



箱根駅伝選手に対する 常圧低酸素環境下の睡眠が自律神経活動 およびコンディションに及ぼす影響

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) 寺尾 保 (スポーツ医科学研究所)

The Effects of Nocturnal Sleep during the Normobaric Hypoxic Environment on the
Autonomic Nervous Activity and the Condition in the Hakone-Ekiden Athletes

Hayashi MOROZUMI, Noriaki NISHIDE, Yasuhiro YAMASHITA and Tamotsu TERAOKA



Abstract

The purpose of this study is to elucidate the effects of nocturnal sleep during the normobaric hypoxic environment (altitude ; 3000m) on the autonomic nervous activity and the condition at rising in the Hakone-Ekiden athletes. Subjects were four long-distance runners. The arterial oxygen saturation (SpO₂) was measured during night sleep. Sympathetic and parasympathetic activities were evaluated by the spectral analysis of heart rate variability. Low frequency power (LF, 0.04-0.15 Hz) and high frequency power (HF, 0.15-0.40 Hz) were obtained. HFnu(HF/(LF+HF) × 100) at rising was used as an indicator of parasympathetic activities. Sleep, diet, fatigue and physical condition levels at rising were evaluated by Condition Check Sheet (CCS).

The results are as follows:

- 1) The mean SpO₂ during night sleep showed 87-88%.
- 2) HFnu at rising in four subjects showed above 50.
- 3) Evaluation by CCS at rising showed a tendency to high scores for sleep, diet and condition levels.

These results suggest that the nocturnal sleep during the normobaric hypoxic environment at 3000 m simulated altitude may be a useful method for stimulating the activity of the autonomic nervous system and effective condition in the Hakone-Ekiden athletes

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 27, 43-49, 2015)

I. 緒言

近年、種々のスポーツに応用できる重要なトレ

ーニング方法の一つである高地トレーニングは、スポーツ医科学分野において、“高地がもたらす運動能力向上の効果”について研究・調査がなされてきている。高地トレーニングの形態には、高



写真1 低酸素テントシステムを使用した睡眠（標高：3000m）
Photo. 1 Night sleep using the Hypoxico Altitude Tent System

地に滞在して一定期間トレーニングを継続する方式、高地に数日間滞在してトレーニングを行い、平地に戻って数日間トレーニングを行うことを繰り返すインターバル方式、高地に滞在、低地でトレーニングを行う方式、平地で生活、疑似的な高地環境下でトレーニングを行う方式、人工的および自然環境を利用した複合的高地トレーニングを行う方式などがある。東海大学スポーツ医科学研究所では、人工的高地トレーニングシステム（低圧室）を利用した高地トレーニングにより、心肺機能の強化（標高：3000m）およびコンディショニング（標高：1500m）について追究している。

これまでの多くの研究では、「高地で生活し、低地でトレーニングする」という高地トレーニング方式も、長距離選手の競技力向上に有効であること^{1,2)}が報告されている。さらに、近年、低酸素テントシステムとして、携帯用高度シミュレーションシステムが開発され、このテントの中で睡眠することで、高地順応力の向上に要される低酸素レベルを設定できることが証明されている。しかし、高地（低酸素環境）の睡眠時、どの程度の標高に設定するかが重要となる。一般的には、標高が高くなればなるほど、高い効果が得られるが、その反面、睡眠の質や疲労回復に影響する点を考慮する必要がある。低酸素環境では、睡眠が障害される可能性があること³⁾も指摘されている。高地における生理的応答は、標高や被験者の

特性（年齢、鍛錬度、高地経験度等）によって異なる。標高が高くなればなるほど、過度の低圧低酸素負荷がかかり、生体負担度が大きくなるであろう。日常、過酷なトレーニングを行い、睡眠を十分に確保する必要がある長距離選手にとって、最も重要になるのが睡眠の質である。睡眠不足や断眠は、自律神経系のバランスの崩れや免疫制御機構の低下を引き起こさせる。睡眠の質が良くなると、熟睡度は向上し、疲労回復、さらには良好なコンディションが得られ、最終的には、パフォーマンスの向上に繋がるのが考えられる。

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、自律神経活動の指標も重要な役割をもつと考えられる⁴⁾。自律神経系（交感神経系と副交感神経系）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。高地トレーニング時の夜間睡眠中の自律神経活動水準は、高地環境への適応に加え、その日のトレーニングや休息の状態を反映し、さらに、コンディションとの間に関係のあること⁵⁾が報告されている。私たちの先行研究⁶⁾では、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。すなわち、起床時の自律神経活動（交感神経と副交感神経のバランス）を毎日測ることによって、日々の睡眠の状態、疲労状態およびコンディション状況や環境（標高）に身体が適応しているかどうかを把握できると考えている。

そこで、本研究では、箱根駅伝選手に対する常圧低酸素環境下での睡眠が起床時の自律神経活動（交感神経と副交感神経のバランス）およびコンディションにどのような影響を及ぼすのかを検討した。

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・長距離ブロックの箱根駅伝の代表選手4名を用いた。被験者の身体的特徴を表1に示した。いずれの被験者も、日常、人工的高地トレーニングシステム（低圧室）を利用して、標高3000mでハードなトレーニングを経験している選手であった。

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、実験の概要を十分に説明し実験参加の同意を得た。

2. 低酸素環境下の睡眠および標高の設定

低酸素環境下の睡眠には、低酸素テントシステム Hypoxico Altitude Tent System（エベレストサミットII、HYPOXICO社）を使用した。睡眠は、標高3000mに相当する酸素濃度（14.5%）に調整して行った。なお、睡眠の期間は、被験者Aが12日間（但し、期間中に公式記録会があり、2日間は平地の睡眠とした）、被験者Bが9日間、被験者Cが7日間、被験者Dが5日間であった。睡眠時間は、7時間以上とした。なお、低酸素環境下の睡眠期間中は、平地での練習（距離走、クロカン走、トラックによる各種ポイント走など）のみとした。

3. 自律神経機能の測定方法

自律神経活動の測定は、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。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、

表1 被験者の身体的特徴

Table. 1 Physical characteristics of the subjects

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)
A	20	168.2	48.5	8.5
B	22	175.0	56.0	11.7
C	19	175.5	54.2	7.9
D	21	168.6	56.2	8.9

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⁷⁾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⁸⁾。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. 動脈血酸素飽和度（SpO₂）および脈拍数（HR）の測定

睡眠中のSpO₂およびHRは、2名の選手（被験者A、C）を対象に、パルスオキシメーター（Pulsox-300i、コニカミノルタ）を用いて測定した。被験者AおよびCは、パルスオキシメーターのフィンガークリップを人差し指に装着し、就寝時から起床時までのSpO₂とHRを1秒ごとに記録した。得られたデータからそれぞれの平均値を算出し、睡眠中の値とした。

5. コンディションチェックシートによる評価

起床時座位で心拍変動の測定後、コンディションチェックシートを用い、睡眠状況（5：非常に良い～3：普通～1：非常に悪い）、食事（5：十分食欲あり～3：普通～1：全く食欲なし）、疲労感（5：全く疲労なし～3：普通～1：非常に疲労あり）、体調（5：最良～3：普通～1：

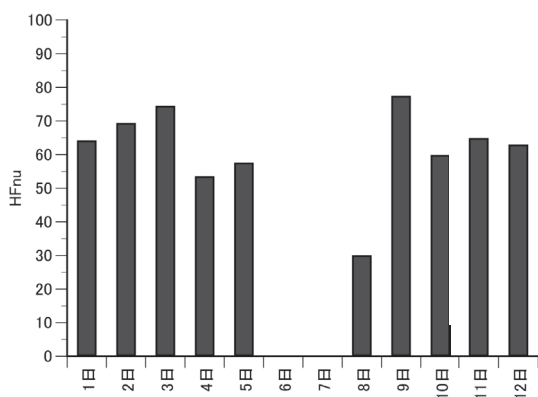


図1 低酸素テントの睡眠期間における HFnu の変化 (被験者 A)
Fig. 1 Changes in HFnu at nocturnal sleep during the normobaric hypoxic tent. (Subject A)

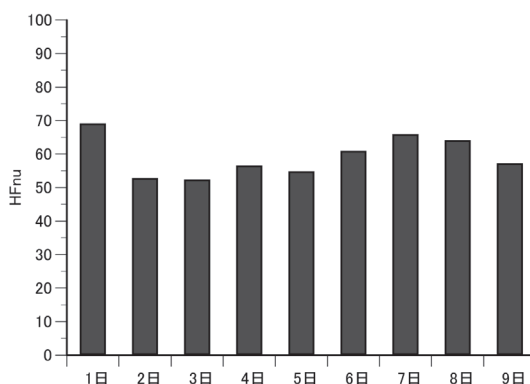


図2 低酸素テントの睡眠期間における HFnu の変化 (被験者 B)
Fig. 2 Changes in HFnu at nocturnal sleep during the normobaric hypoxic tent.(Subject B)

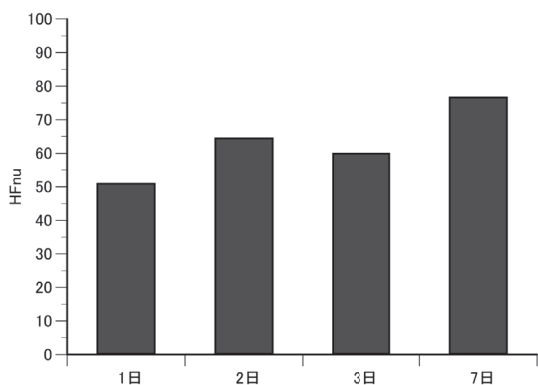


図3 低酸素テントの睡眠期間における HFnu の変化 (被験者 C)
Fig. 3 Changes in HFnu at nocturnal sleep during the normobaric hypoxic tent.(Subject C)

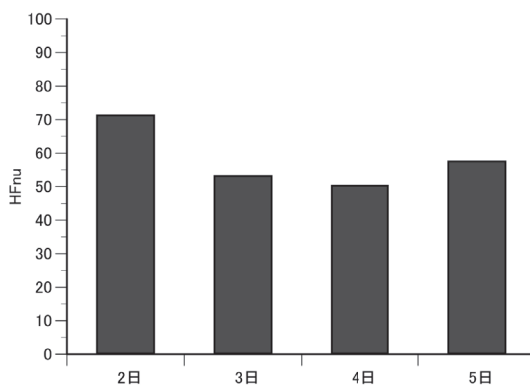


図4 低酸素テントの睡眠期間における HFnu の変化 (被験者 D)
Fig. 4 Changes in HFnu at nocturnal sleep during the normobaric hypoxic tent.(Subject D)

最悪)等、5段階評価を行った。

Ⅲ. 結果

1. 常圧低酸素テントの睡眠中における SpO₂ および HR の変化

睡眠中の SpO₂ は、被験者 A が平均 87%、被験者 C が 88% で、両者ともほぼ同値であった。睡眠中の HR は、被験者 A が平均 49 拍 / 分、被験者 C が 50 拍 / 分で、この値も両者でほぼ同値であった。

2. 常圧低酸素テントの睡眠期間における HFnu の変化

図 1、2、3 および 4 に起床時における HFnu の変化を示した。被験者 A は、前半の 5 日間、54~74 と高い値を維持していたが、2 日間の平地での睡眠後で大きく低下したが、後半、標高 3000 m に相当する常圧低酸素環境下での睡眠が再開されると、前半と同様に高い値を維持していた。被験者 B は、9 日間の常圧低酸素環境下での睡眠期間中、高い値を維持していた。被験者 C は、7 日間の常圧低酸素環境下での睡眠期間中、高い値を維持していた。被験者 D は、5 日間の常圧低酸素環境下での睡眠期間中、50 以上の値を維持

していた。

3. コンディションチェックシートによる評価

睡眠状況は、被験者A：睡眠期間中すべて4（良い）、被験者B：睡眠期間中すべて5（非常に良い）、被験者C：睡眠期間中すべて4（良い）、被験者D：睡眠期間中すべて4（良い）であった。睡眠時間は、A：7時間20分～8時間、被験者B：7時間30分～9時間15分、被験者C：8時間、被験者D：7時間であった。食欲については、被験者A：睡眠期間中すべて4（食欲あり）、被験者B：3～5（普通～十分食欲あり）、被験者C：睡眠期間中すべて5（十分食欲あり）、被験者D：睡眠期間中すべて5（十分食欲あり）であった。疲労感は、被験者A：2～3（やや疲労あり～普通）、被験者B：睡眠期間中すべて3（普通）、被験者C：睡眠期間中すべて3（普通）、被験者D：2～4（やや疲労あり～疲労なし）であった。体調は、被験者A：睡眠期間中すべて4（良い）、被験者B：3～4（普通～良い）、被験者C：睡眠期間中すべて4（良い）、被験者D：睡眠期間中すべて5（最良）であった。

IV. 考察

本研究では、箱根駅伝選手に対する常圧低酸素環境下での睡眠が起床時の自律神経活動（交感神経と副交感神経のバランス）およびコンディションにどのような影響を及ぼすのかを検討した。

標高3000mに相当する常圧低酸素環境下での睡眠中の平均SpO₂は、被験者Aが平均87%、被験者Cが平均88%で、両者ともほぼ同値であった。睡眠中のHRもほぼ同値であった。平地（常圧常酸素環境）では、安静時のSpO₂値が98%前後である。競泳選手（3名）を対象とした実践的研究⁸⁾では、低酸素宿泊（低酸素宿泊室；標高2000m相当）と常酸素トレーニングにおける睡眠中の平均SpO₂が91～94%程度の低下がみられたという報告がある。低酸素環境におけるSpO₂の応答

は、低酸素レベルの差や被験者の特性（年齢、鍛錬度、低酸素環境経験度等）によって異なる。酸素レベルが低くなればなるほど、過剰の低酸素負荷がかかり、生体負担度が大きく、SpO₂も著明に低くなるであろう。本研究で得られたSpO₂の値と次に述べるHFnuの値をみる限りでは、標高3000mにおける睡眠時には、生体に過剰というよりも適度な低酸素負荷がかかっていたと考えられる。

起床時の自律神経の活動水準は、低酸素環境への適応に加え、前日までのトレーニングや疲労の状態、コンディションの状況などをある程度反映しているものと考えられる。とくに、HFnuに関して、私たちの先行研究⁶⁾では、箱根駅伝前の調整期の起床時、個人差はあるがHFnuの数値が高い選手、すなわち、副交感神経活動優位の状態を維持できた選手は競技成績が良く、逆に、HFnuの数値が極端に低い選手、すなわち、交感神経優位の状態が続いた選手は競技成績が悪くなる傾向を示したことを報告している。したがって、HFnuの数値を高くして、副交感神経活動を優位の状態に維持することが競技パフォーマンスの向上にも繋がると示唆した。本研究の結果、標高3000mに相当する常圧低酸素環境下での睡眠期間中、いずれの選手も起床時HFnuの数値が高く、極端に低い値を示した選手はみられなかった。仮に、この値が大きく変化して、低い値を維持するようであれば、自律神経のバランスとして、交感神経活動優位の状態を意味することになる。これは、過剰な低酸素負荷によって生体にかかる負担度が大きく、睡眠の質や疲労の回復力が下がり、コンディションにも悪影響を及ぼすことが考えられる。5日間の常圧低酸素環境（標高：2000m）での宿泊に関する研究では、低酸素環境適応が得られ、低酸素環境での睡眠中の呼吸障害が改善し、睡眠の質が向上したこと¹⁰⁾が報告されている。標高2650mの疑似高地に暴露させた研究では、最初の2日以内にレム睡眠とノンレム睡眠時の両方において睡眠時無呼吸が有意に増加したこと¹¹⁾が報告されている。しかし、低酸素環境下

の睡眠に関する研究では、個人差が大きく一致した見解がみられていないのが現状である。本研究では、HFnuの変化から、標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠期間中でも副交感神経活動の優位な状態を維持することでできたと考えられる。この理由の1つとしては、いずれの被験者も、日常、低圧室を利用して、標高3000mでハードなトレーニング (SpO_2 ;70~78%の低下)を経験している選手である。さらに、3名の被験者は、これまでに標高3000mに相当する常圧低酸素環境下での睡眠を経験してきていることが挙げられる。したがって、被験者4名は、標高3000mに相当の低酸素暴露に対して十分に適応していた可能性が考えられる。これまでに長距離選手を対象にして、定期的に起床時の自律神経活動の測定を行ってきた。とくに、被験者CのHFnuは、上記の標高3000mに相当の環境下でのトレーニングや睡眠を経験する前の値が30~40であった。この値と比較して、今回の方が明らかに高い値を示していた。

4名の被験者(A、B、C、D)は、コンディションシートを用いた睡眠状況、食事、疲労感、体調の評価からも標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠期間中、良好なコンディションを維持することができたと考えられる。とくに、睡眠不足や断眠は、自律神経系のバランスの崩れや免疫制御機構の低下を引き起こさせる。寝られないと疲労回復が不十分になり、コンディションに影響を及ぼすことになる。睡眠の質が良くなると、熟睡度は向上し、疲労回復、さらには良好なコンディションが得られ、最終的には、パフォーマンスの向上に繋がるのが考えられる。いずれの選手も、低酸素テント睡眠期間中は、「寝つきがよくなった」、「熟睡できた」、「夜中に目が覚める回数が減った」、「疲労回復ができた」、「平地での睡眠よりもよく眠れた」などの感想があった。この低酸素環境下の睡眠を上手に活用することで、質の高い睡眠を得ることができると示唆された。4名の被験者では、コンディションシートの評価からみると、競技会前のコンディションを整える

調整期においても、標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠が有用であろうと考えられる。

以上、標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠は、起床時、副交感神経活動の優位な状態を維持することができたと考えられる。睡眠状況、食事、疲労感、体調の評価からも標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠期間中、良好なコンディションを維持することができたと考えられる。今後は、競技会前の体調の管理という視点から「低酸素環境下における睡眠と競技パフォーマンス」の研究も重要な研究課題となるであろう。

V. まとめ

本研究では、箱根駅伝選手に対する常圧低酸素テント中の睡眠が起床時の自律神経活動(交感神経と副交感神経のバランス)およびコンディションにどのような影響を及ぼすのかを検討した。

その成績を示すと次の通りである。

- 1) 睡眠中の SpO_2 は、被験者Aが平均87%、被験者Cが88%で、両者ともほぼ同値であった。
- 2) 睡眠中のHRは、被験者Aが平均49拍/分、被験者Cが50拍/分で、この値も両者でほぼ同値であった。
- 3) 標高3000mに相当する常圧低酸素環境下での睡眠期間中、いずれの選手も起床時HFnuの数値(50以上)が高く、極端に低い値を示した選手はみられなかった。
- 4) コンディションシートを用いた睡眠状況、食事、疲労感、体調の評価からも標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠期間中、良好なコンディションを維持することができた。

以上、箱根駅伝選手に対する標高3000mに相当する常圧低酸素環境下での睡眠は、起床時のHFnuの数値が高く副交感神経活動優位を維持することができたと考えられる。睡眠状況、食事、疲労感、体調の評価からも標高3000mに相当の低酸素環境下での睡眠期間中、良好なコンディションを維持することができたと考えられる。

参考文献

- 1) 浅野勝己、小林寛道編：高所トレーニングの科学、日本運動生理学会 運動生理学シリーズ6、杏林書院、2004 清水和弘：
- 2) Randall L.Wilber：高地トレーニングと競技パフォーマンス、川原貴、鈴木康弘監訳、講談社サイエンティフィック、2008
- 3) 内田直：スポーツ科学と睡眠検査、松浦雅人編、睡眠検査学の基礎と臨床、新興医学出版社、48-51、2009
- 4) 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
- 5) 杉田正明、長沼祥吾、松尾彰文、西井克昌、高地トレーニング中の睡眠時自律神経活動とコンディション、日本疲労学会誌、8（2）:29-35、2013
- 6) 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
- 7) 日本自律神経学会：自律神経機能検査、第4版、文光堂、2007
- 8) 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—具体的な評価法とその応用—、臨床スポーツ医学、28:166-171、2011
- 9) 鈴木康弘：常圧低酸素環境での滞在およびトレーニングが高地滞在中の生理的応答に及ぼす影響～競泳日本代表選手を対象とした実践的検討～、第4回（2006年度）「スポーツ研究助成事業報告書」、一般財団法人上月財団 2006
- 10) 鈴木康弘（研究代表者）、星川雅子、中垣浩平、萩原正大、大家利之、甲斐、酸素濃度変化を利用したトレーニング方法の開発、国立スポーツ科学センター年報、36-37、2013
- 11) Kinsman.TA, A.G. Hahn.C.J. Gore. B.R. Wilsmore. D.T. Martin, and C.M. Chow.:Respiratory events and periodic breathing in cyclists sleeping at 2650-m simulated altitude. Journal of Applied Physiology 92:2114-2118, 2002

