

原著論文

フリースタイルスキー・モーグル競技における運動強度の推定
Estimating exercise intensity for freestyle ski mogul

中里浩介^{1),2)}, 袴田智子¹⁾, 石毛勇介¹⁾
Kosuke Nakazato^{1),2)}, Noriko Hakamada¹⁾, Yusuke Ishige¹⁾

Abstract: The purposes of this study were to estimate exercise intensity during mogul skiing using heart rate and to clarify the physiological characteristics of mogul skiing using blood lactate concentration. Additionally, to clarify the characteristics of mogul skiing by comparison, a 40-s incline side jump test and mogul ski performance points were compared. Six male and six female subjects belonging to the Japanese national ski team took part in this study. The study took place at the moguls World Cup in Tazawako, Akita, Japan. Blood lactate concentrations were measured three, five, and seven minutes after the finish using a lactate auto analyzer. Additionally, relative blood lactate concentration was calculated with respect to the maximum blood lactate concentration, which was measured after the 40-s incline side jump test. Three male and three female participants took part in the heart rate measurement during the competition. To estimate exercise intensity, relative heart rate during the competition was calculated with respect to the maximum heart rate measured during the maximum oxygen uptake test. To evaluate the relationships between lactate concentration and time point and between the number of 40-s incline side jumps, lactate concentration after the 40-s incline side jump test and time point, Pearson's correlation coefficient was tested. The average maximum blood lactate concentration after the competition was $7.6\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ for the males and $8.6\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ for the females. The average heart rate during the competition was 182.3bpm for the males and 182.8bpm for the females. There was no correlation between lactate concentration and time point; however, there was a positive correlation between the number of 40-s incline side jumps and time point. Based on the results of this study, mogul skiing can be defined as a high-intensity exercise requiring anaerobic endurance.

Keywords : heart rate, blood lactate, anaerobic endurance, time point, 40-s incline side jump test

キーワード : 心拍数, 血中乳酸濃度, 無酸素性持久力, タイムポイント, 40秒傾斜ジャンプテスト

¹⁾ 国立スポーツ科学センター, ²⁾ 北海道情報大学

¹⁾ Japan Institute of sports Science, ²⁾ Hokkaido Information University

E-Mail : kosukenakazato@gmail.com

受付日 : 2018年5月11日

受理日 : 2019年5月23日

I. 緒言

スキーモーグル（以下、モーグル）はスキーフリースタイル競技の1つであり、長さ220～270m程度、平均斜度26度程度の連続するコブ（雪面の凹凸）斜面を、ターンを繰り返しながら滑走し、途中で2度のエア（ジャンプ）を行う競技である。現在行われているモーグル競技には、オリンピック種目である1人で滑るモーグル競技と、非オリンピック種目である2人の選手が同時に滑りトーナメント方式で対戦するデュアルモーグル競技がある。競技時間は会場の斜面の長さおよび斜度によって異なり、男子で22～25秒程度、女子では26～30秒程度である。モーグル競技における勝敗は、タイムポイント（20%）、エアポイント（20%）そしてターンポイント（60%）の合計で争われる。タイムポイントは、コースの長さから算出される男女それぞれのペースタイムと、選手自身の滑走タイムとの差分から算出される。一方、エアポイントは2名、ターンポイントは5名の審査員による採点項目となっている。ワールドカップを含む多くのモーグル競技会では、競技会の開始前にコースインスペクションと呼ばれる滑走コースの下見が行われる。さらに、コースインスペクション後に公式トレーニングと呼ばれる実際のコース滑走が行われる。多くの競技会では滑走コースが4つほどあり、コースによってコブの大きさや間隔そしてエア台の形状が若干異なる。そのため、公式トレーニングで実際に滑走してコース状況を確認し、競技会で滑走するコースを決定する。公式トレーニングが終了した後、選手はスタート場所に集合し競技会が開始される。これらコースインスペクション～公式トレーニング～競技会のサイクルは、ワールドカップでは予選、ファイナル、スーパーファイナルと3度繰り返されることになる。

モーグルは他の雪上系種目と同様にシーズンスポーツであり、トレーニングはオフシーズンの陸上トレーニングとオンシーズンの雪上トレーニングとに分けることが出来る。陸上トレーニングを考えるうえでは、その競技に必要な体力要素や競

技中の運動強度などが分かっていることが重要であるが、モーグル競技に関する科学的報告は同じ雪上系種目であるアルペンスキーと比較して十分ではない。

これまで報告されているアルペンスキーにおける運動強度の推定には、最大酸素摂取量に対する酸素摂取量（ $\% \dot{V}O_2\max$ ）や最大心拍数に対する心拍数（ $\%HR\max$ ）が用いられている^{4,11,12,15}。アルペンスキー大回転競技滑走中の運動強度は $87\%HR\max$ ⁴ または $160\% \dot{V}O_2\max$ ¹⁵ であることが報告されており、回転競技においては $87 \sim 95\%HR\max$ ¹¹ または $200\% \dot{V}O_2\max$ ¹⁵ であることが報告されている。また、ポールなどで規制されていない斜面を、アルペンスキーを用いて自由に滑るフリースキー滑走中の運動強度は $87\%HR\max$ であることが報告されている¹²。一方、モーグル競技においてトレーニングまたは競技会滑走中の心拍数および酸素摂取量を測定した研究は我々の知る限り見当たらない。競技会における生理学的特徴を明らかにするためには、競技環境を模した実験環境下よりも実際の競技会で計測することが望ましい。競技会においては、携帯型呼気ガス分析装置やダグラスバッグを背負わせて滑走することが不可能なため、競技会中の酸素摂取量の計測は不可能である。そのため、競技会中のモーグル競技の生理学的特徴を明らかにする最も有効な方法として心拍数が挙げられる。

心拍数と同様に生理学的指標である血中乳酸濃度は、活動筋で産生された乳酸の血中の濃度を示している。運動後の血中乳酸濃度の数値が高いことは運動に動員された筋が多いことを示しており⁷、その運動の生理学的特徴を考える上で役に立つ。アルペンスキー滑走直後の血中乳酸濃度に関してはこれまでにいくつか報告されている。ワールドカップ出場経験者を含むイタリア代表選手を対象とした回転競技および大回転競技滑走直後の血中乳酸濃度は、それぞれ $11.7\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ および $12.4\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ であることが報告されている¹⁵。また、国内の大学生アルペンスキー選手の回転競技および大回転競技滑走直後の血中乳酸濃度は、

それぞれ $6.9\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ および $6.8\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ であり、この値は 40 秒間全力ペダリングテスト後の最大血中乳酸値の 62.6% および 60.9% であることが報告されている¹⁶⁾。

また、モーグル競技の運動時間は約 30 秒程度であるため、モーグル競技の競技力を高めるためには、非乳酸性と乳酸性のエネルギー供給量を高めることが重要であると予想される。なぜなら、30 秒間全力ペダリングテストの平均パワーや 300m および 400m 走のタイム（パフォーマンス）と運動終了後における最大血中乳酸濃度との間に有意な相関関係が認められているからである^{5,6,9,10)}。しかし、モーグル競技における競技会後の血中乳酸濃度を測定している研究は見当たらない。

さらに、モーグル競技の運動時間は 30 秒程度であることから、無酸素性持久力が高い方がモーグルの競技力が高いと考えられる。現在、国立スポーツ科学センター（以下、JISS）においてアルペンスキー選手の無酸素性持久力は、スキーの競技特性を考慮した 40 秒傾斜ジャンプテスト（図 1）

を用いて評価している。JISS で考案した 40 秒傾斜ジャンプテストとは、スキー競技のターン動作と同様に左→中央→右→中央と全力で素早くジャンプを繰り返す運動である。40 秒傾斜ジャンプテスト終了後の最大血中乳酸濃度が高値を示すことから、科学的根拠は現在のところないが、JISS では 40 秒傾斜ジャンプの総回数を用いて無酸素性持久力の評価をしている。モーグル競技終了直後の血中乳酸濃度の測定は一般的には困難なため、40 秒傾斜ジャンプテストにおける総回数やテスト後の最大血中乳酸濃度と、モーグル競技のパフォーマンスポイントとの間に相関関係が認められれば、40 秒傾斜ジャンプテストはモーグル競技のパフォーマンスを評価できる有効なテスト項目となり得る。

そこで本研究の目的は、モーグル競技会における心拍数および血中乳酸濃度を測定し、モーグルの運動強度および生理学的特徴を明らかにすること、また、我々が無酸素性持久力の評価に用いている 40 秒傾斜ジャンプテストの総回数およびテスト後の最大血中乳酸濃度とモーグル競技会にお

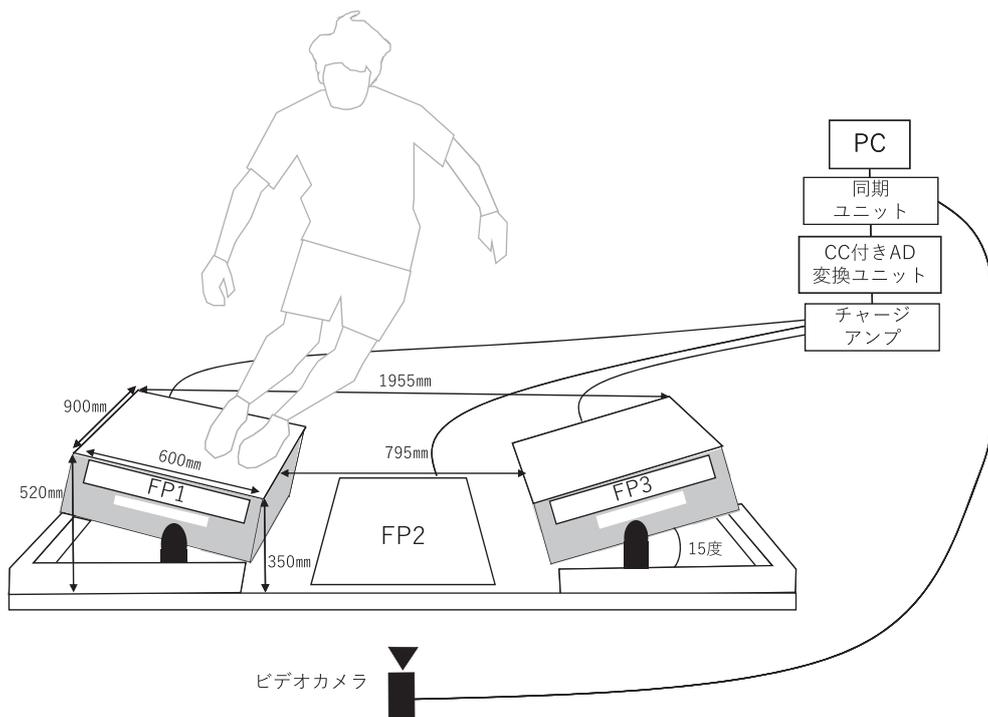


図1 40秒傾斜ジャンプテストに使用している傾斜台の概略図

けるパフォーマンスとの関連を明らかにすることである。

II. 方法

1. 被験者

本研究には、全日本スキー連盟のナショナルチームに所属する男子6名（年齢 21.7 ± 4.8 歳、身長 169.6 ± 3.5 cm、体重 68.5 ± 8.2 kg）および女子6名（年齢 22.5 ± 5.5 歳、身長 157.9 ± 4.6 cm、体重 50.8 ± 2.5 kg）が参加した。測定に用いられた競技会は、2017年2月18日に開催された、国際スキー連盟（以下、FIS）ワールドカップ田沢湖大会モーグル競技であった。本研究は、国立スポーツ科学センター倫理委員会による承認を受け（承認番号064号）、実験に先立ち、被験者に対し実験の目的と方法およびそれに伴い起こりうる危険性の説明を行い、内容を理解してもらったうえで実験参加の承諾を得た。

2. モーグル競技会での測定

モーグル競技会での血中乳酸濃度の測定には、ラクテート・プロ2（LT-1730：アークレイ株式会社、京都、日本）を用い、ゴールライン通過3分、5分、7分後に耳朶から採血を行った。寒冷環境において毛細血管が収縮し血流が悪くなることを考慮し、選手が測定位置に到着後計測時間に至るまで測定者により可能な限り耳朶を軽くマッサージし採血した。各時間における血中乳酸濃度の値は、2台のラクテート・プロ2で計測された血中乳酸濃度の平均値とし、その最大値を競技会直後の最大血中乳酸濃度（Lamax）とした。滑走中の心拍数は、携帯型心拍計測計（RS800CX、ポラール・エレクトロ・ジャパン、東京、日本）を用いて5秒間の平均値を計測した。心拍数の計測には、トランスミッター付きベルトを装着した状態で滑走してもパフォーマンスに支障がないと選手自身が判断した男子3名（年齢 23.3 ± 6.8 歳、身長 169.3 ± 4.5 cm、体重 71.2 ± 5.6 kg）および女子3名（年齢 21.3 ± 6.8 歳、身長 160.9 ± 4.3 cm、体重 51.5 ± 2.2 kg）が参加した。トランスミッター

付き胸ベルトは競技会当日に選手自身により装着され、大会会場のゴール付近にて時計型受信機との同期を行った。受信機の動作確認を行った後、心拍数の記録を開始した。受信機は滑走中の手部の動きの妨げにならないようにスキーウェアのポケットに収納した。受信機の記録開始とストップウォッチのスタートとを手動で同期し、スタート地点で選手が動き始めた時点をスタート、ゴールラインを両足部が通過した時点をゴールとし、スタートとゴールを含む区間の平均心拍数をモーグル競技滑走中の心拍数とした（HRmo）。モーグル競技中の運動強度を示す指標として、2015年11月にJISSで実施した、トレッドミルを用いた最大酸素摂取量の測定時に観察された最大心拍数（HRmax）に対するHRmoの値（%HRmax_mo）、およびHRmaxに対する滑走中の最大心拍数（%HRmax_mo_max）を算出した。また、公式トレーニングでは、スタートからゴールまで通して滑走する被験者はおらず、競技会と同様の滑走中の平均心拍数の算出が出来なかった。そのため、公式トレーニング中の運動強度の指標として、HRmaxに対する公式トレーニング時の最大心拍数（%HRmax_tr）を算出した。

3. 40秒傾斜ジャンプテスト

40秒傾斜ジャンプテストは、アルペンスキー競技の無酸素性持久力の測定に用いられているハイボックスジャンプテスト¹³⁾および全力ペダリングテスト^{12,3)}等を参考に考案されたものである。傾斜ジャンプ台の左右の傾斜板および中央には3枚の地面反力計（9287C：日本キスラー株式会社、神奈川、日本）が設置されており、左右の傾きは15度に設定されている（図1）。40秒傾斜ジャンプテストは、2016年11月にJISSで実施した。測定に先立ち被験者には、計測は全力で行うこと、左右および中央の板に両足部が乗るように跳ぶ事を伝えた。その後、傾斜ジャンプ台を用いたウォーミングアップを行わせ、加えて10秒程度最大努力でジャンプを行わせた。ウォーミングアップ後、十分な休息を挟み測定を実施した。測

定は1人1回とし、全ての選手はFP1の板の上から測定者の合図でスタートし、中央→右→中央→左…と40秒間最大努力でジャンプを繰り返した。ジャンプの回数は、傾斜ジャンプ台に設置されている地面反力計を用いて計測した。地面反力計から出力されたデータは、チャージアンプ(9865E:日本キスラー株式会社、神奈川、日本)、CC付きUSB80chAD変換ユニット(PH-676:株式会社DKH、東京、日本)を介しPCに取り込まれた。分析ソフト(TRIAS:株式会社DKH、東京、日本)を用いて得られた地面反力の時系列データからジャンプ回数を算出した。さらに、高速ビデオカメラ(BASLER A600f:株式会社DKH、東京、日本)を、カメラの光軸と動作とが直交するように配置し、60fpsで被験者の動作を撮影した。ビデオカメラの映像は、同期信号発生装置(KY-500:株式会社DKH、東京、日本)を介して地面反力計のデータと電気的に同期し、PCに取り込まれた。得られた動画より踏み外しなどの失敗ジャンプは回数に含まないようにした。テスト終了3分、5分、7分後における血中乳酸濃度を2台のラクテート・プロ2で計測した。運動終了後各時間の血中乳酸濃度は2台のラクテート・プロ2で計測された値の平均値を採用し、その最大値を40秒傾斜ジャンプ後の最大血中乳酸濃度(Lamax40s)とした。また、Lamax40sに対する競技会直後の最大血中乳酸濃度(Lamax)の値(%La40s)を算出した。

4. 統計処理

各測定項目の値は平均値±標準偏差で示した。

モーグル競技会のパフォーマンスと40秒傾斜ジャンプテストの総回数、テスト後の最大血中乳酸濃度およびモーグル競技会後の最大血中乳酸濃度との関連を調べるため、パフォーマンスポイントのうち採点項目ではないタイムポイントと各測定項目との相関係数をPearsonの積率相関分析を用いて求めた(SPSS Statistics 24, IBM Japan, 東京, 日本)。統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。

Ⅲ. 結果

表1はタイムポイント、ターンポイントおよびエアポイントと競技会滑走直後の最大血中乳酸濃度および心拍数の男女それぞれの結果を示したものである。女子の競技会後の最大血中乳酸濃度の平均値は $8.6 \pm 1.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、男子は $7.6 \pm 1.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ であった(表1)。最大血中乳酸濃度が最も低かった選手は男子選手の $5.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ であり、最も高かった選手は女子選手の $11.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ であった(表1)。全選手の最大血中乳酸濃度は滑走後5分または7分で現れた。

女子選手3名の滑走中の心拍数は $182.8 \pm 7.4 \text{ bpm}$ であり、その相対心拍数は $96.6 \pm 2.4\% \text{ HRmax}$ であり、男子選手3名の心拍数は $182.3 \pm 5.3 \text{ bpm}$ であり、その相対心拍数は $91.1 \pm 2.0\% \text{ HRmax}$ であった(表1)。また、全選手の滑走中の心拍数は、平均で $182.5 \pm 5.8 \text{ bpm}$ であり、相対心拍数は平均で $93.9 \pm 3.6\% \text{ HRmax}$ であった。公式トレーニング中の最大心拍数は、女子選手では $98.9 \pm 2.1\% \text{ HRmax}$ 、男子選手では $96.6 \pm 2.9\%$

表1: 競技会の各パフォーマンスポイント、血中乳酸濃度および心拍数の結果

		Time point (Point)	Turn point (Point)	Air point (Point)	Lamax ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	HRmax (bpm)	HRmo (bpm)	%HRmax_mo- max (%)	%HRmax_mo (%)	%HRmax_tr (%)
Women	Mean ± SD	12.65 ± 1.32	39.8 ± 5.8	8.64 ± 1.42	8.6 ± 1.7	189.3 ± 9.5	182.8 ± 7.4	99.5 ± 2.3	96.6 ± 2.4	98.9 ± 2.1
	Maximum	14.09	30.9	10.78	11.7	199	191.4	101.0	99.2	101.0
	Minimum	10.90	45.1	7.01	7.4	180	178.4	96.8	94.4	96.8
Men	Mean ± SD	15.29 ± 1.01	48.8 ± 2.7	12.99 ± 2.36	7.6 ± 1.3	200.0 ± 2.0	182.3 ± 5.3	97.5 ± 2.8	91.1 ± 2.0	96.6 ± 2.9
	Maximum	17.01	51.6	15.80	5.7	202	188.3	100.5	93.2	100.0
	Minimum	14.03	45.2	9.92	9.2	198	178.4	95.0	89.2	94.9

パフォーマンスポイントおよび血中乳酸濃度は男女それぞれ6名、心拍数は男女それぞれ3名の平均値(Mean)、標準偏差(SD)、最大値(Maximum)および最小値(Minimum)を示す。

HRmaxであった(表1)。

表2は40秒傾斜ジャンプテストの結果を示したものである。40秒傾斜ジャンプテストの女子の平均値は104.8 ± 6.4回であり、男子は116.8 ± 10.4回であった。女子の最大値は115回、男子の最大値は134回であった。40秒傾斜ジャンプテスト終了後の最大血中乳酸濃度は、女子では12.6 ± 0.7mmol・L⁻¹、男子では14.4 ± 2.0mmol・L⁻¹であった(表2)。モーグル競技会後の最大血中乳酸濃度は、40秒傾斜ジャンプテスト後の最大血中乳酸濃度に対して68.3 ± 12.6%(女子)、54.6 ± 15.0%(男子)であった(表2)。

図2aは競技会全体を通して計測した代表的な男子1名の公式トレーニング時の心拍数の結果を示したものである。男子公式トレーニングは10時45分から11時15分まで行われた。図2aで示した選手は、公式トレーニングを3本滑走しており、トレーニング中の最大心拍数は2本目に記録された202bpm(100.0%HRmax)であり、競技会中の最大心拍数(203bpm、100.5%HRmax)と同程度であった。図2bは競技会中の心拍数を示したものである。滑走中の心拍数は、スタート直前から163bpm(80.7%HRmax)であり、ゴールに向けて高くなりゴール付近では203bpm(100.5%HRmax)に達していた。

相関分析の結果、男女ともに滑走直後の最大血中乳酸濃度(Lamax)とタイムポイントとの間に有意な相関関係は認められなかった(表3a,b)。40秒傾斜ジャンプテストとタイムポイントの相関分析の結果、男子選手において40秒傾斜ジャンプ

プテストの総回数とタイムポイントとの間に有意な正の相関関係が認められた(表3b, 図3:r = 0.875, p <0.05)。

IV. 考察

これまでモーグル競技における競技会中の心拍数および血中乳酸濃度を測定した報告は我々の知る限り見当たらないことから、本研究の知見は極めて貴重であると考えられる。

1. 心拍数

本研究結果から得られたモーグル競技中の平均心拍数は90%HRmax以上であったため、心拍数から推定される運動強度は高強度運動に属すると考えられる。これはアルペンスキー大回転競技(87%HRmax)、回転競技(87~95%HRmax)、およびアルペンスキーを用いてポールで規制されていない斜面を自由に滑るフリースキー滑走中の運動強度(87%HRmax)と同程度であった^{4,11,12,16}。また、モーグル競技滑走中の平均心拍数は180bpm以上であり、アルペンスキー大回転競技滑走中の平均心拍数(167~177bpm)よりも高かった^{4,13}。モーグルスキー滑走中に心拍数が高まる主な要因として、モーグルの特徴的な動作である膝および股関節の素早い屈曲伸展位動作が挙げられる。モーグルではアルペンスキーと同様に、ターン運動中に下肢の屈曲伸展位動作を繰り返している^{13,14}。モーグルではターン運動に加えコブを越える動作を行っているため、滑走中の膝関節における屈曲伸展位動作の可動範囲はアルペンスキーと比較しても大きく、その角速度はアルペンスキーの4倍以上になる^{8,14}。この素早い下肢の屈曲伸展位動作に下肢の筋が動員されるため、モーグル競技中の心拍数はアルペンスキー大回転および回転競技中の心拍数と比較して高かったと考えられる。

モーグル競技における公式トレーニングでは、競技会とは異なりスタートからゴールまで通して滑ることがほとんどない。多くの選手が第1エアを跳び、ミドルセクションと呼ばれる中間部を通

表2: 40秒傾斜ジャンプテストの結果

		40s Jump (Times)	Lamax40s (mmol・L ⁻¹)	%La40s (%)
Women	Mean ± SD	104.8 ± 6.4	12.6 ± 0.7	68.3 ± 12.6
	Maximum	115	13.3	90.7
	Minimum	96	11.2	55.3
Men	Mean ± SD	116.8 ± 10.4	14.4 ± 2.0	54.6 ± 15.0
	Maximum	134	15.7	80.0
	Minimum	107	11.5	39.1

男女それぞれ6名の平均値(Mean)、標準偏差(SD)、最大値(Maximum)、最小値(Minimum)を示す。

過した時点で止まり、その後再び滑走を開始し、ミドルセクションから第2エアを跳びゴールまで滑走していた。公式トレーニングの主な目的は滑走コースの選択であり、コース状況を細かく確認するため、このように区間を区切った滑走方法になったと考えられる。そのため公式トレーニングにおいては競技会と同様にスタートからゴールまでの平均心拍数を算出することはできなかった。従って、本研究では公式トレーニングの心拍数をHRmaxに対する公式トレーニング中の最大心拍数の相対値(%HRmax_tr)を用いて評価した。その結果、公式トレーニングにおいても競技会と同程度まで心拍数が上昇していることが明らかと

なった。また、公式トレーニングでは多くの選手が3本滑走しており、公式トレーニング中に最大心拍数が現れるパターンは、1本目から3本目にかけて徐々に心拍数が上がっていくパターン、3本を同程度の心拍数で滑走するパターン、2本目に最大心拍数を迎えるパターンなどがあり、選手によって異なっていた。これらのパターンを選手が意図的に行っているかどうかについては、本研究からは断言出来ない。

2. 血中乳酸濃度

本研究で観察されたモーグル競技における全選手の最大血中乳酸濃度の平均値は $8.1 \pm 1.5\text{mmol}\cdot$

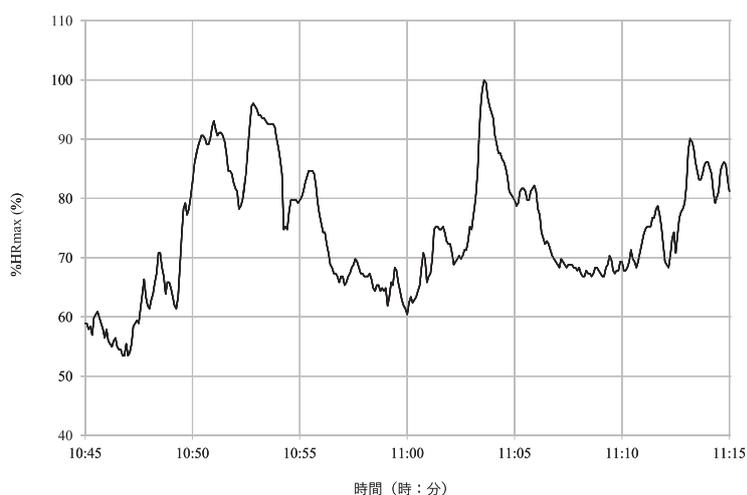


図2 a. 男子選手1名の公式トレーニング時の相対心拍数 (%HRmax)

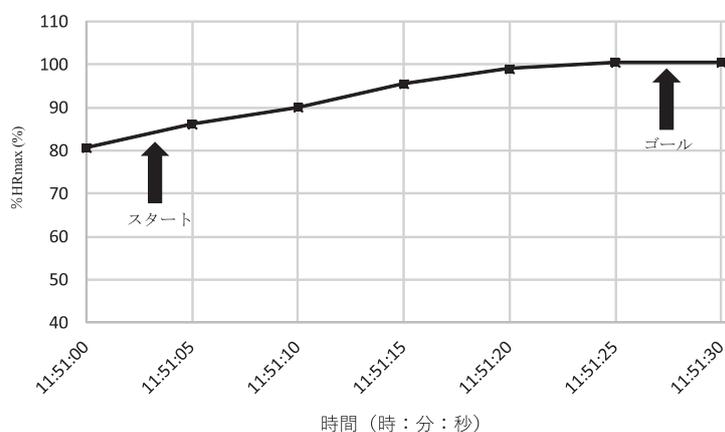


図2 b. 男子選手1名の競技会中の相対心拍数 (%HRmax)

L⁻¹であった。モーグル滑走直後の最大血中乳酸濃度の平均値 (8.1mmol・L⁻¹) は、国内の大学生アルペンスキー選手の回転競技後の平均値 (6.9mmol・L⁻¹) よりも高値を示し¹⁶⁾、ワールドカップ出場経験者を含むイタリア代表アルペンスキー選手の回転競技後の平均値 (11.7mmol・L⁻¹) よりも低値であった¹⁵⁾。モーグル競技後の最大血中乳酸濃度は、無酸素性持久力の評価に用いている 40 秒傾斜ジャンプテスト後の最大血中乳酸濃度の 6 割程度であった。山本らは、大学生アル

ペンスキー選手とワールドカップ出場経験者を含むイタリア代表アルペンスキー選手の回転および大回転競技終了後の最大血中乳酸濃度の値が異なる要因として、競技レベルの違いによる滑走技術および体力要素、特に無酸素性エネルギー供給機構時の発揮パワーの差および有酸素性エネルギー供給能力の差を挙げている¹⁶⁾。

本研究におけるモーグル競技終了後の最大血中乳酸濃度は、被験者の競技レベルに近いイタリア代表のアルペンスキー回転競技者の回転競技滑走

表 3a. 女子選手における相関分析の結果

Time point	Lamax	Lamax40s	%La40s	40s Jump
Time point	.359	.593	.231	.000
Lamax		.380	.968**	.565
Lamax40s			.138	.386
%La40s				.491

Lamaxは競技会後の最大血中乳酸濃度、Lamax40sは40秒傾斜ジャンプテスト後の最大血中乳酸濃度、%La40s はLamax40sに対するLamaxの割合、40s Jumpはジャンプの総回数を示す。**P < 0.01

表 3b. 男子選手における相関分析の結果

Time point	Lamax	Lamax40s	%La40s	40s Jump
Time point	-.697	.235	-.544	.875*
Lamax		-.426	.872*	-.803
Lamax40s			-.797	.040
%La40s				-.520

Lamaxは競技会後の最大血中乳酸濃度、Lamax40sは40秒傾斜ジャンプテスト後の最大血中乳酸濃度、%La40s はLamax40sに対するLamaxの割合、40s Jumpはジャンプの総回数を示す。*P < 0.05, **P < 0.01

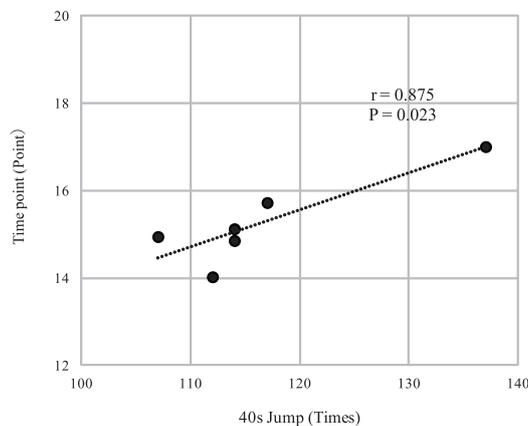


図 3. 40秒傾斜ジャンプテストの総回数とタイムポイントとの関係

後の最大血中乳酸濃度(11.7mmol・L⁻¹)¹⁵⁾と比較し、低値を示した。その要因として両競技の運動時間が異なることが挙げられる。先行研究に用いられた回転競技の競技時間が55秒¹⁶⁾であるのに対し、本研究のモーグルの滑走タイムは男子が平均で23.82秒、女子が30.12秒と短かった。競技時間が長いと運動に必要な全エネルギーに対する無酸素性エネルギーの割合は低下するもの⁵⁾、乳酸性エネルギー供給機構が働いている時間は長くなる。従ってモーグル競技の乳酸産生時間は回転競技と比較して短かったことが、滑走後の最大血中乳酸濃度が低くなった要因と考えられる。

本研究結果では、モーグル競技においてパフォーマンスポイントの一つであるタイムポイントと、滑走直後の最大血中乳酸濃度との間に相関関係は認められなかった。陸上競技100m走および200m走においては、疾走タイムと疾走後の最大血中乳酸濃度との間に相関関係は認められず、その理由として競技に必要な全エネルギーに対する乳酸性エネルギーの占める割合が低く、血中乳酸濃度が競技の特徴を示せていないことが挙げられている⁶⁾。本研究における滑走タイムは、男子の平均が23.82秒、女子の平均が30.12秒であり、Hautierらの報告にある200m走(22.63秒)との差はわずかであることから、モーグル競技においても200m走と同様に競技に必要な全エネルギーに占める乳酸性エネルギー供給系の割合が少ないため、競技終了後の最大血中乳酸濃度とパフォーマンスとの間に相関が認められなかったと推測される。

3. 40秒傾斜ジャンプテスト

本研究結果では男子選手において40秒傾斜ジャンプテストの総回数とタイムポイントとの間に有意な正の相関関係が認められた。40秒傾斜ジャンプテストの総回数が高いということは、40秒間に左右へジャンプを素早く行う能力が高いことを示している。モーグル競技においてタイムポイントの高い選手は、高い滑走速度で滑っていると考えられる。仮に同じコースを異なる速度で

滑った場合、滑走速度が高い選手は滑走速度が低い選手と比較するとターンからターンまでの時間が短くなり、コブから次のコブまでの時間も短くなるため、より速く左右へ動かなければならない。従ってタイムポイントの高い選手は、左右に素早くジャンプする能力である40秒傾斜ジャンプテストの総回数(無酸素性持久力)が高いことが示唆された。

アルペンスキー選手の無酸素性持久力を評価するために作成されたハイボックステスト(高さ40cmのボックスを用いた90秒間の左右の連続ジャンプ)は、その総回数とアルペンスキー大回転の滑走タイムとの間に相関関係が認められており、ハイボックステストは大回転競技の特性を反映していると報告されている¹⁾。モーグル競技においても40秒傾斜ジャンプテストの総回数とタイムポイントとの間に相関が認められたことから、40秒傾斜ジャンプテストはモーグル競技の特性を反映していると考えられる。今後は40秒傾斜ジャンプテストの妥当性を明らかにし、ジャンプの総回数の向上とタイムポイントとの関係を調べることで、モーグル競技に対する40秒傾斜ジャンプテストの有効性を明らかにすることが必要である。

4. 本研究における限界

本研究は国際大会であるワールドカップを対象として生理学的指標の計測を行った。このことは実際の競技の特徴を明らかにする上で貴重なデータとなりうるが、いくつかの限界がある。第一に、心拍数の測定を実施できた被験者が少なかったことが挙げられる。また、本研究結果は一会場のみで計測されたデータであり、滑走する斜度やコースの長さなどによっても運動強度は異なる可能性がある。今後は被験者数および会場数を増やし、データの客観性を向上させることが求められる。

次に、これまでのアルペンスキーの生理学的指標を計測した先行研究では競技会を模した状況下で計測されているのに対し、本研究では国際大会において計測を行なったため、心理的プレッ

シャーまたは興奮等による交感神経系の働きによりスタート直前から心拍数が高い状態であった可能性も考えられる。今後、国際大会における心理的な要因による影響を明らかにするためには、心理的なプレッシャーが少ない競技会を模した実験環境下での心拍数を計測し、本研究と比較・検討する必要がある。

最後に、国際大会では選手およびコーチ以外がスタート地点に行くことはできないため、測定者がスタートに行くことができなかった。さらに競技会のスケジュールにより選手がゴール付近に留まる時間がなかったため、安静時または競技会前の血中乳酸濃度の計測ができなかった。今後、公式トレーニングの前後での血中乳酸濃度の変化や、競技会前の血中乳酸濃度を明らかにするためには競技会と同様のスケジュールを設定した実験環境下での測定を行う必要がある。

V. 結論

本研究結果より、心拍数から推定されるモーグル競技滑走中の運動強度は90%HRmax以上であり、高強度運動に属しているといえる。また滑走後の血中乳酸濃度は平均で $8.1\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ であり、無酸素性持久力の評価に用いられている40秒傾斜ジャンプテスト後の血中乳酸濃度の約6割の値であった。また、40秒傾斜ジャンプテストの総回数はタイムポイントとの間に相関関係が認められたことから、40秒傾斜ジャンプテストはモーグル競技の特徴をある程度反映しているテストであると考えられる。

文献

- 1) Andersen R, Montgomery D, Turcotte R. An on-site test battery to evaluate giant slalom skiing performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 30 (3) : 276-282, 1990.
- 2) Bacharach D, Duvillard S. P. Intermediate and long-term anaerobic performance of elite Alpine skiers. *Med Sci Sport Exerc*, 27 (3) : 305-309, 1995.
- 3) Brown SL and Wilkinson JG. Characteristics of national, divisional, and club male alpine skiers. *Med Sci Sport Exerc*, 15 (6) : 491-495, 1983.
- 4) Burtscher M, Raschner C, Zallinger G, Schwameder H, Müller E. Comparison of cardiorespiratory and metabolic responses during conventional and carving skiing. *Science and Skiing II*: 552-565, 2001.
- 5) Gastin P. Energy system interaction and relative contribution during maximum exercise. *Sports Med*, 31 (10) : 725-741, 2001.
- 6) Hautier CA, Wouassi D, Arsac LM, Bitanga E, Thiriet P, Lacour JR. Relationship between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. *Eur J Appl Physiol*, 68 (6) : 508-513, 1994.
- 7) 八田秀雄. 乳酸をどう活かすか. 杏林書院, 東京, 1-11, 2008.
- 8) 北村潔和, 堀田朋基. スキーにおける不整地直滑降動作の習熟過程の研究. 富山大学教育学部紀要, 53: 79-84, 1999.
- 9) 森 健一, 吉岡利貢, 荻山靖, 尾縣貢. 短距離走者における無酸素性能力および走パフォーマンス評価としてのWingate testの有用性. *体育学研究*, 57 : 275-284, 2012.
- 10) Scott CB, Roby FB, Lohman TG, Bunt JC. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Med Sci Sport Exerc*, 23 (5) : 618-624, 1990.
- 11) Seifert J, Luetkemeier M, White A, Mino L, Miller D. Fluid balance during slalom training in elite collegiate alpine racers. *Science and Skiing II*: 633-640, 2001.
- 12) Stöggl T, Schwarzl C, Müller E, Nagasaki M, Stöggl J, Scheiber P, Schönfelder M, Niebauer J. A Comparison between Alpine Skiing, Cross-Country Skiing and Indoor Cycling on Cardiorespiratory and Metabolic Response. *J*

- Sports Sci Med, 15: 184-95, 2016.
- 13) Szmedra L, Im J, Nioka S, Chance B, Rundell W. Hemoglobin/ myoglobin oxygen desaturation during alpine skiing. *Med Sci Sports Exerc*, 33: 232-236, 2001.
- 14) Turnbull JR, Kilding AE, Keogh JWL. Physiology of alpine skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19: 146-155, 2009.
- 15) Veicsteinas A, Ferretti G, Margonato V, Rosa G, Tagliabueet D. Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes. *J Appl Physiol*, 56: 1187-1190, 1984.
- 16) 山本周史, 松井信夫, 北川薫. アルペンスキーレーサーの大回転および回転競技時のエネルギー代謝. *バイオメカニクス研究*, 3: 95-102, 1999.