

高所順応過程の身体コンディション評価を目的とした 能動的起立試験の有用性

加藤 久詞¹, 竹田 正樹^{1,2}

Availability of Orthostatic Test for the Evaluation of Physical Condition in Acclimatization Process of High Altitude Training

Hisashi Kato¹, Masaki Takeda^{1,2}

The purpose of this study was to investigate availability of orthostatic test for the evaluation of physical condition in acclimatization process of high altitude training. Cross-country skiing athletes (10 males, 6 females, 20.4 ± 1.2) lived 1 day at sea level and lived and trained for 8 days at the ambient altitude 1,600m above sea level. There were no significant changes were found in mean heart rate (HR) during orthostatic (supine and standing) test, HR response during 3 minutes step test, and 1,500 m running performance on a subject's mean level. On the other hand, looking at subject's individual data, some of subjects revealed good response to acclimatization process during high altitude training. It is suggested that, there is definite individual differences in the cardiac autonomic nervous activity responses to high altitude training, but orthostatic test could be one of indexes reflecting physical condition during acclimatization process of high altitude training in endurance athletes.

【Keywords】 high altitude training, acclimatization of high altitude, orthostatic test, cardiac autonomic nervous activity, training impulse (TRIMP)

高所順応が進むことにより、心臓の自律神経活動を反映する能動的起立試験時の成績が低所のそれに徐々に近づくことが予想される。そこで本研究では、簡易に行うことができる能動的起立試験時の心拍数変化を詳細に検討することにより、心臓の自律神経活動の変化による高所トレーニングに伴う高所順応の適応過程を解明することを目的とした。本研究は長野県志賀高原（標高1,600m）で行なわれた7泊8日の高所トレーニング合宿にて、各種の測定を実施した。被験者は大学生クロスカントリースキー選手16名（男子10名、女子6名、20.4±1.2歳）。主な測定項目は、能動的起立試験時の経時的心拍数変化、踏み台昇降テスト時の経時的心拍数変化、動脈血酸素飽和度（SpO₂）変化および血中乳酸濃度、トレーニング量（心・循環系への負担度）、1,500mランニングパフォーマンステストであった。本研究では、ほとんどの測定項目の平均値において有意な差はみられなかった。しかし個人毎のデータに着目して、高所に対する応答性が高いもの（responder）を抽出すると、高所順応の過程でみられる能動的起立試験時の心拍数が低所のそれに近づく結果が観察された。このことより、高所順応を評価できる可能性があることが示唆された。しかしながら、結果には個人差が大きく、本研究の実験条件だけでは検討が不十分であり、追加実験が必要になるとともに、個人差の要因の探索の研究が望まれる。

【キーワード】 高所トレーニング, 高所順応, 能動的起立試験, 心臓自律神経活動, TRIMP

I. 緒言

近年、高所トレーニングは多くの持久系アスリートに取り入れられ、パフォーマンスの向上が報告されている。その一方で、パフォーマンスの低下が報告されるケースも少なくない（Telford et al, 1996; Bailey et

al, 1998）。高所トレーニングがパフォーマンスの向上をもたらすためのものにするには、高所順応の進み具合を把握できる身体コンディション評価に基づく指標の作成が有益である。コンディション評価指標は簡易的なものでなければ現場のスポーツ選手に利用されにくい。従って、指標は簡便であり、かつ科学的に信頼

1 同志社大学大学院 スポーツ健康科学研究科 (Graduate School of Health and Sports Science, Doshisha University)
2 同志社大学 スポーツ健康科学部 (Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University)

性の高いものであることが求められる。

ところで、高所に入ると心臓の自律神経の機能が低下することがわかっている。Iwasaki et al (2006) は、高所暴露初期において心臓の交感神経活動が高まると報告している。しかしながら、高所順応が進むとその機能低下は改善されることが予想される。心臓の交感神経活動を把握する方法として、能動的起立試験が有用であるとの報告がなされている(岩崎ほか, 2001; Montano et al, 1994)。つまり、高所順応が進むことにより、心臓の自律神経機能を反映する能動的起立試験時の成績が低所のそれに徐々に近づくことが予想される。そこで本研究では、高所暴露直後～1週間の心臓の自律神経機能に着目し、身体コンディションの評価を目的とした能動的起立試験の有用性について検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

本研究の対象は、高所で試合を行なうという前提でのコンディショニング評価を検討するため、実際その目的で高所トレーニングを実施している選手が必要とされる。従って、対象は大学体育会スキー部員の男子選手10名、女子選手6名の計16名(20.4±1.2歳)とした。なお、すべての被験者に対して研究内容を説明し、研究参加への承諾を得た。

本研究は同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会において、倫理審査の結果、承認(申請番号1130)を得て、実施したものである。

2. 測定方法

本研究では、7泊8日の高所トレーニング合宿に帯同し、各日の起床時、実験1, 4, 8日目および各日のトレーニング時に以下の測定項目を選択し、実施した。なお、合宿の前日に sea level に宿泊し、1日目の起床時の測定データを基準値(pre)とした。

1) 各日の起床時

a) 能動的起立試験時の心拍数変化

ハートレートモニター RS800CX (Polar 社製) を用い、起床直後に仰臥位5分の後、静かに立ち上がって立位にて5分間の合計10分間の心拍数を経時的に測定した。また自律神経機能は呼吸による影響が大きいことが知られているため、メトロノームを60拍/分に設定し、3拍ごとに呼気、吸気を繰り返すことで1分間に10回のペースとなるように呼吸統制を行った。

b) 踏み台昇降テスト時の心拍数変化、動脈血酸素飽和度 (SpO₂) および血中乳酸濃度

ハートレートモニター RS400CX (Polar 社製) および動脈血酸素飽和度計 PULSOX-300i (KONICA MINOLTA 社製) を用い、高さ45cmの台で1分間に60回のリズムで3分間の昇降運動、その後の安静3分間の心拍数および動脈血酸素飽和度 (SpO₂) を経時的に測定した。また、昇降運動前と安静3分後に指先から採血し、ラクテートプロ (ARKRAY 社製) により血中乳酸濃度を測定した。

c) 尿比重

ATAGO 社製の尿比重屈折計 PAL-09S を用いて測定した。尿を採取および分析する際、被験者のプライバシーに配慮するとともに、測定手順が簡易であったため、被験者自身で泌尿器用紙コップに採取し、自身がストローにて0.25 ml ほど吸い取って尿比重屈折計で分析した後、残りの尿をすべて便器に捨てることとした。

d) ヘモグロビン濃度

ヘモグロビン (Hb) 濃度は、高所順応を判断する基準として非常に有用であるが、毎日血液検査を実施することは被験者の負担となり困難である。従って、Sysmex 社製の ASTRIM SU を用いて非侵襲的に測定した。測定手順は、右手中指を測定機に置き、その後測定開始ボタンを押すという簡易なものであった。従って、分析機の使用方法を十分に説明した上で、被験者自身で測定した。

e) 主観的疲労感アンケート

主観的疲労感アンケートは、10段階で評価し、10が「疲れを全く感じない最良の感覚」、1が「何もできないほど疲れ切った最悪の感覚」とした。

2) 実験1, 4日目および8日目

a) 1,500m ランニングタイムトライアル

クロスカンリースキーのパフォーマンスと関連が高いといわれている1,500mの距離を選択した。タイム計測はストップウォッチによる手計測とした。

3) 各日のトレーニング時

a) Training Impulse (TRIMP)

高所順応に伴う心臓の自律神経機能の適応には、高所という要因に加えて、トレーニングの内容が影響すると考えられる。従って、高所トレーニングを実施する際のトレーニング内容、特に高所トレーニング実施の際の心臓への負荷(強度と時間)を把握することが能動的起立試験の結果の解釈に極めて重要な意義を有すると考えられる。

そこで本研究では、トレーニングに伴う心臓への負担度を反映するとされる TRIMP (Banister et al., 1992) という指標を用いてトレーニング量を把握することとした。

トレーニング時にハートレートモニター RS400CX を装着し、練習開始から終了までの心拍を経時的に記録した。なお、この際心拍数の記録時間を5秒間隔に設定した。その後、以下の計算式に必要な値を代入することで、その日のトレーニング量を把握した。なお TRIMP の計算方法は以下の通りである。

(男子選手)

$$\text{TRIMP} = \text{トレーニング時間} \times [(\text{トレーニング中の平均心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最高心拍数} - \text{安静時心拍数})] \times 0.64 [(\text{トレーニング中の平均心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最高心拍数} - \text{安静時心拍数}) \times 1.92]$$

(女子選手)

$$\text{TRIMP} = \text{トレーニング時間} \times [(\text{トレーニング中の平均心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最高心拍数} - \text{安静時心拍数})] \times 0.86 [(\text{トレーニング中の平均心拍数} - \text{安静時心拍数}) / (\text{最高心拍数} - \text{安静時心拍数}) \times 1.67]$$

3. 分析方法

1) 能動的起立試験

心拍数変化については、仰臥位、起立および立位のそれぞれ3つの姿勢変化で評価した。仰臥位と立位については5分間のはじめとおわりの1分間ずつを除外し、安定している間の3分間の平均値を評価の対象とした。起立については、仰臥位平均心拍数からピー

ク心拍数へと達するまでの時間とピーク心拍数から立位平均心拍数へと下がるまでの時間を求め、評価の対象とした。

2) 踏み台昇降テスト

心拍および SpO₂ は踏み台昇降運動開始1分後、2分後、3分後、安静開始1分後、2分後、3分後のポイントを抽出し、評価の対象とした。

血中乳酸濃度は測定した踏み台昇降運動終了後の安静3分時 (post) の測定において評価した。

3) 統計学的評価

値は項目毎に平均値±標準偏差で示した。また、個人毎の測定データにも着目した。統計学的評価は、平均値±標準偏差の項目の検定について対応のある一元配置分散分析を用いた。なお、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1. 各日の起床時

表1は、各日の起床時に測定した体重、体脂肪率、Hb濃度、主観的疲労感、尿比重および踏み台昇降テスト後の乳酸値である。すべての項目において、有意な差はみられなかった。

1) 能動的起立試験時の心拍数変化

表2は、能動的起立試験時の心拍数変化である。すべてにおいて有意な差はみられなかった。

表1 各日の起床時の測定データ

	1日目(pre)	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目
体重 (kg)	60.5±6.9	60.8±6.9	60.6±6.9	60.6±6.9	60.6±7.0	60.4±6.9	60.9±7.0	60.5±7.0
体脂肪率 (%)	17.4±7.4	17.7±7.3	17.5±7.1	17.5±7.2	16.9±7.3	16.9±7.0	17.2±6.9	17.0±6.8
Hb濃度 (g/dl)	13.8±1.0	14.4±1.3	14.2±1.3	14.3±1.5	14.0±1.5	14.2±1.5	13.8±1.8	14.1±1.5
主観的疲労感	8.0±1.5	5.9±1.8	5.9±1.8	4.3±1.6	4.9±1.7	4.8±1.9	5.3±1.6	4.3±1.8
尿比重 (g/ml)	1.027±0.009	1.026±0.010	1.026±0.010	1.026±0.007	1.023±0.008	1.024±0.008	1.021±0.007	1.020±0.006
乳酸 (踏み台昇降テスト後) (mmol/l)	4.2±1.9	4.0±1.4	4.0±1.4	3.8±1.4	3.1±1.1	3.1±1.2	3.4±1.0	2.8±1.0

表2 能動的起立試験時の心拍数変化

	1日目(pre)	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目
仰臥位 (拍/分)	51.6±7.2	60.6±11.4	60.3±10.0	57.0±7.7	57.1±9.6	52.0±7.7	54.4±7.8	54.9±7.8
立位 (拍/分)	65.6±8.3	77.6±11.2	75.5±9.3	74.7±7.8	73.9±9.9	71.7±7.9	70.9±7.8	70.4±7.3
立位-仰臥位 (拍/分)	14.0±7.6	17.0±7.7	15.2±6.5	17.7±7.1	16.8±8.1	19.7±7.0	16.4±6.7	15.5±6.9

表3 踏み台昇降テスト時の心拍数変化

	1日目(pre)	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目
開始時 (拍/分)	73.6±8.8	90.2±13.5	87.1±12.0	85.1±12.0	84.3±9.9	84.8±12.2	82.5±12.6	81.9±11.2
運動1分後	127.1±11.6	137.6±13.4	134.6±11.6	134.2±12.9	133.4±11.2	131.0±15.3	130.3±14.3	131.0±11.7
運動2分後	138.9±11.7	147.4±15.0	145.4±13.2	145.0±13.9	143.6±12.3	142.8±15.7	139.3±15.4	139.6±15.5
運動3分後	143.8±13.4	150.6±15.2	150.0±14.9	148.9±14.8	146.4±13.3	145.9±16.6	144.1±16.8	143.1±16.2
安静1分後	88.8±16.3	91.6±20.7	91.5±23.7	88.5±21.7	90.7±18.7	88.4±20.5	83.0±19.4	84.7±17.7
安静2分後	77.2±15.2	81.3±19.3	79.0±19.6	76.5±20.6	78.4±15.1	79.0±17.8	72.5±15.2	76.7±12.4
安静3分後	74.9±12.9	77.8±17.6	76.0±17.3	73.7±17.1	73.7±13.5	73.8±15.5	69.7±12.2	71.7±13.2

表4 踏み台昇降テスト時のSpO₂変化

	1日目(pre)	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目
開始時 (%)	97.9±1.0	95.7±0.7**	95.2±1.2**	96.2±1.2**	95.3±1.3**	95.6±0.9**	96.0±1.2**	95.6±0.9**
運動1分後	96.5±1.4	94.0±2.8	93.7±2.7*	94.9±2.5	94.3±2.9	95.3±2.0	95.3±1.7	95.2±2.0
運動2分後	95.8±1.5	91.7±2.9**	92.9±3.0	93.3±2.4	93.2±2.3	93.7±3.3	93.4±2.5	93.2±2.2
運動3分後	95.9±1.2	91.5±3.6**	92.3±3.0**	92.8±2.2*	93.1±2.1	92.8±2.6*	93.1±2.3	92.9±2.4**
安静1分後	97.5±0.7	94.5±2.2**	94.3±1.7**	95.4±1.6*	94.8±1.4**	94.6±1.4**	95.1±1.6**	94.8±1.4**
安静2分後	97.9±0.7	95.9±0.8**	96.0±0.8**	96.0±0.7**	95.9±0.5**	95.9±1.1**	96.0±0.8**	96.1±0.6**
安静3分後	97.7±0.6	95.9±0.7**	96.0±0.6**	95.9±0.7**	95.8±0.5**	95.8±0.6**	95.8±0.7**	95.7±0.6**

**p < 0.01 *p < 0.05 (vs. pre)

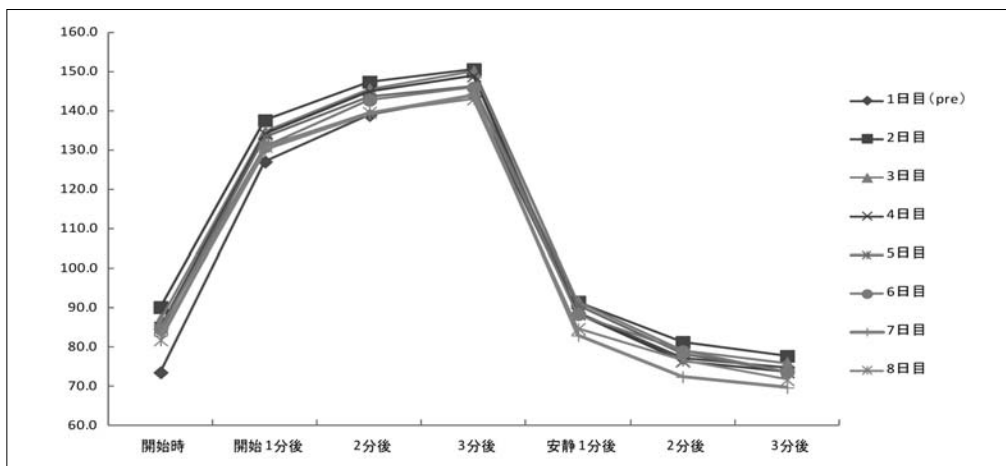


図1 踏み台昇降テスト：心拍数平均値

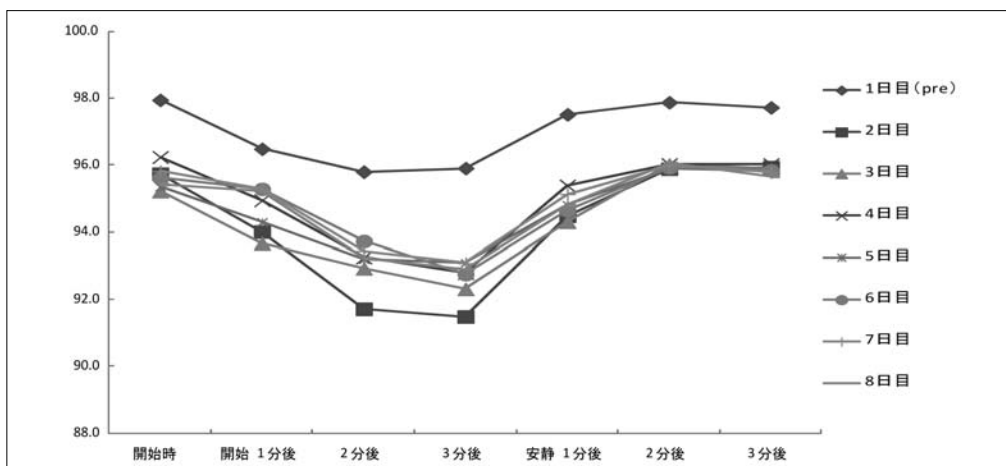


図2 踏み台昇降テスト：SpO₂平均値

2) 踏み台昇降テスト時の心拍数変化、動脈血酸素飽和度 (SpO₂)

表3は、踏み台昇降テスト時の心拍数変化である。また図1には、心拍数変化を経時的に示した。すべてにおいて有意な差はみられなかった。

表4は、SpO₂の値である。図2には、SpO₂を経時的に示した。多くの項目において、1日目 (pre) と比較して、有意な差がみられた。

2. 実験1, 4日目および8日目

1) 1,500m ランニングタイムトライアル

表5は、実験1, 4日目および8日目に実施したパフォーマンステストである1,500m ランニングタイムトライアルの結果である。1日目が最もタイムが早い、4日目に最もタイムが遅い、8日目は1日目に近いタイムとなった。統計的に有意な差はみられなかった。

表5 1,500mランニングタイムトライアル

	1日目	4日目	8日目
1500mランニングタイムトライアル	5:42±0:40	6:01±0:47	5:56±0:43

3. 各日のトレーニング時

図3は、1日のトレーニング量および強度を示すTRIMPの結果である。1週間の平均TRIMPは、184.7 ± 24.0であった。

また1日目および8日目は、合宿の日程の関係で半日練習であったためにTRIMPの値が小さくなった。さらに3日目および6日目は、オーバートレーニングによって身体的コンディションを崩さないように考慮し、トレーニング量および強度を調節した。

4. 個人毎の測定データ

個人毎のデータに着目して、高所に対する応答性の良いもの (responder) を抽出した。本研究では、3名がそれに該当したと考えられた。図4～8は、

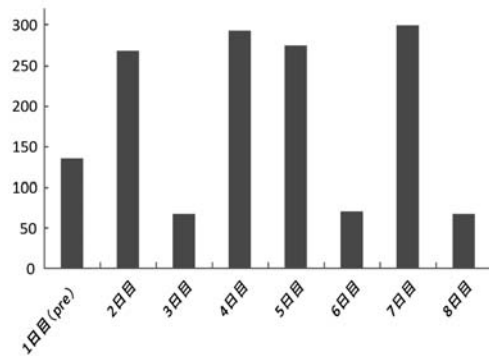


図3 各日のTRIMPの推移

responder 3名の能動的起立試験時の心拍数変化を示したものである。

図4～6より、個人毎の測定データにはばらつきがみられるものの、各日の測定データが1日目 (pre) の値に徐々に近づいていく過程が認められた。

図7は、responder 群の中の一人の踏み台昇降テスト時の心拍数変化を示したものである。日数が経過するにつれて、徐々に心拍数が減少する傾向が認められた。

IV. 考察

各測定の結果、踏み台昇降テスト時のSpO₂変化以外の項目において、有意な差はみられなかった。SpO₂変化においては、高所順応が進むにつれて、コントロールデータである1日目 (pre) の値に徐々に近づく過程が観察できた。

しかしながら、本研究では多くの項目で有意な変化は認められなかった。その理由として以下のことが推察される。一般に高所トレーニング実験は、標高2,200m前後で行なわれることがほとんどである。しかし、日本国内ではそのような環境は限られている。加藤ほか (2008) の研究では標高1,280mにおいて血清エリスロポエチンの生成が亢進し、低酸素刺激とし

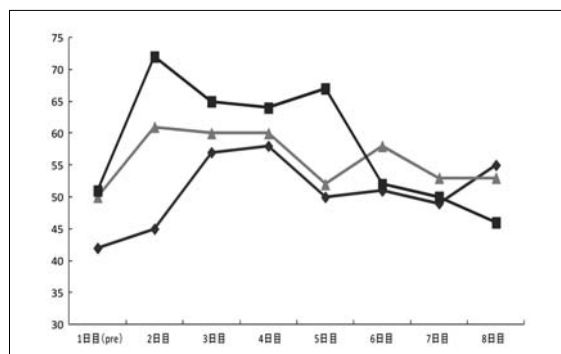


図4 仰臥位平均心拍数 (responder)

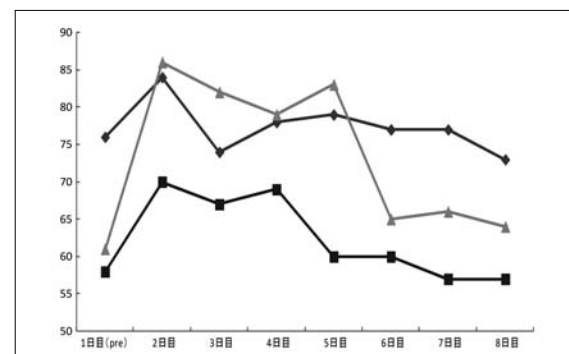


図5 立位平均心拍数 (responder)

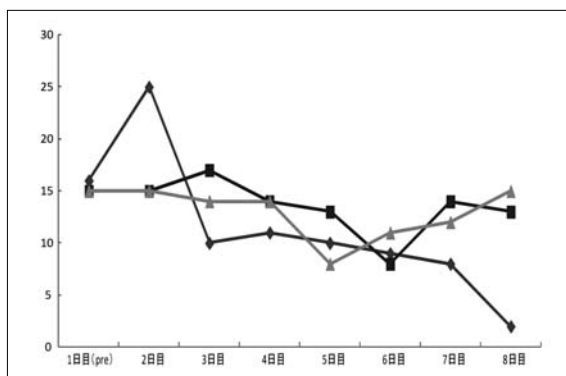


図6 立位平均心拍数－仰臥位平均心拍数 (responder)

ては十分であると報告している。したがって、本実験は標高1,600mと低酸素刺激は十分であったと考えられるが、実際に心臓の自律神経活動に明白な変化を起こすほどの高所トレーニング高度ではなかった可能性が考えられる。このことは本研究の限界の1つとして挙げられる。

またトレーニング量および強度が高所順応に大きく影響した可能性が考えられる。Levine et al. (1997)によれば、生理的高所順応はトレーニング量、強度および種類によって促進も障害もされると報告している。そこで本研究では、TRIMPに基づき生理的運動強度を管理した。北村ほか(2007)の報告によると、高所滞在初期におけるクロスカンリースキーの日本のトップアスリートを対象に求めた1回のTRIMPの基準値は、男子選手が120、女子選手が135、1日の合計が200である。しかし、本研究ではトレーニング量をできるだけコントロールしたものの、1日のトレーニング量が200を大きく超える日が存在した(図3)。したがって、トレーニング量および強度の管理不足により、心臓の自律神経活動に悪影響を及ぼし、結果として高所順応を妨げた可能性も否定できない。

一方で、個人毎に着目し、分類したresponderの測定データ(図4～7)においては、各日のデータが徐々に1日目(pre)の値へと近づいていく過程が観察された。

能動的起立試験は、仰臥位平均心拍数、上昇速度、下降速度および立位平均心拍数の4つの相に分けて、それぞれを評価する。仰臥位平均心拍数の増加と上昇速度の低下は、疲労やオーバートレーニングによる副交感神経機能の低下、また立位平均心拍数の増加と下降速度の低下は水分摂取不足や血液濃縮に伴う交感神経機能の低下(または交感神経活動の過度の上昇)を示すと考えられている。図4～7より、responderのそれぞれの項目の測定データは1日目(pre)のデータに徐々に近づいており、心臓の自律神経活動の高所

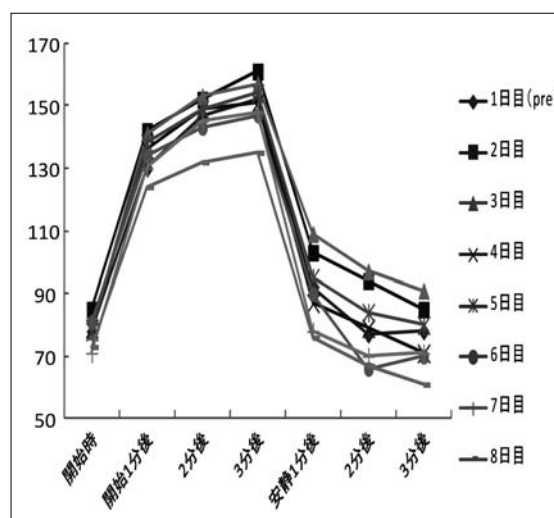


図7 踏み台昇降テスト心拍数変化 (responder)

順応の過程が観察できる。

踏み台昇降テストの結果から、日数が経過するにつれて、徐々に昇降運動および安静時の心拍数が低下していく過程が観察できた。また1,500mランニングタイムトライアルでは、1日目が最も早い結果となったが、この結果はトレーニングによる疲労の蓄積がなかったことが影響したと考えられる。一方で、4日目のタイムと比較して8日目のタイムが向上したのは、高所順応が進んだ結果として、パフォーマンスが向上したと示唆される。したがって、踏み台昇降テストなどの運動負荷テストや1,500m走などのパフォーマンステストを実施することで、高所順応過程を観察できる可能性が推察される。

VII. 結論

本研究では、高所トレーニング中の高所順応過程における身体的コンディション評価を目的として、持久性アスリートを対象として心臓の自律神経活動を反映する能動的起立試験の有用性について検討した。高所順応の過程には大きな個人差がみられたため、平均値においては有用なデータが得られなかった。しかし、個人毎に着目して、高所に対する応答性が高いものを抽出すると、responderにおいて、高所順応の過程でみられる能動的起立試験時の心拍数が低所のそれに近づくということをはじめ、その他の測定項目にも同様の結果が観察された。このことより、心臓の自律神経活動を反映する能動的起立試験時の心拍数変化とパフォーマンスの結果から、高所順応を評価できる可能性があることが示唆された。しかしながら、結果には個人差が大きく、本研究の実験条件だけでは検討が不

十分であり、標高を上げる、期間を長くする、またトレーニング量および強度を厳密に管理するなどの追加実験が必要になるとともに、個人差の要因の探索の研究が望まれる。

謝辞

本稿を作成するにあたり、データ収集に積極的に協力してくださった同志社大学体育会スキー部および京都産業大学体育会スキー部の選手の方々に心より御礼を申し上げます。

参考文献

- 青木純一郎, 川初清典, 村岡功: 高地トレーニングの実践ガイドライン, 市村出版, 2011.
- Bailey D.M., Davies B. and Gandy G.: Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol* 78: 360-368. 1998
- Banister E.W., Morton R.H. and Fitz-clark J.: Dose/Response Effects of Exercise Modeled from Training: Physical and Biochemical Measures. *Ann. Physiol. Anthropol* 11: 345-310. 1992
- Iwasaki K., Ogawa Y., Aoki K., Saitoh T. and Shibata S.: Cardiovascular Regulation Response to Hypoxia During Stepwise Decreases from 21% to 15% Inhaled Oxygen. *Aviat Space Environ Med* 77: 1015-1019. 2006
- 岩崎賢一, Levine B.D.: 高所トレーニングと循環反応の評価法: Progress in high altitude training. The 4th International Symposium on High Altitude Training 2000 Kaminoyama, 79, 2001
- 北村辰夫, 岩崎賢一, 鈴木典, 水落文夫, 伊藤英之, 近藤克之, 吉本俊明: 高地トレーニングにおける運動強度の指標 - クロスカン트리スキー競技選手を対象にした Training Impulse の基準値と実践場面への適用 - . 日本大学文理学部人文科学研究所研究紀要 73: 63-76. 2007
- 加藤健志, 横山貴, 今村貴幸, 春日部亮太, 塚田将吾, 酒井健介, 杉浦克己, 寺尾保: 準高地における短期間の競技トレーニングが血液性状等の生理的応答に及ぼす影響 Tokai J. Sports Med.Sci.20: 23-32. 2008
- Levine B.D. and Stray-Gundersen J.: Living high-training low effects of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J. Appl. Physiol* 83: 102-112. 1997
- Montano N., Ruscone T.G. and Malliani A.: Power Spectrum Analysis of Heart Rate Variability to Assess the Changes in Sympathovagal Balance During Graded Orthostatic Tilt. *Circulation* 90: 1826-1831. 1994
- Vanderlei L.C.M., Silva R.A. and Godoy M.F.: Comparison of Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Brazilian Journal of Medicine Biological Research* 41: 854-859. 2008
- Wilber R.L., 著, 河原貴, 鈴木康弘 監訳: 高地トレーニングと競技パフォーマンス, 講談社サイエンティフィク, 2008
- Telford R.D., Graham K.S., Gore C.J., Smith J.A. and Tumilty D.M.: Medium altitude training and sea-level performance. *Med. Sci. Sports Exerc* 28 (Suppl. 5) : S124. 1996