボード滑走中のエネルギー消費量

滑走日	エネルギー消費量 (kcal)	体重あたりの1分間値 (kcal \cdot kg ⁻¹ \cdot min ⁻¹)
2月4日午後	1215	0.146
2月5日午前	1198	0.147
2月5日午後	1087	0.134
2月6日午前	1127	0.139
2月6日午後	1116	0.137
平均値	1149	0.141
標準偏差	55	0.006

3. 考察

本研究で対象とした成年男子の身体的特徴について、身体組成は体脂肪率が12.3%、そして除脂肪体重が59.24kgであり、これまでに報告されている一般成年男子³⁾に比較して体脂肪率がやや少なく、及び除脂肪体重が多かったことから筋肉量が同年代の成年男子よりも発達していると考えられた。全身持久力の指標である最大酸素摂取量は $48.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であり、これまでに報告されている同年代の成年男子³⁾に比べて同レベルであったと考えられる。

本研究で測定したスノーボード滑走中の HR と %HRmax は $127.8 \pm 18.6 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $73.9 \pm 10.9\%$ であった。これまでにスノーボード滑走中の HR と %HRmax の研究は加藤らによって行われており、 $115.7 \pm 13.0 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $57.0 \pm 6.4\%$ であったと報告されている¹³⁾。両者の結果を比較すると、本研究で得られた値は加藤らに比較して HR が平均で $12 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ 高く、推定身体活動強度の指標である %HRmax は 16.9% 高かった。この点については、本研究の対象者はスノーボードの指導者ライセンスをもつ成年男子であり、加藤らの報告¹³⁾に比較して技能レベルの優れていることが影響していると考えられる。加藤ら¹²⁾や松村⁴⁾はスキーにおける競技歴からみた心拍数の変動について研究しており、スキー滑走中の HR と %HRmax の変動についてスキー技能や競技歴の違いによって心拍応答が異なってくることを報告している。このことはスノーボード滑走中においても同様な傾向が生じると考えられ、すなわち対象者の技能レベルによって異なってくる滑走内容が心拍応答に影響したと推察される。

本研究ではこれまでに報告されていないスノーボード滑走中のエネルギー消費量を明らかにすることを試み、滑走中に測定した HR をあらかじめ作成した HR- $\dot{V}O_2$ 関係式に代入して $\dot{V}O_2$ を算出してエネルギー消費量を推定したところ $1149 \pm 55 \text{ kcal}$ 、そして体重あたりの 1 分間値が $0.141 \pm 0.006 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。スノーボード滑走中のエネルギー消費量については先行研究がないことから、各スポーツ活動中のエネルギー消費量について検討している高見らの報告を参考にすると、サッカーの試合中におけるエネルギー消費量に近い値であった。高見らは 90 分間のサッカーの試合中におけるエネルギー消費量は $1154 \pm 213 \text{ kcal}$ 、そして体重あたりの 1 分間値が $0.173 \pm 0.022 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であったと報告しており、それらの結果に比較してスノーボード滑走中のエネルギー消費量は平均で 114 kcal 低く、体重あたりの 1 分間値も $0.046 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 低かった。この点についてはスノーボードの滑走ではリフトの乗車時間があり、今回のスキー場で使用したコースのリフト時間は 1 回あたり 6 分 50 秒要していたことが大きく影響していると考えられた。

なお、今後の課題として、本研究では $\dot{V}O_2$ の推定にトレッドミル走による負荷漸増時に作成した HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を用いた。この点については、負荷の漸増時と漸減時において HR と $\dot{V}O_2$ の関係が異なってくること⁸⁾を考慮すると、あらかじめ負荷漸増時と負荷漸減時の HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を作成しておき、滑走中に HR が上昇あるいは変化がなかった場合は負荷漸増時に作成した HR- $\dot{V}O_2$ 関係式、そして HR が下降した時には負荷漸減時の HR- $\dot{V}O_2$ 関係式を用いることによって、推定誤差を小さくすることが可能ではないかという点を検討したいと考えている。

V. 要約

本研究ではスノーボードの指導者ライセンスをもつ成年男子を対象にして、スノーボード滑走中における HR の変化を明らかにし、HR- $\dot{V}O_2$ 関係式からスノーボード滑走中のエネルギー消費量を推定することを目的とした。

得られた結果は、以下のとおりである。

スノーボード滑走中に測定したHRと%HRmaxは $127.8 \pm 18.6 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ と $73.9 \pm 10.9\%$ であった。

HR- $\dot{V}O_2$ 関係式から推定したスノーボード滑走中のエネルギー消費量は $1149 \pm 55 \text{ kcal}$ 、そして体重あたりの1分間値が $0.141 \pm 0.006 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ であった。

以上の結果より、スノーボードの指導者ライセンスをもつ成年男子における約2時間30分にわたる滑走においてエネルギー消費量が1000 kcalを超える高い値であることが明らかとなった。

文献

- 1) Brožek, J., F. Grande, J. T. Anderson and A. Keys: Densitometric analysis of body Composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140, 1963.
- 2) 石河利寛: 消費カロリーの測定法とその問題点 *体育の科学* 36, : 884-885, 1986.
- 3) 北川 薫編著: *運動とスポーツの生理学*. 第4版, 市村出版: 2020, 90-94.
- 4) 松村悦博: スキー競技における競技歴からみた心拍数の分析. *日本大学芸術学部紀要*, 35: 131-136, 2001.
- 5) 宮城 修, 瀧 弘之: HR- $\dot{V}O_2$ 回帰方程直線式によるサッカーの試合中におけるエネルギー消費量の推定. *体育研究*, 34: 31-36, 2000.
- 6) 宮城 修, 須佐徹太郎, 北川 薫; サッカー選手の試合中の生理学的特徴および動きの特徴. *デサントスポーツ科学*, 18: 231-238, 1997.
- 7) Morgan, D. B. and T. Bennett: The relation between heart rate and oxygen consumption during exercise. *J. Sports Med.*, 16: 38-44, 1976.
- 8) 永井 猛, 青木純一郎, 形本静夫: 種々なるタイプのエルゴメトリー時, 負荷上昇時および下降時における心拍数-酸素摂取量関係. *東京体育学研究* 3, : 45-53, 1976.
- 9) 大串哲郎, 大橋二郎, 鈴木滋, 木幡日出男; 酸素摂取量からみた運動強度の測定. *平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集*: 1989, 55-61.
- 10) 大道 等, 岩崎輝雄: 非定常状態における心拍数と酸素摂取量の相関. *体育の科学*, 32: 869-874, 1982.
- 11) Seliger, V.: Energy metabolism in selected physical exercise. *Int. Z. angew. Physiol.*, 25: 104-120, 1968.
- 12) 加藤貴英, 高津浩彰, 伊藤道郎: 心拍数からみたスキー教育時の身体活動強度. *高専教育*, 32: 579-584, 2009.
- 13) 加藤貴英, 高津浩彰, 伊藤道郎: スキー・スノーボード実習中の心拍応答からみたスキー教育の身体活動強度. *豊田工業高等専門学校研究紀要*, 43: 107-110, 2010.
- 14) 高見京太, 北川 薫, 石河利寛; 酸素摂取量実測によるスポーツ活動中のエネルギー消費量. *体力科学*, 42: 257-264, 1993.

- 15) 山地啓司：酸素摂取量から身体運動のエネルギーを推定する. Jpn.J.Sports Sci.,11: 150-160, 1992.
- 16) 山地啓司：心拍数の科学. 初版, 大修館書店：1981, 222-223.