



# 長距離選手に対する低圧低酸素環境下におけるスローランニングが運動終了後の自律神経系に及ぼす影響

寺尾 保 (スポーツ医科学研究所) 両角 速 (体育学部競技スポーツ学科)  
西出仁明 (体育学部競技スポーツ学科) 山下泰裕 (体育学部武道学科)  
栗田太作 (情報教育センター) 小澤秀樹 (医学部内科学系総合内科学)  
内田晴久 (教養学部人間環境学科) 内田裕久 (工学部原子力工学科)

## The Effects of Slow-running in Hypobaric Hypoxic Environments on the Autonomic Nervous System Post-exercise in Long-distance Runners

Tamotsu TERAO, Hayashi MOROZUMI, Noriaki NISHIDE, Yasuhiro YAMASHITA, Daisaku KURITA, Hideki OZAWA, Haruhisa UCHIDA and Hirohisa UCHIDA



### Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effects of slow running in a hypobaric hypoxic environment on the autonomic nervous system in long-distance runners. Six male adults ( $20.7 \pm 1.1$  years) volunteered for this study. The subjects exercised for 45-60 minutes on a treadmill in two environments; hypobaric hypoxic environment at 1500m (15HE) simulated altitude and hypobaric hypoxic environment at 3000m (30HE) simulated altitude. The following parameters were measured during exercise and next morning post exercise in 15HE and 30HE; RPE, arterial oxygen saturation ( $SpO_2$ ), the autonomic nervous system (Coefficient of Variation of R-R intervals; CVRR, HF normalized unit; HFnu). Our results showed (1) the  $SpO_2$  during exercise in 15HE was significantly higher than that in 30HE ( $p < 0.01$ ). (2) the RPE during exercise in 15HE was significantly lower than that in 30HE ( $p < 0.05$ ). (3) the HR during exercise in 15HE was significantly lower than that in 30HE ( $p < 0.01$ ). (4) the HFnu post exercise in 15HE was significantly higher than that before exercise ( $p < 0.01$ ). (5) the HFnu post exercise in 30HE was showed not higher than that before exercise. (6) the CVRR in 15HE and 30HE did not differ between before and post exercise. These results suggest that slow running in a hypobaric hypoxic environment at 1500 m simulated altitude may be a useful method for stimulating the activity of the autonomic nervous system in long-distance runners.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 27, 63-69, 2015)

## I. 緒言

従来、私たちは、高地（低圧低酸素環境）トレーニングが一部のエリートスポーツ選手の競技力向上のみならず、スポーツ選手の減量や幅広い年齢層の人々に対する肥満の予防・改善および末梢循環や動脈スティフネスの改善、さらには健康増進に貢献する可能性のあること<sup>1-13)</sup>を報告している。

近年、心拍変動パワースペクトル解析は、心拍変動から自律神経系を測定する方法の一つで、運動時の生理応答を評価する指標として用いられている。自律神経系は、交感神経系と副交感神経系とからなり、多くの臓器では、両者の拮抗作用により機能が調節されている。また、両者の活動レベルが、体力や疲労感などの体調の変化、あるいは、睡眠状況等の生体リズムなどに関連して変化することも知られている。自律神経活動の間接的な評価としては、心拍変動解析が利用されている。スポーツ競技におけるコンディションを評価する方法は多様にあるが、特に、起床時における自律神経活動の指標も重要な役割をもつと考えられる。心拍変動は、非侵襲的苦痛を与えずに評価が可能であり、アスリートのコンディション評価に適した指標であると考えられる<sup>14)</sup>。私たちの先行研究では、一般人に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下における2日間の軽運動が運動終了後の翌朝において、自律神経活動のバランスとして副交感神経活動が優位な状態がみられ、末梢血液循環を一時的に改善することを報告している<sup>15)</sup>。さらに、箱根駅伝選手に対する調整期のコンディショニングという観点から起床時の自律神経活動のバランスと競技パフォーマンスとを関連させて検討することは有用であると報告している<sup>16)</sup>。

本研究では、これまでの成績（中高年者およびスポーツ選手に対する標高1500mにおける軽運動の有用性）を踏まえ、長距離選手を対象に、競技大会前の調整期におけるコンディショニング

の基礎資料を得る目的で、異なった低圧低酸素環境下（標高1500m、3000m）における軽運動（スローランニング）が運動終了後（翌朝）の自律神経系の応答にどのような影響を及ぼすかを検討した。本研究では、とくに、起床時の自律神経のバランスに注目し、副交感神経レベルが低い水準を示した場合に低圧環境下の運動を行わせた。

## II. 実験方法

本研究は、すべての検査項目が簡便で、被験者の生体に負担の少ない非侵襲的な検査であった。

### 1. 対象者

実験対象は、東海大学陸上競技部中・長距離選手7名（年齢：20.7±1.1歳、身長：169.1±4.1cm、体重：53.7±2.6kg、体脂肪率：8.5±0.9%）とした。

本研究は、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を得て実施した。なお、被験者には、予め実験の概要を十分に説明し、文書にて実験参加の同意を得た。

### 2. 環境条件

低圧低酸素環境下の実験は、東海大学スポーツ医科学研究所に設置されている低圧（高地トレーニング）室を使用した。

本研究では、標高1500mに相当する気圧（634 mm Hg；15HE）及び3000mに相当する気圧（526 mm Hg；30HE）にそれぞれ調整して行った（室温を22℃、相対湿度を50%）。

### 3. 低圧低酸素環境下の軽運動（スローランニング）および運動強度の判定

本研究では、15HEを基準として、トレッドミルを用い、動脈血酸素飽和度を90～94%および自覚的運動強度RPEを11～13の2つの指標からそれぞれの示してある範囲内になるようランニング速度を求めた。なお、30HEの運動強度は、

15HE の速度を用いた。なお、ランニング時間に関しては、各選手の自主的な判断に委ねた（40～60分程度）。本研究では、15HE および30HE におけるランニング中の動脈血酸素飽和度および心拍数をパルスオキシメーター（Pulsox-300i、コニカミノルタ）を用いて測定するとともに、運動中の自覚的運動強度（RPE）を測定するため、Borg のスケールを用い、各環境下での運動終了直後に、被験者に対して口答で求めた。運動終了後の翌朝（AM 5:00）に、起床時の自律神経活動（自律神経活動量、交感神経と副交感神経のバランスなど）の動態について評価した。

### 3. 自律神経機能の測定方法

自律神経活動の測定は、調整期の起床直後、座位にて安静5分間とした。なお、最初と最後の1分間ずつを削除した計3分間を解析した。

自律神経活動の評価は、心拍変動（R-R 間隔）データを解析した。時間領域解析（CVRR=R-R 間隔の標準偏差/R-R 間隔の平均値）により、脈拍間隔のばらつきを算出し、自律神経活動量（自律神経の大きさ）の指標とした。周波数解析によって求められる心拍変動の低周波帯域（LF:0.04～0.15Hz）は、交感神経活動と副交感神経活動の双方を反映し、高周波帯域（HF:0.15～0.40Hz）については、副交感神経活動を反映すること<sup>17,18)</sup>が定義されている。そこで、HF normalized unit（以下、HFnu、 $HFnu=HF/(LF+HF) \times 100$ ）は、LF に対する HF の大きさを計算することで自律神経活動における副交感神経活動の指標とした<sup>19)</sup>。この指標から自律神経活動のバランスを推定した。

心拍変動の解析は、ハートレートモニター RS800CXN（Polar 社）を用いて心拍 R-R 間隔を記録し、データを Polar ProTrainer 5.3 を用いて高速フーリエ解析を行った。なお、心拍変動には呼吸の影響が大きいことから、安静時には呼吸のリズムを一定の周期（1分間に15回前後の呼吸数）に保持するように指示した。

### 4. 統計解析

結果は、平均値±標準偏差で表した。2つの条件間（運動前と運動後、15HE と30HE）における有意差の検定には、paired t-test を用いた。RPE については、Wilcoxon の符号付き順位検定を行った。統計処理には、統計解析（Dr.SPSS II for Windows）を用いて、有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ. 実験結果

### 1. スローランニング中における SpO<sub>2</sub>、HR および RPE の変化

図1、2および3にスローランニング中における SpO<sub>2</sub>、HR および RPE の変化を示した。SpO<sub>2</sub> は、15HE が30HE に比較して、有意に高値を示した（ $p<0.01$ ）。HR は、15HE が30HE に比較して、有意に低値を示した（ $p<0.01$ ）。RPE は、15HE が30HE に比較して、有意に低値を示した（ $p<0.05$ ）。

### 2. スローランニング終了後（翌朝）における HFnu の変化

スローランニング終了後（翌朝）における HFnu の変化を図4、5に示した。15HE では、ランニング終了後の値がランニング前の値に比較して、有意に高値を示した（ $p<0.01$ ）。30HE では、ランニング前と終了後の値に有意差は認められなかった。

### 3. スローランニング終了後（翌朝）における CVRR の変化

図6、7にスローランニング終了後（翌朝）における CVRR の変化を示した。15HE および30HE のいずれもスローランニング前後で有意差は認められなかった。

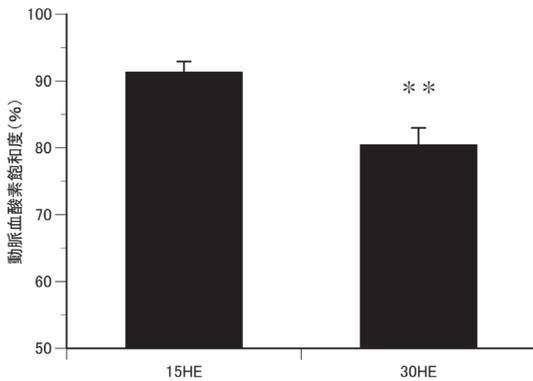


図1 スローランニング中における動脈血酸素飽和度の変化  
Fig 1 Changes in arterial oxygen saturation (SpO<sub>2</sub>) during slow-running.  
Values are expressed as means ± SD. 15HE ; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude. 30HE ; hypobaric hypoxic environment at 3000m simulated altitude.  
\*\* p<0.01

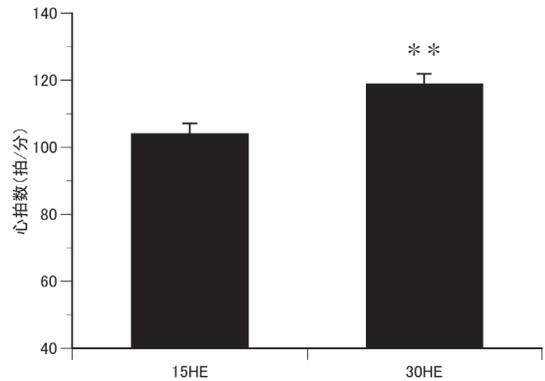


図2 スローランニング中における心拍数 (HR) の変化  
Fig 2 Changes in HR during slow-running.  
Values are expressed as means ± SD. 15HE ; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude. 30HE ; hypobaric hypoxic environment at 3000m simulated altitude.  
\*\* p<0.01

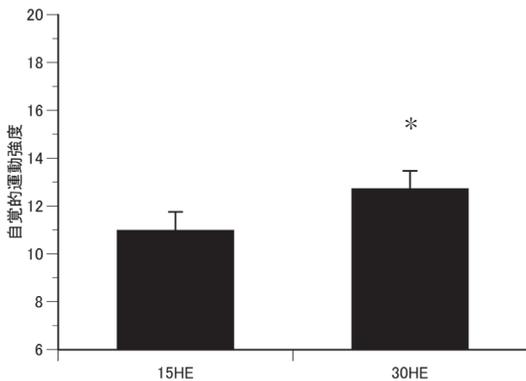


図3 スローランニング中における自覚的運動強度 (RPE) の変化  
Fig 3 Changes in RPE during slow-running.  
Values are expressed as means ± SD. 15HE ; hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude. 30HE ; hypobaric hypoxic environment at 3000m simulated altitude.  
\* p<0.05

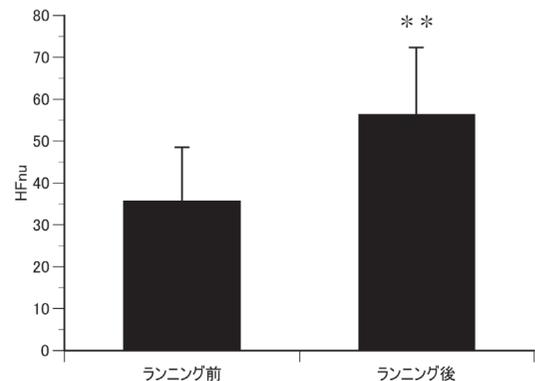


図4 スローランニング終了後(翌朝)におけるHFnuの変化 (標高: 1500m)  
Fig 4 Changes in HFnu at next morning after slow-running (hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude).  
Values are expressed as means ± SD.  
\* p<0.01

## IV. 考察

本研究では、長距離選手を対象に、起床時の副交感神経レベルが低値の傾向を示した場合、異なった低圧低酸素環境下でのスローランニングが運動終了後(翌朝)の自律神経系の応答にどのような影響を及ぼすかを検討した。

その結果、ランニング中の SpO<sub>2</sub> は、15HE で平均91%を示したが、30HE では平均82%と大き

く低値を示した。逆に、RPE では、15HE (平均10) が30HE (平均13) に比較して、低値を示した。先行研究では、環境(標高)の違いに関して、軽運動中の SpO<sub>2</sub> が標高に応じて平地、標高1500m、標高2000mの順で低値を示し、逆に、RPE は、標高に応じて平地、標高1500m、標高2000mの順で高値を示したこと<sup>11)</sup>を報告している。高地における運動の生理的応答は、標高、運動強度および被験者の特性(年齢、鍛錬度、高地経験度等)によって異なる。標高が高くなれば、

長距離選手に対する低圧低酸素環境下におけるスローランニングが運動終了後の自律神経系に及ぼす影響

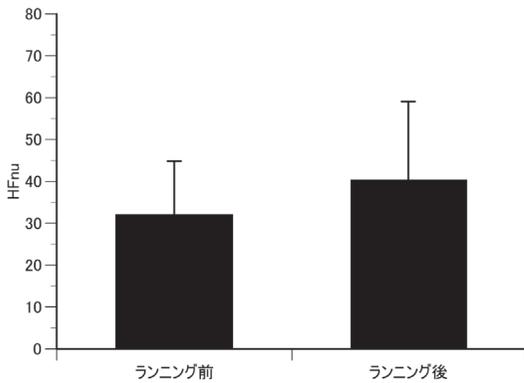


図5 スローランニング終了後（翌朝）における HFnu の変化（標高：3000m）

Fig 5 Changes in HFnu at next morning after slow-running (hypobaric hypoxic environment at 3000m simulated altitude).

Values are expressed as means ± SD.

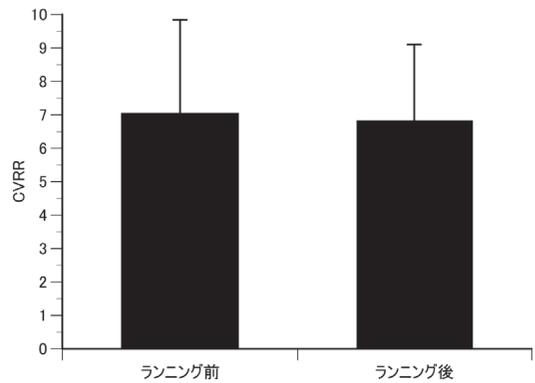


図6 スローランニング終了後（翌朝）における CVRR の変化（標高：1500m）

Fig 6 Changes in CVRR at next morning after slow-running (hypobaric hypoxic environment at 1500m simulated altitude).

Values are expressed as means ± SD.

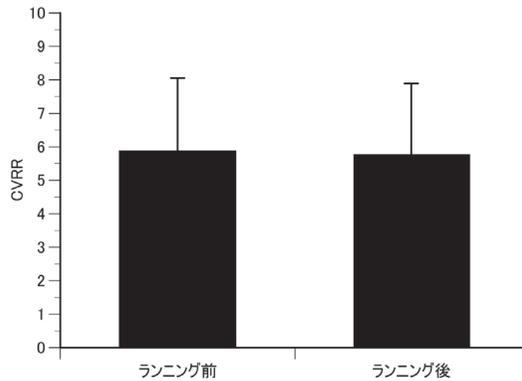


図6 スローランニング終了後（翌朝）における CVRR の変化（標高：3000m）

Fig 6 Changes in CVRR at next morning after slow-running (hypobaric hypoxic environment at 3000m simulated altitude).

Values are expressed as means ± SD.

過度の低圧低酸素負荷がかかり、生体負担度が大きく、RPE も高くなるであろう。したがって、先行研究と同様に、本研究の SpO<sub>2</sub> の応答および RPE の変化から推察すると、標高1500m におけるスローランニング時には、生体に適度な低圧低酸素負荷がかかっていたと考えられる。

スローランニング中の心拍数は、15HE が 30HE に比較して、低値を示した。運動時は、安静状態に比較して、呼吸・循環器系などの生理機能がより活発に働くことが要求される。通常、運

動強度に対応した適切な酸素供給を維持するために、交感神経と副交感神経のバランスを変化させ、呼吸循環の応答を制御している。これらの身体諸機能の変化を起こすために、自律神経系では交感神経の活動が優位になり、逆に副交感神経の活動が抑制されると考えられる。たとえ、その運動が定常状態に入りえたとしても、交感神経活動優位の平衡を保った状態が持続される<sup>20)</sup>と考えなければならない。運動強度と自律神経活動に関して、AT（嫌気性代謝閾値）強度以上になると

副交感神経活動は著しく減弱し、交感神経活動は相対的に増加すること<sup>21)</sup>が報告されている。本研究では、スローランニング速度は、15HEと30HEとも同じであったが心拍数や前述のSpO<sub>2</sub>およびRPEにおいて有意な差がみられた。運動中の心拍数の変動は、環境（標高）の違いによって影響を受けたことが考えられる。本研究の結果から推察すると、標高3000mにおけるスローランニング中は、1500mの時よりも自律神経活動のバランスとして、交感神経活動が優位な状態にシフトし、心拍数を増加したことが示唆された。

次に、スローランニング終了後（翌朝）における安静時のHFnuの変化は、15HEのランニング終了後の値がランニング前の値に比較して、有意に高値を示した。30HEでは、ランニング前と終了後の値に有意差は認められなかった。先行研究では、一過性の運動終了後の自律神経系の生体情報を知るために、瞳孔の対光反応を数値化することで初期瞳孔径を測定した（交感神経と副交感神経の優位のバランス）。一般的に、安静時には副交感神経が亢進し、瞳孔が縮小することが報告<sup>22)</sup>されている。その結果、回復時の運動終了30分後には、副交感神経活動が優位な状態にあること<sup>12)</sup>を示していた。さらに、私たちの先行研究では、HFnuが低値になったときに標高1500mでのスローランニングを行うと翌朝起床時の自律神経活動のバランスが改善される傾向がみられたこと<sup>16)</sup>を報告している。したがって、先行研究および本研究の結果から、15HEでは、30HEに比べて、運動終了後の翌朝において自律神経のバランスとして副交感神経優位の状態が維持されていたことが示唆された。現在では、各選手の自主性に任せ、調整期のコンディショニングの一方策として標高1500mに相当する低圧低酸素環境下でのスローランニングを取り入れている。各選手からは、「気分爽快になった」、「疲労回復ができた」、「調子が良くなった」などの感想があった。

以上、本研究の成績から、長距離選手に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下におけるスローランニングは、運動終了後の翌朝におい

ても、副交感神経活動が優位な状態がみられ、自律神経活動のバランスおよび反応力を一時的に好ましい方向に変えることができると示唆された。

## V. まとめ

本研究では、長距離選手を対象に、起床時の副交感神経レベルが低値の傾向を示した場合、異なった低圧低酸素環境下でのスローランニングが運動終了後（翌朝）の自律神経系の応答にどのような影響を及ぼすかを検討した。

その成績を示すと次のごとくである。

- 1) スローランニング中におけるSpO<sub>2</sub>は、15HEが30HEに比較して、有意に高値を示した(p<0.01)。
- 2) スローランニング中におけるHRは、15HEが30HEに比較して、有意な低値を示した(p<0.01)。
- 3) スローランニング中におけるRPEは、15HEが30HEに比較して、有意な低値を示した(p<0.05)。
- 4) スローランニング終了後（翌朝）におけるHFnuは、15HEにおいてランニング終了後の値がランニング前の値に比較して、有意に高値を示した(p<0.01)。30HEでは、ランニング前と終了後の値に有意差は認められなかった。
- 5) スローランニング終了後（翌朝）における安静時のCVRRは、15HEおよび30HEのいずれも運動前後で有意差は認められなかった。

以上、本研究の成績から、長距離選手に対する標高1500mに相当する低圧低酸素環境下におけるスローランニングは、運動終了後の翌朝においても、副交感神経活動が優位な状態がみられ、自律神経活動のバランスおよび反応力を一時的に好ましい方向に変えることができると示唆された。

### 参考文献

- 1) 寺尾保、木村季由、湯浅康弘、袋籠龍太郎、恩田哲也、有賀誠司、中澤一成、山並義孝、中村豊、齋藤勝：ス

- ポーツ選手の減量に対する低圧環境下の歩行運動が身体組成およびエネルギー代謝に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、11:22-29、1999
- 2) 寺尾保、木村季由、恩田哲也、有賀誠司、中村豊、サンドゥー・アダルシュ、山並義孝、齋藤勝：肥満者およびスポーツ選手の減量に対する低圧環境下における歩行運動の有効性、東海大学スポーツ医科学雑誌、13:15-23、2001
  - 3) 寺尾保、桑平一郎、恩田哲也、有賀誠司、中村豊、サンドゥー・アダルシュ、宮川千秋、山並義孝、齋藤勝：肥満者に対する低圧環境下の歩行運動が運動終了後のエネルギー消費量に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、14:14-22、2002
  - 4) 寺尾保、桑平一郎、宮川千秋、恩田哲也、中村豊、三田信孝、山並義孝、齋藤勝：肥満者の減量に対する低圧環境下および常圧環境下における歩行運動の有効性、東海大学スポーツ医科学雑誌、15:32-38、2003
  - 5) Terao, T., Miyakawa, C., Yamanami, Y., Saito, M. : The effects of walking exercise in hypobaric and normobaric environments on resting metabolic rate and body composition in obese adults. *Osterreichisches Journal fur Sportmedizin*, 33(2):26-31, 2003
  - 6) 寺尾保、小澤秀樹、桑平一郎、三田信孝、恩田哲也、中村豊、山並義孝、堀江繁：肥満者の減量に対する低圧低酸素環境下の歩行運動が運動終了後の末梢血液循環に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、16:61-68、2004
  - 7) 寺尾保、小澤秀樹、桑平一郎、三田信孝、山並義孝、伊藤栄治：肥満者に対する低圧低酸素環境下における安静時および歩行運動運動終了後の末梢血液循環に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、18：54-61、2006
  - 8) 寺尾保、伊藤栄治、小澤秀樹、桑平一郎、三田信孝、山並義孝、堀江繁：中高年者に対する低圧低酸素環境下の歩行運動が末梢循環に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、17:16-22、2005
  - 9) 寺尾保、小澤秀樹、桑平一郎、三田信孝、伊藤栄治、山並義孝：高齢化社会における中高年者の健康と疾病に対する高地トレーニング処方の有効性、東海大学スポーツ医科学雑誌、19:39-46、2007
  - 10) 寺尾保、小澤秀樹、三田信孝、内田裕久、坂根浩弥、山崎由紀、竹内照定：中高年者の減量に対する石鏡山系を利用した高地環境における歩行運動の有効性、東海大学スポーツ医科学雑誌、20:69-78、2008
  - 11) 寺尾保：高齢化社会における中高年者の疾病予防と健康増進に対する高地トレーニングの有効性、科学研究費補助金研究成果報告書、1-4、2009
  - 12) 寺尾保、小澤秀樹、三田信孝、桑平一郎、内田裕久：中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が運動終了後の自律神経系および動脈機能に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、21:43-50、2009
  - 13) 寺尾保、栗田太作、小澤秀樹、瀧澤俊也、積山和明、三田信孝、灰田宗孝、内田裕久：若年アスリートに対する低圧低酸素環境下における歩行運動が末梢血液循環および動脈機能に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、22:65-72、2010
  - 14) 清水和弘：免疫系指標と自律神経系指標によるコンディション評価、臨床スポーツ医学、28 (8) :855-859、2011
  - 15) 寺尾保、栗田太作、小澤秀樹、瀧澤俊也、灰田宗孝、内田晴久、内田裕久：中高年者に対する低圧低酸素環境下における歩行運動が自律神経系、末梢血液循環および動脈機能に及ぼす影響、東海大学スポーツ医科学雑誌、24:57-64、2012
  - 16) 両角速、山下泰裕、寺尾保：箱根駅伝選手における自律神経活動と競技成績に関する実践的研究、東海大学スポーツ医科学雑誌、26:53-58、2014
  - 17) 早野順一郎：臨床医のための循環器自律神経機能検査法、51-61、メディカルレビュー社、1997
  - 18) 日本自律神経学会：自律神経機能検査、第4版、文光堂、2007
  - 19) 飯塚太郎：心拍数・心拍変動、II . コンディショニングの評価とその活用—具体的な評価手法とその応用—、臨床スポーツ医学、28:166-171、2011 麻野井英次：循環器疾患と自律神経機能、第2版、自律神経系による循環調節、19-43、医学書院、2001
  - 20) 中野昭一、堀居昭、寺尾保：解剖と生理、261-264、じほう、2000
  - 21) 安達仁：心肺運動負荷テストと運動療法、初版、運動療法と運動処方、南江堂、240-276、2004
  - 22) 後藤由夫、本郷道夫：自律神経の基礎と臨床、改訂版、医学ジャーナル社、122-127、2006

