

2023 年度東海大学体育学部研究セミナー報告

植村隆志^{*1,2}・小山孟志^{*1,2}・丹治史弥^{*1,2}

Report on the 2023 Tokai University Faculty of Physical Education Research Seminar

by

Takashi Uemura, Takeshi Koyama and Fumiya Tanji

Abstract

This seminar hosted by the Department of Competitive Sports Science aims to advance athlete and coach development through evidence-based training methods. The 2023 session featured presentations by two faculty members, highlighting the integration of scientific approaches into sports performance and injury prevention. Assistant Professor Fumiya Tanji discussed hypoxic training techniques developed by his team, including applications for long-distance runners competing in the Hakone Ekiden. He reviewed the benefits of Living-Low, Training-High (LLTH) protocols, emphasizing improved running economy and endurance under controlled oxygen-reduced conditions. Case studies demonstrated significant performance gains, such as enhanced uphill running capabilities for specific athletes. He also outlined plans to expand training options using a new chamber system capable of regulating oxygen, temperature, and humidity to optimize endurance performance. Associate Professor Takeshi Koyama presented his research on external load monitoring in basketball, employing inertial sensors to assess high-impact movements. His findings revealed correlations between accelerative forces, muscle damage markers, and performance recovery. Practical applications included simulating match conditions to leverage the repeated bout effect and reduce game-related injuries. This seminar underscores the critical role of tailored, data-driven interventions in maximizing athlete performance and safety across diverse sports. Future initiatives will continue refining these strategies for broader athletic applications.

I. セミナー開催の趣旨（植村隆志）

体育学部競技スポーツ学科ではスポーツ界をリードする競技者・指導者を輩出するために、実戦重視のカリキュラムを設定しており、「Good Athlete」、「Good Coach」、「Good Trainer」の育成を目指している。近年ではアスリートに対する科学的知見に基づいたコーチングやトレーニング

の指導が必須であり、アスリートの効果的なパフォーマンスの向上やケガのリスク軽減に貢献する。そこで、2023 年度の本研究セミナーでは2名の競技スポーツ学科教員に「競技スポーツへのサイエンスの活用」というテーマにて体育系競技部に対する科学的トレーニング支援の背景や実践方法について報告をしていただいた。

*1 東海大学体育学部競技スポーツ学科

*2 東海大学スポーツ医科学研究所

丹治史弥助教には、丹治助教の研究チームで得た低酸素環境を用いたトレーニング方法とそのトレーニング効果の結果および箱根駅伝出場選手への低酸素環境トレーニングの実践方法について紹介いただいた。小山孟志准教授には、バスケットボール部を対象にした身体負荷モニタリングに関する研究成果と実践方法について紹介いただいた。

Ⅱ. 箱根駅伝選手への低酸素環境トレーニング (丹治史弥)

世の中に高地トレーニングが認知され始めた契機は 1968 年に開催されたメキシコオリンピックである。開催都市のメキシコシティは標高 2,300 m に位置し、当時夏季オリンピック史上初の高地環境での実施となり、物議を醸した。陸上競技種目では短距離、跳躍、投擲種目で世界新記録やオリンピック新記録が樹立された一方、1,500m を超える長距離種目において優勝記録が世界記録を大きく下回る結果となった。そのような中で躍進したのはメキシコオリンピックから五輪に参加し始めたケニア、エチオピアの選手であった。この 2 か国で中距離・長距離種目のメダル獲得率が 50% となり、他国は標高の高い環境で生活、トレーニングを実施していることがパフォーマンスの向上に恩恵があるのではないかと、高地トレーニングの研究が発展していくことになった。

高地トレーニングの種類は大きく 3 種類が存在し、高地滞在、高地トレーニング (Living-High, Training-High: LHTH)、高地滞在、低地トレーニング (Living-High, Training-Low: LHTL) および低地滞在、高地トレーニング (Living-Low, Training-High: LLTH) が挙げられる。LHTH は体が低酸素状態に暴露されることで腎臓からエリスロポエチンが排出され、その結果赤血球やヘモグロビンが増大し、酸素運搬能力および最大酸素摂取量が改善する効果がある。ただし、トレーニング強度を上げにくく、実施者全員に効果が認められるわけでないことも知られている。とりわけ、LHTH にて通常環境よりもトレーニング強度を下げってしまう選手は LHTH による効果が得られにくいことも知られている (Chapman et al., 1998)。そのようなデメリットを克服するために、

トレーニング時に標高の低い場所で実施し、高いトレーニング強度を保つことを目指した高地トレーニング方法が LHTL である。LHTL は LHTH と同様に、エリスロポエチンの排出により、赤血球やヘモグロビンが増大し、酸素運搬能力および最大酸素摂取量が改善する効果がある。ただし、トレーニング実施時に大きな移動を伴うことから疲労やコストが大きいことで知られている。LHTL および LHTH は標高 2,500 m 以上の環境で 4 週間以上の滞在が必要である。世界の主な高地トレーニング拠点として、アルバカーキ (標高 1,900 m; アメリカ)、フラッグスタッフ (標高 2,100m; アメリカ)、ボルダー (標高 2,700m; アメリカ)、イテン (標高 2,300 m; ケニア)、シエラネバダ (標高 2,300 m; スペイン) などが挙げられる。一方、我が国では高峰高原 (標高 2,000 m; 長野県小諸市)、飛騨御嶽 (標高 1,700 m; 岐阜県高山市)、菅平高原 (標高 1,300 m; 長野県上田市) など標高 2,000 m 以下の場所が多く、LHTL や LHTH の効果的な実施が困難なようである。実際我々はアスリートに対して高峰高原にて 3 週間の LHTH を実施したものの、ヘモグロビンや最大酸素摂取量の有意な改善を認めていない (丹治ほか, 2023)。

そこで現在注目されているのは、LLTH による高地トレーニングである。LLTH はトレーニング時に低酸素環境に暴露するため、運動中のエネルギー代謝がより解糖系のエネルギー供給系からの貢献が高まり、常酸素環境でのトレーニングよりもトレーニングの効果が得られると知られている。我々もアスリートに対して標高 3,000 m 相当 (酸素濃度, 14.5%) の環境で 5 日間連続で高強度トレーニングを実施させた結果、走の経済性の改善や疲労困憊に至るまでの走行時間の延長を認めた。また、アスリートに対して同様の環境においてトレーニング内容を変更し 5 日間連続で高強度トレーニングを実施させた結果、最大酸素摂取量や最大酸素摂取量出現走速度の改善を認めた。

それらの研究成果を踏まえて、著者は箱根駅伝選手へ低酸素環境トレーニングを介入してきた。例えば、2024 年 1 月 (第 100 回) の箱根駅伝にて 6 区を走った選手に対しては、箱根駅伝当日までに計 3 回の LLTH を実施させた。箱根駅伝 6 区は

山下り区間で知られているが、コースの序盤は上り坂である。この上り坂が苦手であった選手に対して、トレッドミルの傾斜を 6% に設定し、酸素濃度 16.5%-14.0% の環境でインターバルトレーニングを実施させた。インターバルの休息時間も走速度を落として走行を維持させるように指示した。トレーニングを重ねるたびにトレーニング室内の酸素濃度を低下させたことで運動中の動脈血酸素飽和度 (SPO₂) は低下しているにもかかわらず、主観的運動強度 (RPE) は低下し、明らかなトレーニング適用が示された。その結果、対象選手は箱根駅伝本番に想定よりも速いペースで上り坂区間を走行できた。

著者はこれまでに陸上競技部の長距離ランナー (箱根駅伝選手) や短距離スプリンターなどに低酸素環境でのトレーニングを導入してきた。世界的にみるとサッカー選手やラグビー選手などのチームスポーツ選手への介入や実験結果も多く報告されており、持久性パフォーマンスやスプリントパフォーマンスの改善が紹介されている。今後は東海大学の様々な体育系競技部のアスリートに対して低酸素環境でのトレーニングを実施してもらえそうな高地トレーニングパッケージを作成し、オーダーに合わせたパフォーマンスの向上に貢献したい。加えて、2025 年 4 月には 15 号館 1 階に酸素濃度に加えて温湿度を制御できるトレーニングチャンバーが完成する。近年は低酸素環境に暑熱環境のストレスを追加し、曝露するトレーニングがより持久性パフォーマンスの向上に貢献する可能性があるとしており (Girard et al., 2024)、我々もデータの蓄積およびアスリートへの介入を実施していきたいと考える。

Ⅲ. 負荷のモニタリングの関する研究と現場への応用 (小山孟志)

当研究室では、アスリートの準備状態や刺激の負荷、負荷に対する身体応答を可能な限り定量化し、トレーニングプロセスを最適化しようとしている。最近ではバスケットボール選手に慣性センサを装着させ、得られた加速度データから外的負荷を評価した。さらに、加速度データと同期させたビデオ映像から、合成加速度が 4G、6G、8G を

超える瞬間のプレーを動作ごとに分類し、頻度を調査した。その結果、合成加速度の閾値が高くなるにつれて「減速」、「着地」、「身体接触」といった減速動作が多くの割合を占めた (Koyama et al., 2020)。減速動作は、伸張性収縮による高いメカニカルストレスが課せられ、加速動作の後に比べて神経筋疲労や組織損傷が大きくなることがわかっている。我々の研究では、高加速度動作の回数と筋損傷マーカーであるクレアチンキナーゼの変化率の間に有意な相関関係が認められ、加速度の閾値が 4G、6G、8G と高くなるにつれて相関係数は大きくなった (Koyama et al., 2022)。また、骨格筋には運動によって誘発された筋損傷に対して、その後に続く損傷刺激から保護される **Repeated bout effect** (繰り返し効果) という適応反応がある (Hyldahl et al., 2017)。トレーニング現場での応用を考えると、試合での負荷要求を理解し、試合と同等、もしくはそれ以上の負荷を事前に経験しておくことで、繰り返し効果によって試合本番でのダメージを軽減させることができるかもしれない。

我々は、大学バスケットボール選手を対象に、対戦相手がプロチーム、同一カテゴリーの大学生チーム、チーム内のスクリメージ中の負荷の違いを検討した (Koyama et al., 2023)。その結果、プロチーム相手の試合は、大学生相手の試合に比べて走行距離の差はなかった一方で、累積加速度負荷が高値を示した。さらに興味深いことに、プロチーム相手の試合負荷が高かったにも関わらず、主観的運動強度 (rating of perceived exertion ; RPE) は大学生相手の試合に比べて低値を示した。RPE はストレスや不安などの心理的要因に影響を受けるため (Moreira et al., 2012)、仮に RPE が低い場合であっても、実際には外的負荷が高く、パフォーマンスが低下しているケースがあることに注意が必要である。そのため、選手の疲労度やコンディションを評価する際には、外的負荷と生理的反応、さらには心理的要因も加味して総合的に判断する必要がある。

Ⅳ. おわりに (植村隆志)

アスリートを対象にコーチングやトレーニング

のデータを蓄積し、傾向や根拠となるような研究の形にするには大変な労力が必要で、指導者やアスリートからの理解も求められる。ただし、今後のコーチングやトレーニングの指導に科学的知見に基づいた視点は不可欠である。幸い、東海大学の体育系競技部における指導者やアスリートは科学的知見に対する興味関心を持っており、また実際のトレーニングへ積極的に応用しているようである。アスリートを対象とする研究者は常にコーチングやトレーニング現場に落とし込む実践的応用の視点を持っていく必要があるだろう。

basketball matches. *J Strength Cond Res*, 26: 861-866.

引用文献

- Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. (1998) Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol*, 85(4):1448-1456.
- 丹治史弥, 両角速, 西出仁明, 宮崎誠司. (2023) 小諸市高峰高原における 23 日間の Living-High Training-Low モデルの高地トレーニングによる効果. *東海大学スポーツ医科学雑誌*, 35: 61-69.
- Girard O, Peeling P, Racinais S, Périard JD. (2024) Combining heat and altitude training to enhance temperate, sea-level performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 19(3):322-327.
- Koyama T, Rikukawa A, Nagano Y, Sasaki S, Ichikawa H, Hirose N. (2020) Acceleration profile of high-intensity movements in basketball games. *J Strength Cond Res*. 36(6): 1715-1719.
- Koyama T, Rikukawa A, Nagano Y, Sasaki S, Ichikawa H, Hirose N. (2022) *Int J Sports Physiol Perform*, 17(1) 16-21.
- Hyldahl RD, Chen TC, Nosaka K. (2017) Mechanisms and Mediators of the Skeletal Muscle Repeated Bout Effect. *Exerc Sport Sci Rev*, 45: 24-33.
- Koyama T, Nishikawa J, Yaguchi K, Irino T, Rikukawa A. (2023) A comparison of the physical demands generated by playing different opponents in basketball friendly matches. *Biology of Sport*: 253-260.
- Moreira A, McGuigan MR, Arruda AF, Freitas CG, Aoki MS. (2012) Monitoring internal load parameters during simulated and official