

# 低酸素トレーニングでの運動負荷レベルを個人別に簡便に決定

## —汗の乳酸を測定する新しいバイオセンサの活用—

慶應義塾大学医学部スポーツ医学総合センターの勝俣良紀専任講師、同整形外科学教室の大川原洋樹研究員らと、株式会社グレースイメージング（代表取締役CEO 中島大輔）の共同研究グループは、常酸素環境と同様に低酸素環境下での運動においても、ウェアラブル汗乳酸センサを用いて汗乳酸値をリアルタイムにモニタリングすることで簡便に求められる汗乳酸性閾値（sLT）が、嫌気性代謝閾値（AT）（注1）の指標として優れた信頼性・妥当性を有することを明らかにしました。

運動は万病の薬といわれ、病気の有無に関わらず健康を維持するために重要です。近年、低酸素トレーニング（注2）が、より低負荷で効率的なトレーニングができると認識され、都市部を中心に、トレーニングジム等にも低酸素環境のトレーニング室が併設されるようになってきています。しかし、低酸素トレーニングでどの程度の強さで運動をすべきかについては、その効果判定・運動負荷の指標であるATを測定する必要がありますが、一般的には難しいとされています。ATを求めるには、高額で大掛かりな呼気ガス分析装置が必要で、さらに解析には専門的な知識を要するためです。そのため、広くスポーツジムなどに適用することが可能な、より簡便なAT指標の計測手法の開発が必要とされてきました。

今回の研究では、軽量で簡易的なウェアラブル汗乳酸デバイスを用いて得られたsLTが、低酸素環境下でも、ATの有用な推定値を決定できることが示されました。この評価手法が広く低酸素トレーニングに導入されることで、個別性に応じた適切な低酸素トレーニング環境を提供し、疾病予防や治療、スポーツパフォーマンスの向上など、多様なニーズに応える新たな運動戦略の立案に寄与していくことが期待されます。

この研究結果は2023年12月21日（日本時間）に *Scientific Reports* 誌で公開されました。

### 1. 研究の背景と概要

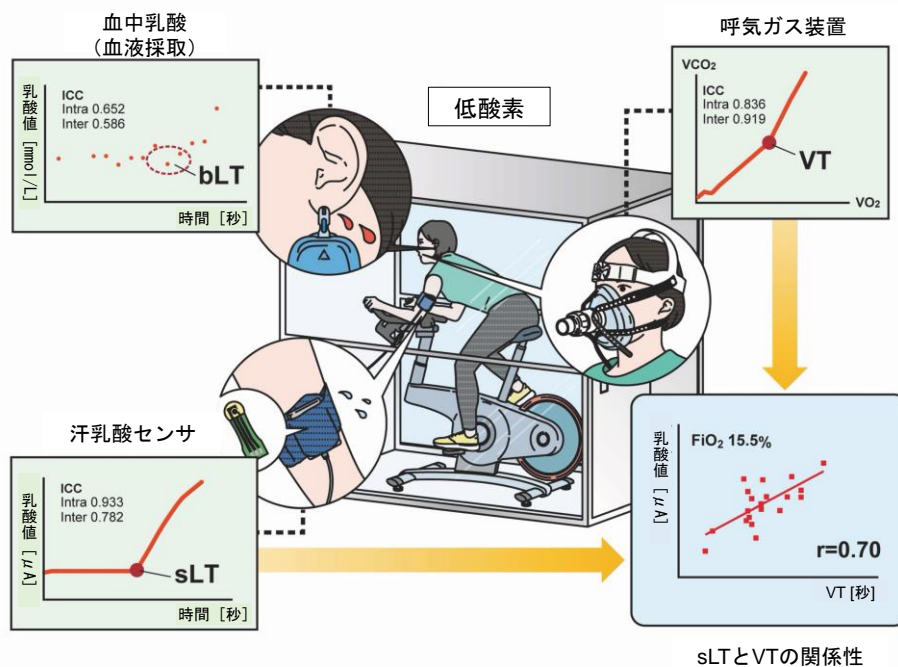
低酸素トレーニングはアスリートの持久力の向上に寄与されることが期待されています。従来行われてきた高地での低酸素トレーニングは身体に与える影響も少なくなく、近年は地上に作り出した低酸素環境下でのトレーニングがトレンドとなりつつあります。低酸素トレーニングにおける負荷設定や効果判定には低酸素環境下で持久力の指標となる嫌気性代謝閾値（Anaerobic Threshold, AT）を計測することが有用であると考えられ、これまでは呼気ガス分析装置を用いた解析による換気性作業閾値（Ventilation Threshold, VT）が AT の代表的な指標として用いられてきました。しかし、VT の計測には高額で大掛かりな装置が必要であり、解析には専門的な知識を要するため、広く運動愛好者・アスリートに対して適用することが出来る、より簡便な AT 指標の計測手法が必要とされてきました。そこで本研究グループは、近年、AT の新たな指標として、常酸素環境下では妥当性が認められた汗乳酸性閾値（Sweat Lactate Threshold, sLT）の計測手法を低酸素環境へ応用し、その評価手法の有用性を検証した結果、低酸素環境においても sLT が AT の指標として高い信頼性・妥当性を有していることを明らかにしました。

### 2. 研究の成果と意義・今後の展開

20名の運動習慣を持つ健常大学生を対象に、低酸素環境下（酸素濃度  $15.4 \pm 0.8\%$ 、高度 2,500m に相当）で漸増運動負荷試験中の汗乳酸値の変化を、ウェアラブル汗乳酸計測機を用いてリアルタイムに評価し、独立した3名の評価者の値が急増する変曲点をそれぞれ sLT として規定しまし

た。加えて、そのうちの1名は、期間をあけて2回目の規定も行いました。その結果、sLTの規定に関して高い検者間信頼性（級内相関係数  $ICC = 0.782$  : 注3）と検者内信頼性（ $ICC = 0.933$ ）を示しました（図1）。また、同時に計測し規定したVTに対して誤差平均秒数が-15.5秒であり、強い相関関係（相関係数  $r = 0.70$ ）を認め、高い妥当性を有していることもわかりました（図1）。以上の結果からは、低酸素環境においても漸増負荷運動中に計測した汗乳酸値で規定されるsLTが優れた信頼性・妥当性を有したATの評価指標であることが確認されました。

近年、低酸素トレーニングはスポーツ分野だけにとどまらず、糖尿病、心血管疾患、高血圧、肥満、加齢性疾患などを対象とした、健康増進や疾病予防・治療のための新たな戦略として注目されつつあります。低酸素環境下での運動に簡便に実施可能な汗乳酸値計測に基づくsLT評価を組み合わせることで、個別性に応じた適切な低酸素トレーニング環境を提供し、疾病予防や治療、スポーツパフォーマンスの向上など、多様なニーズに応える新たな運動戦略の立案に寄与していくことが期待されます。



【図1】 低酸素環境での汗乳酸センサを用いた嫌気性代謝閾値測定の信頼性

ICC, intraclass correlation coefficients（級内相関係数）：bLT, blood lactate threshold（血中乳酸酸性閾値）：VT, ventilation threshold（換気性作業閾値）：VCO<sub>2</sub>, carbon dioxide output（二酸化炭素排泄量）：VO<sub>2</sub>, oxygen consumption（酸素摂取量）：sLT, sweat lactate threshold（汗中乳酸酸性閾値）：FiO<sub>2</sub>, fraction of inspired oxygen（吸気酸素濃度比）

### 3. 特記事項

本研究は、日本医療研究開発機構（AMED）循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業「心血管疾患に対する、乳酸測定ウェアラブルデバイスを用いた運動強度の自己管理システムの開発」、JSPS 科研費 JP22K11477、木村記念循環器財団、鈴木謙三記念医科学応用研究財団、総合健康推進財団、公益財団法人パブリックヘルスリサーチセンターの支援によって行われました。

### 4. 論文

タイトル : Anaerobic threshold using sweat lactate sensor under hypoxia

タイトル和文 : 低酸素環境下における汗乳酸センサを用いた嫌気性代謝閾値の推定

著者名 : 大川原洋樹、岩澤佑治、澤田智紀、菅井和久、醍醐恭平、関雄太、市原元気、中島大輔、  
佐野元昭、中村雅也、佐藤和毅、福田恵一、勝俣良紀

掲載誌 : *Scientific Reports*

DOI : <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49369-7>

#### 【用語解説】

- (注 1) 嫌気性代謝閾値 : ヒトは運動時に使用するエネルギーの生成経路を運動負荷の大きさによって変えるが、その変化点となる運動負荷となるポイントを指す。スポーツ愛好家から循環器系疾患を患う方まで、広くその人の個別の運動耐久性の指標とされている。
- (注 2) 低酸素トレーニング : 大気中の酸素濃度が低い高地でのトレーニングのみならず、昨今では酸素濃度を調整したテント型のブースやトレーニングルームでのトレーニング、吸入酸素濃度を下げた状態で運動可能なマスク型のデバイスなどを用いたトレーニングなどを含む。
- (注 3) ICC : Intraclass Correlation Coefficients の略。連続変数で結果を表す検査に対して、複数の結果間の近似度を示し、主に複数の検査者で検査した結果間の近似度を示す検者間信頼性と、同一検査者が複数回検査した結果間の近似度を示す検者内信頼性の評価指標として算出される。0 から 1 の値をとり、1 に近いほど、近似度が高いことを示す。