

高所での運動における心拍数および動脈血酸素飽和度の変動

平 松 携 (尾道大学教授)

藤 岩 秀 樹 (宇部工業高等専門学校講師)

山 崎 昌 廣 (広島大学総合科学部教授)

キーワード：高所 台の昇降運動 心拍数 動脈血酸素飽和度

要 約

高所における運動負荷の違いによる心拍数および動脈血酸素飽和度 (SpO_2) の変動を明らかにする。測定地点は、標高 5 m、1,440 m、2,610 m および 3,860m とした。運動は、高所で簡単に測定が可能な台の昇降運動 (台の高さ 15cm および 25cm) とした。1 分間に 20 回昇降運動を 3 分間継続、および運動終了 1・2・3 分後測定した。心拍数および SpO_2 の測定はパルスオキシメータで測定した。その測定結果を次のように得た。

- 1) 各標高における安静時心拍数、15cm 台および 25cm 台の昇降運動の心拍数は、標高 5 m において、61 拍/分、89 拍/分および 99 拍/分であった。1,440m において、79 拍/分、107 拍/分および 110 拍/分であった。2,610m において、83 拍/分、113 拍/分および 125 拍/分であった。3,860m において、102 拍/分、125 拍/分および 133 拍/分であった。各標高における台の高さ 10cm 差の心拍数は、3 ～ 12 拍/分であった。
- 2) 各標高における安静時 SpO_2 、15cm および 25cm 台の昇降運動時の SpO_2 は、標高 5 m において、98 %、96 % および 96 % であった。1,440m において、95 %、92 % および 88 % であった。2,610m において、91 %、79 % および 77 % であった。3,860m において、72 %、63 % および 64 % であった。各標高において、台の高さ 10cm 差の SpO_2 の差は少なかった。
- 3) 帰国経日の心拍数をみると、帰国日の安静時心拍数は 76 拍/分、15cm 台および 25cm 台の昇降運動後は 94 拍/分、102 拍/分であった。帰国後 2 ～ 4 日の安静時および昇降運動後心拍数は低値を示した。また、帰国経日における SpO_2 の変動は少なかった。

I 目 的

登山への憧れは、登頂の目的であるが頂上からの眺めばかりか野草や高山植物、探鳥、昆虫などの観察に関心を抱く人々が多い。身体活動である限り身体能力とある程度の精神力が要求され、登りたい欲求だけでは高所トレッキングはできない現実がある。

筆者らはこれまで中・高年者の高所トレッキングにおける生体応答について報告してきた^{1~8)}。先に報告した高所における動脈血酸素飽和度 (SpO_2) では、登高に従い安静時 SpO_2 および昇降運動後の SpO_2 値は低下していった。一方、心拍数は登高に従い増加傾向を示した⁶⁾。また、高所住民と高所に適応していない日本人を対象に SpO_2 と心拍数を比較した結果では、標高が高くなるに従い SpO_2 は低下し、心拍数は増加したが、高所適応している高所住民および高所適応していない日本人とも SpO_2 および心拍数には、性差および年齢の影響は観察されなかった⁷⁾。高所トレッキングにおいて、同じ標高の運動負荷量の違いの心拍数および SpO_2 の変動の研究は少ない。

そこで本研究は、高所における運動負荷の違いによる心拍数および SpO_2 の変動について、標高 5 m から 3,860m までの生体応答を明らかにする。それに中・高年者の高所トレッキングの生理的基礎資料を得ることを研究目的とした。

II 方 法

(1) 経路およびトレッキング場所

今回のトレッキング経路は、ネパールの首都カトマンズ (標高 1,440m) まで飛行した。トレッキングは、カトマンズから飛行機でルクラ (2,810m) まで、ルクラからパクディン (2,610m)、タンボチェ (3,860m) まで徒歩で登高する。下山はタンボチェからラウシャサ、ナムチェ、ルクラまで、ルクラから飛行機でカトマンズ (1,440m) まで下降する。全日程は 2004 年 4 月 28 日から 5 月 11 日まで 13 日間である。

(2) 被験者の特性

被験者の身体的特性は、男性 60 歳、身長 163cm、体重 60kg、BMI22.6、体脂肪率 19.2 % である。海外の高所トレッキング経験はチベットおよびネパールに 5 回ある。登山は、40 歳から低山を登山し、日本の夏山登山経験があるが冬山登山の経験はない。40 歳から富士山に毎年登山している。なお、青年期に競技スポーツの経験者で壮年期から歩行を実践している。

(3) 測定地および場所

測定地点は、日本の標高 5 m、トレッキング中の 1,440m、2,610m、3,860m および帰国後 5 m とした。測定場所は、日本では居住地およびトレッキングはロジ宿泊時で精神的に安

定した時に実施した。

(4) 運動の方法、心拍数および SpO_2 の測定

運動としては、高所で簡単に測定が可能な台の昇降運動とした。方法としては、3分間の座位安静時、15cm 台の3分間昇降運動直後、25cm 台の3分間昇降運動直後および運動終了1分後、運動終了2分後、運動終了3分後の6回測定した。心拍数および SpO_2 の測定は、右手の第2指にパルスオキシメータ（ノンイン社製、オノックス Model 9500）をセットして測定した。

(5) 測定場所、標高等

測定標高、測定場所、測定日、測定時刻、室内温は表1の通りであった。

表1 標高、測定場所、測定時刻、室内温等について

測定回数	1	2	3	4	5	6	7	8
標高(m)	5	1,440	2,610	3,860	5	5	5	5
場 所	日本	ネパール	ネパール	ネパール	日本	日本	日本	日本
測 定 日	4 / 20	4 / 29	4 / 30	5 / 4	5 / 11	5 / 12	5 / 13	5 / 14
測定時刻	19時00	17時40	17時40	7時20分	11時00	19時00	19時00	18時00
室内温(℃)	20	26	17	—	22	25	25	24
湿度(%)	72	58	72	—	77	69	67	74

(6) 健康診断

被験者はトレッキング前（出国前）に健康診断を受け、トレッキングに支障のないと診断された。帰国後も健康診断を受けた。

(7) 統計処理

被験者のデータを用いて、標高と心拍数および SpO_2 の相関関係を求めた。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ 結 果

図1は、各標高と安静時心拍数および SpO_2 をみたものである。登高における安静時心拍数は、標高5 mにおいて61拍/分、1,440mにおいて79拍/分、2,610mにおいて83拍/分、および3,860mにおいて102拍/分と高度が上がるに従い増加した ($p < 0.01$)。一方、 SpO_2 は、標高5 mにおいて98%、1,440mにおいて95%、2,610mにおいて91%と減少、さらに3,860mにおいて68%と高度が上がるに従い減少した ($p < 0.01$)。

図2は、各標高における台の昇降運動後の心拍数および回復時の心拍数をみたものである。

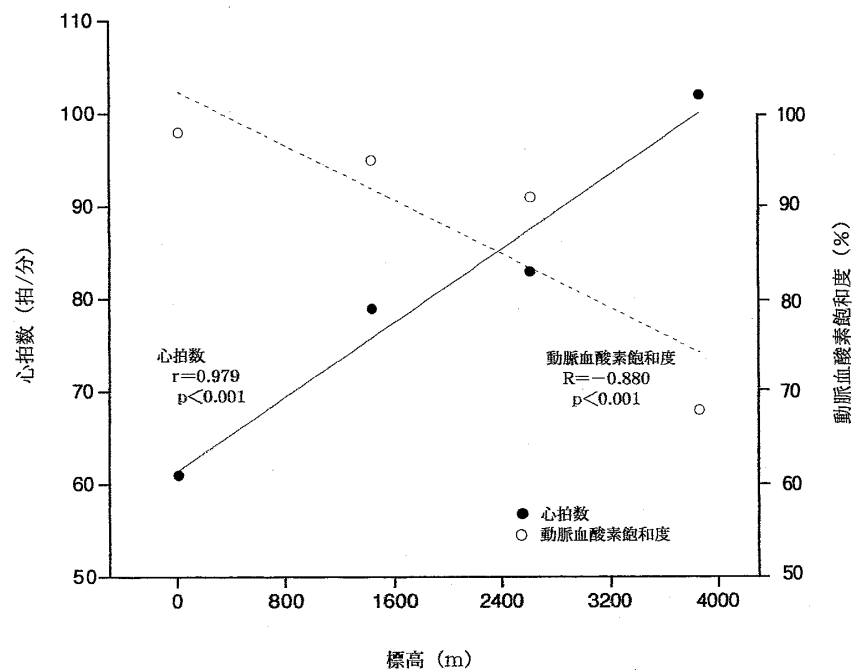


図1 標高と安静時心拍数および動脈血酸素飽和度の変動

登高における心拍数をみると、安静時心拍数から15cmおよび25cm台の昇降運動後心拍数の増加は、標高5mにおいて28拍/分、38拍/分、1,440mにおいて28拍/分、31拍/分、2,610mにおいて30拍/分、42拍/分、および3,860mにおいて22拍/分、30拍/分と各標高とも増加した。一方、回復時の心拍数をみると、25cm台の昇降運動後心拍数から終了3分後の心拍数の減少は、標高5mで36拍/分、1,440mで28拍/分、2,610mで40拍/分、および3,860mで28拍/分とそれぞれの各標高において減少した。

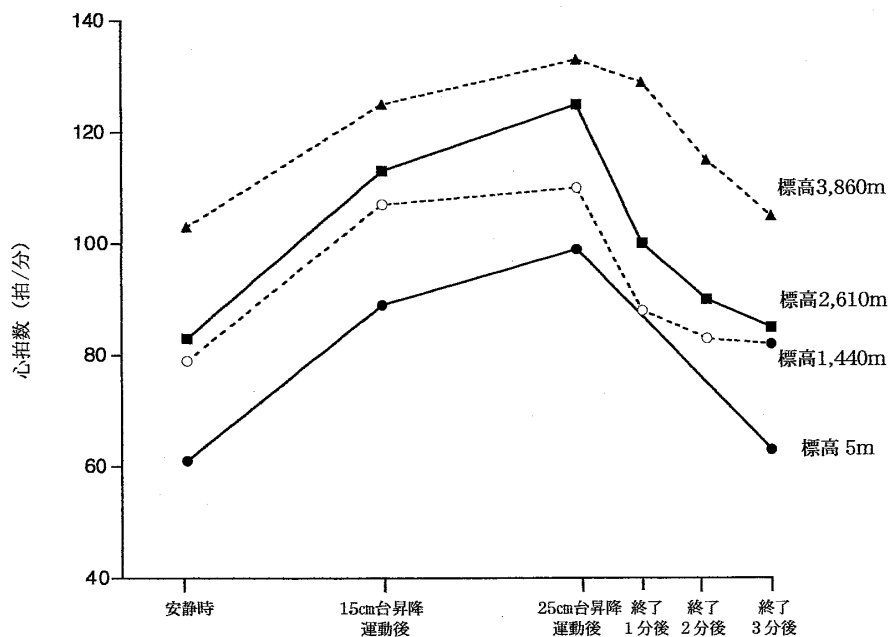


図2 各標高における台の昇降運動と回復時の心拍数の変動

図3は、各標高における台の昇降運動後の SpO_2 と回復時の SpO_2 をみたものである。登高における安静時 SpO_2 から 15cm および 25cm 台の昇降運動後の SpO_2 の変動は、標高 5 m において 98 % から 96 % および 96 %、1,440m において 95 % から 92 % および 88 %、2,610m において 91 % から 79 % および 77 %、および 3,860m において 72 % から 63 % および 64 % と各高度において減少した。一方、回復期の SpO_2 をみると、25cm 台の昇降運動直後の SpO_2 から終了 3 分後の SpO_2 の減少は、標高 5 m で 2 %、1,440m で 8 %、2,610m で 14 %、および 3,860m で 21 % とそれぞれ登高に従い増加した。

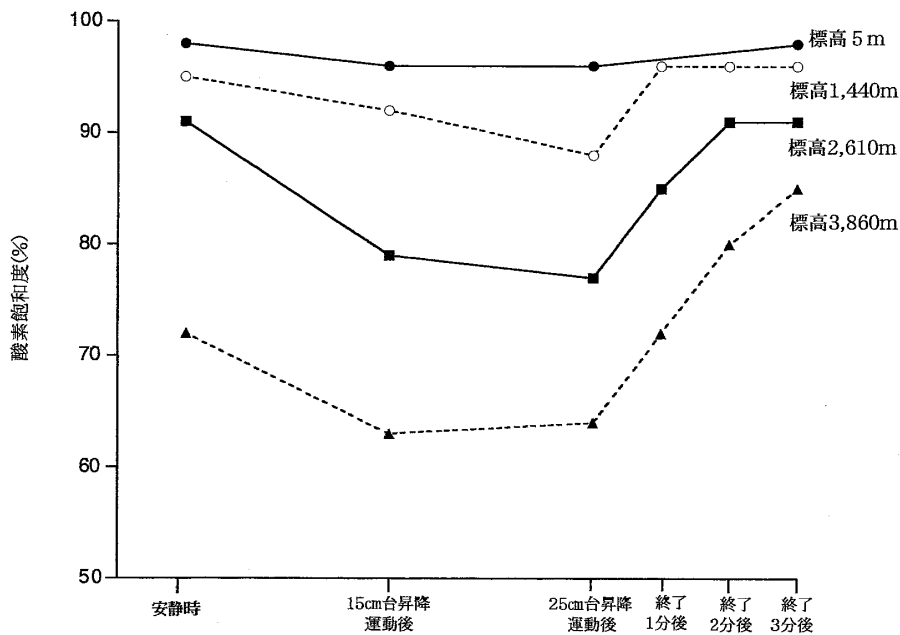


図3 各標高における台の昇降運動時と回復時の酸素飽和度の変動

図4は、高所トレッキングから帰国経日の台の昇降運動後および回復時の心拍数をみたものである。トレッキング帰国日の心拍数をみると、安静時心拍数は 76 拍/分、15cm 台の昇降運動後は 94 拍/分、25cm 台の昇降運動後は 102 拍/分と増加した。終了 1 分後および 2 分後は 83 拍/分、終了 3 分後は 81 拍/分に減少した。帰国 2 日後の心拍数をみると、安静時心拍数 61 拍/分、15cm および 25cm 台の昇降運動後心拍数は、85 拍/分および 89 拍/分に増加した。運動終了 1・2・3 分後の心拍数は 69・64・62 拍/分に減少した。帰国 4 日後の心拍数は、安静時心拍数は 63 拍/分と低値を示し、15cm および 25cm 台の昇降運動は帰国日よりさらに低下した。運動終了 1・2・3 分後の心拍数も低値を示した。

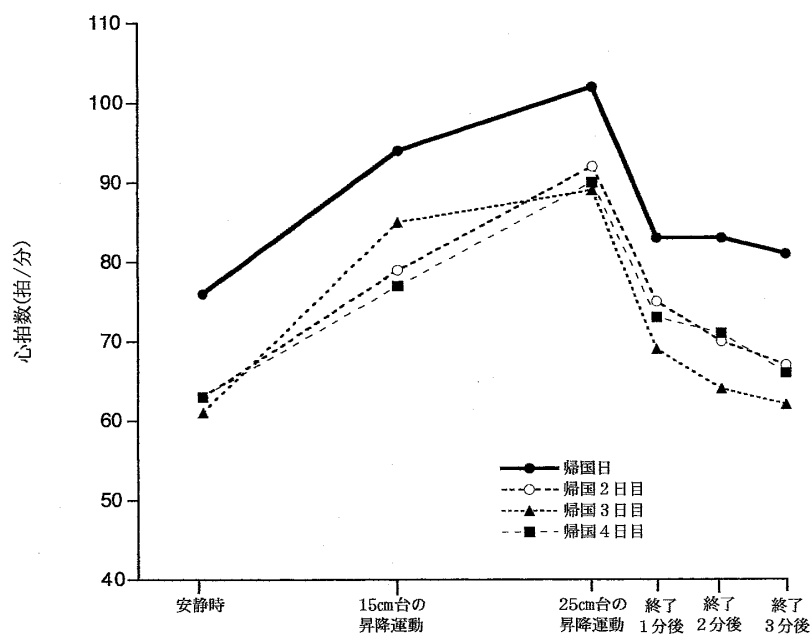


図4 帰国後における台の昇降運動と回復時の心拍数の変動

図5は、帰国経日の SpO_2 をみたものである。トレッキング帰国日の SpO_2 は、安静時は97%、15cm台の昇降運動後は97%、25cm台の昇降運動後は96%、終了1分後97%、終了2分後98%、終了3分後97%で変動は少なかった。また、帰国経日2日以後の変動も少なかった。

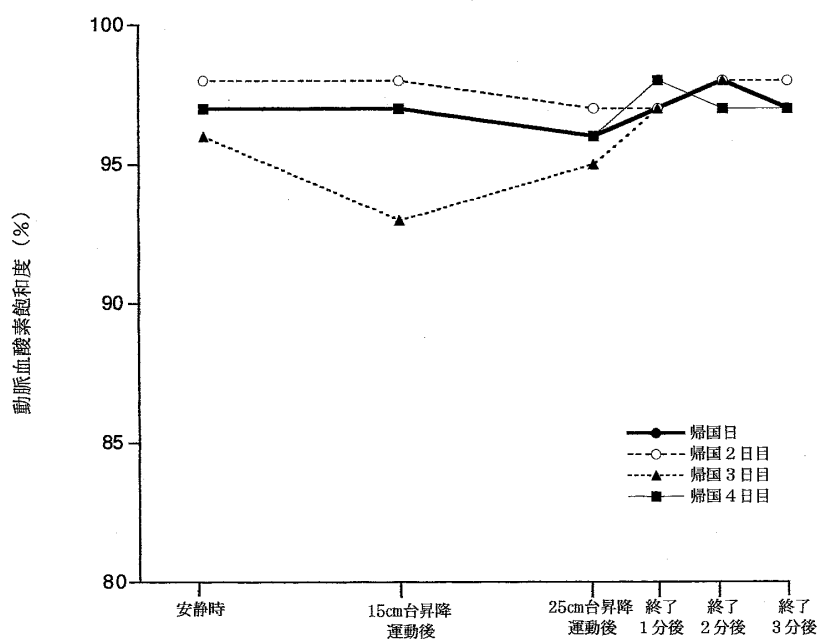


図5 帰国後における台の昇降運動と回復時の動脈血酸素飽和度の変動

Ⅳ 考 察

万木らは⁹⁾ 急性低圧環境の暴露に際して、酸素欠乏によって生じる症状を高度別に区分している。それによると、生理的高度区分を不関域（高度は 3,000m 以下、SpO₂ は 97 ～ 90 %、夜間視力が低下するほか、ほとんど症状はあらわれない。）、代償域（高度 3,000 ～ 4,500m、SpO₂ は 90 ～ 80 %、呼吸・循環系の機能亢進による代償作用がほぼ完全に行われるので、酸素欠乏による障害は普通あらわれない。）、障害域（高度 4,500 ～ 6,000m、SpO₂ は 80 ～ 70 %、代償が不完全なため、組織の酸素欠乏をきたし、中枢神経症状、循環器系症状などがあらわれる。）、危険域（高度 6,000m 以上、SpO₂ は 70 % 以下、意識喪失、ショック状態となり生命の危険が生じる。）としている。今回の 60 歳の被験者の生理的高度区分は、不関域および代償域に該当する。各標高と安静時心拍数をみると、標高 5 m は 61 拍/分、1,440m は 79 拍/分、2,610 は 83 拍/分、および 3,860m は 103 拍/分と登高に従い増加している。標高があがると心拍数が増加することは先の研究と一致している^{10, 11, 12)}。各標高の安静時心拍数を指数 100 にすると 15cm および 25cm 台昇降運動は、標高 5 m において 146、162 である。1,440m において 135、139 である。2,610m において 136、151 である。および 3,860m において 121、129 である。このように標高が上がるに従い昇降運動の心拍数の指数が低下傾向を示している。台の高さ 15cm と 25cm の指数の差は、標高 5 m を除くと差は少ないようである。標高の低い 5 m では指数は高値を示しているが身体的に負担は少ない。ところが標高 3,860m の低酸素環境に曝されると身体的な負担は大きい。被験者は、標高 3,860m の低酸素環境にいただけで生体に負担を感じ昇降運動は苦痛であったと訴えている。台の昇降運動終了後の 1 分、2 分、3 分の回復時の心拍数についてみると、標高 5 m では、25cm 台の昇降運動後 99 拍/分から 3 分後は 63 拍/分に低下している。1,440m では、110 拍/分から 88 拍/分、83 拍/分、82 拍/分に低下。2,610m では、125 拍/分から 100 拍/分、90 拍/分、85 拍/分に低下。3,860m では、133 拍/分から 129 拍/分、115 拍/分、105 拍/分にそれぞれ低下している。安静時と運動終了 3 分後の心拍数は、各標高においてほぼ同じような数値を示している。このことは、運動終了 3 分後の心拍数は安静時心拍数に近くまで回復している。この昇降運動後の心拍数の低下は、筆者が先に報告したチベット高原における昇降運動の不関域（標高 5 m）、代償域（3,650m）および障害域（5,200m）心拍数と一致しているといえる¹⁾。また、富士山登山の心拍数⁸⁾ とヒマラヤトレッキングの心拍数を比較すると、標高 1,440m の 25cm 台の昇降運動と富士山頂上の山小屋で休息中と同じ心拍数である。また、標高 3,860m における 25cm 台の昇降運動の心拍数と富士登山 8 合目から頂上まで登山中の心拍数がほぼ同値といえる。また、水野ら¹³⁾ は、富士登頂日および頂上滞在時の心拍数を報告している。それによると登頂日の心拍数は増加しているが 2・3 日目は若干低

下傾向を示し安定している。

各標高の安静時 SpO_2 は、標高 5 m は 98%、1,440 m は 95%、2,610 m は 91%、さらに 3,860 m は 72% まで登高に従い低下している。標高が上がるに従い SpO_2 が低下することは先行研究^{14, 15, 16)}と一致している。特に標高 2,610 m から 3,860 m になると急激に低下している。各標高の安静時 SpO_2 を指数 100 にすると各標高の 15cm および 25cm 台の昇降運動における指数は、標高 5 m においては、98、98 で変動はない。1,440m においては、97、93 変動は少ない。標高 2,610m においては、87、85 で変動は少ない。3,860m においては、88、89 で変動はない。このように標高 5 m および 1,440m においては、台の昇降運動の SpO_2 の指数は 90 台であるが、さらに標高が上がると 2,610m および 3,860m においては、昇降運動の SpO_2 の指数は 80 台に低下している。このように標高が上がるに従い低酸素環境に曝されると SpO_2 の指数は低下し、身体的に負担が増加する。

トレッキング中は、高所で低酸素環境に曝されているが、本測定では低酸素環境に十分適応していないうちに標高 3,860 m の高所に登高し、高所から一気に下降、そして帰国している。安静時心拍数は、帰国日は 76 拍/分であるが経日とともに低下し、4 日後には 63 拍/分まで低下した。15cm と 30cm 台の昇降運動の心拍数をみると、帰国日は 94 拍/分と 102 拍/分から帰国 2 日後は 85 拍/分と 89 拍/分まで低下している。これらは高所の低酸素環境から常圧環境に適応したため心拍数が低下を示したといえよう。心拍数が低下していることは、常圧において酸素摂取が十分で昇降運動の運動強度は身体的な負担は少ないと考えられる。

V ま と め

高所において、標高 5 m から 1,440m、2,610m および 3,860m の、台の高さ 15cm と 25cm の昇降運動時の心拍数および SpO_2 の変動を明らかにすることを目的とした。被験者は 60 歳の男性で高所トレッキングの経験は 5 回ある。測定場所は、標高 5 m の日本、高所はヒマラヤ（ネパール）で測定した。結果は次のとおりである。

- 1) 各標高における安静時心拍数は、標高 5 m は 61 拍/分、1,440m は 79 拍/分、2,610m は 83 拍/分、3,860m は 102 拍/分であった。登高における 15cm と 25cm 台の昇降運動の心拍数の差は、標高 5 m において 10 拍/分、1,440m において 3 拍/分、2,610m において 12 拍/分、3,860m において 8 拍/分とまちまちであった。各高度における台の高さ 10cm 差の心拍数は、3 ～ 12 拍/分であった。
- 2) 各標高における安静時 SpO_2 は、標高 5 m は 98 %、1,440m は 95 %、2,610m は 91 %、3,860m は 72 % であった。各標高における 15cm および 25cm 台の昇降運動時の SpO_2 の

差は、標高 5 m では 0 %、1,440 m では 4 %、2,610 m では 2 %、3,860 m では -1 % を示した。台の高さ 10cm 差による SpO_2 の差は少なかった。

- 3) 帰国後の心拍数および SpO_2 をみると、帰国日の安静時心拍数、台の昇降運動時および回復時の心拍数は高値を示した。しかし帰国 2 日目からは心拍数および SpO_2 も低下し安定した。

各標高において、台の高さ 15cm と 25cm の昇降運動時の心拍数および SpO_2 の変動は少なく、台に高さ 10cm 差は、身体的負担は少なかったといえよう。

文 献

- 1) 平松 携 (1996) 中年鍛錬者のエベレスト・トレッキングにおける心拍反応について, 尾道短期大学研究紀要 第 45 (2) : 283-295.
- 2) 平松 携 (1997) 低酸素環境下における中年鍛錬者の環境応答の関係, 尾道短期大学研究紀要 第 46 (1) : 81-93.
- 3) 平松 携 (1998) 中年のトレッキングにおける生理反応について, 尾道短期大学研究紀要 第 47 (1) : 131-144.
- 4) 平松 携 (1999) 歩行と登山の科学, 道和書院: pp.123-140.
- 5) 平松 携・岩井一師 (2002) 高所トレッキングにおける安静時と深呼吸時の動脈血酸素飽和度の変動, 松山大学論集 14 (4) : 331-342.
- 6) 平松 携・岩井一師・山崎昌廣 (2004) 高所での運動における動脈血酸素飽和度の変動, 広島体育学研究 30 : 27-34.
- 7) 平松 携・岩井一師・山崎昌廣 (2004) 高所住民の動脈血酸素飽和度および心拍数の特性について, 尾道大学経済情報論集 Vol 4 (1) : 151-158.
- 8) 平松 携 (1992) 富士山登山中のエネルギー消費量とエネルギー代謝率について, 尾道短期大学研究紀要 第 41 (2) : 181-198.
- 9) 万木良平・井上太郎 (1980) 異常環境の生理と栄養, 光生館: pp.145.
- 10) 黒島晨汎 (1993) 環境生理学, 理工学社: pp.107.
- 11) 山本正嘉 (2000) 登山の運動生理学百科: pp.205.
- 12) 酒井秋夫 (2000) 高所 - 運動生理学的基礎と応用 - ナップ: pp.113-120.
- 13) 水野 康・胡 揚 (2000) 高所 - 運動生理学的基礎と応用 - ナップ: pp.174.
- 14) 出水 明 (1991) 高所での不眠と動脈血酸素飽和度, ヒマラヤ学誌 2 : 65-72.
- 15) 山本正嘉 (2000) 登山の運動生理学百科: pp.201.
- 16) 大田祥子 (2000) ネパールセミナー'97 報告書, 広島県山岳連盟: p.40-41.