



2021年度におけるスポーツ医科学研究所 低酸素トレーニング室の運用方法、 問題点および今後の展望

丹治史弥 (東海大学スポーツ医科学研究所)

両角 速 (東海大学スポーツ医科学研究所、東海大学体育学部)

西出仁明 (東海大学スポーツ医科学研究所、東海大学体育学部)

宮崎誠司 (東海大学スポーツ医科学研究所、東海大学体育学部)

Operation methods, problems, and future prospects of the hypoxic training room at
the Sport Medicine Science Research Institute of Tokai University in 2021

Fumiya TANJI, Hayashi MOROZUMI, Noriaki NISHIDE and Seiji MIYAZAKI



Abstract

We summarize the operation methods and current problems of the hypoxic training rooms at the Sport Medicine Science Research Institute of Tokai University in 2021 and discuss prospects in this report. Many of the users were long-distance running athletes who would return to competition after injury. Others were graduate students who researched using a hypoxic environment for a graduation thesis and non-injury athletes for doing regular practice. They set the hypoxic conditions equivalent to or above 3,000-m altitude (<14.5% oxygen concentration) and train the repeated sprint training in hypoxia (RSH), interval hypoxia training (IHT), and continuous hypoxic training (CHT) protocol in the hypoxic training rooms. Our hypoxic training rooms have a few problems: increased room temperature, humidity, and carbon dioxide concentration. We expose cooling air to the hypoxic training rooms and athletes by an air fan to partly solve the first two problems. However, we have no idea yet to solve the last problem. Hence, we have to select the hypoxic training room from two rooms following exercise pattern (treadmill or bike ergometer), protocol (RSH, IHT, or CHT), and physical constitution of an athlete. We aim to achieve the following three goals to enhance the value of our hypoxic training rooms at Tokai University in the future: 1) increasing implementation of training in non-injury athletes, 2) increasing in users of sprinters and team sports athletes, and 3) increasing the opportunities to provide educational and academic scene.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 34, 51-56, 2022)

I. 目的

東海大学スポーツ医科学研究所は低酸素トレ

ニング室を常設しており、室内にはトレッドミルとバイクエルゴメーターを配備している。低酸素環境でのトレーニングは通常環境よりも高いトレーニング効果を獲得できる。また、通常環境と同

表1 Living-High, Training-Low のトレーニング方法の定義
Table 1 Definition of Living-High, Training-Low training methods

トレーニングの名称 (略称)	トレーニング方法
continuous hypoxic training (CHT)	低強度 ($\leq 70\% \dot{V}O_2\text{max}$) 長時間 (≥ 30 分) 運動
interval hypoxic training (IHT)	高強度 ($\geq 80\% \dot{V}O_2\text{max}$) 長時間 (30 秒-5 分) インターバル運動
repeated sprint training in hypoxia (RSH)	短時間 (5-30 秒) 全力 (all-out) スプリント運動の繰り返し (休息, 20 秒-3 分)
resistance training in hypoxia (RTH)	レジスタンストレーニング
intermittent hypoxic exposure (IHE)	安静時低酸素吸引

Note, $\dot{V}O_2\text{max}$; 最大酸素摂取量

じトレーニング負荷を低酸素環境で実施する場合、低い走スピードまたは出力で到達することができることから、下肢などへのメカニカルストレスの軽減も期待できる。したがって、低酸素トレーニング室を有効的に活用することで、東海大学のアスリートに対する効果的な支援が可能である。2021年度には既存のトレーニング室よりは小型でバイクエルゴメーターのみの配備であるものの、2 部屋目の低酸素トレーニング室も設置され、トレーニング室が充実した。しかしながら、低酸素トレーニング室の利用においていくつかの問題点も挙げられる。

そこで本報告では、2021年度におけるスポーツ医科学研究所低酸素トレーニング室における運用方法および現状の問題点を整理し、今後の展望について検討する。なお、本報告での低酸素トレー

ニングはトレーニング時にのみ低酸素環境に暴露する Living-Low, Training-High (LLTH) の方法と定義する。

II. 低酸素環境におけるトレーニング方法および効果

低酸素環境におけるトレーニングの恩恵は、通常環境では到達できない水準まで動脈血酸素飽和度 (SPO_2) が低下することによって、低酸素誘導因子が活性化し、生理学的応答および代謝に大きな適応が認められることである。つまり、たとえ低酸素環境でトレーニングを実施しても、常酸素環境で到達できる SPO_2 水準の運動であれば、それほどトレーニング効果は期待できない可能性がある。低酸素トレーニング (LLTH) の方法は

大きく5種類に分類されている(表1)¹⁾。このうち、resistance training in hypoxia (RTH) および intermittent hypoxic exposure (IHE) はスポーツ医科学研究所で実施していないため本報告では触れない。それらのトレーニング方法や効果についての詳細は LLTH のシステムティックレビュー²⁾を参照されたい。

LLTH のトレーニング効果は運動強度に依存し、高強度の運動は低強度よりも大きな効果が得られるとされている³⁾。そのため、McLean et al.²⁾によると、LLTH のトレーニング方法のうち最もトレーニング効果が認められるのは最大強度(全力)で運動を実施する repeated sprint training in hypoxia (RSH) である。Interval hypoxic training (IHT) は最大に近い強度($\geq 80\%$ 最大酸素摂取量強度)で運動を実施するものの、トレーニング効果についてのコンセンサスが得られていない。これについて McLean et al.²⁾は IHT 以外のセッションで実施する常酸素環境でのトレーニングも高強度で実施することでよりトレーニング効果が得られる可能性を主張している。一方で、continuous hypoxic training (CHT) は低強度($\leq 70\%$ 最大酸素摂取量強度)で実施するため、低酸素環境を用いたことによる恩恵が認められないとされている²⁾。しかし、我々は CHT をテンポ走で実施させたとき、十分に SPO_2 が低下する($< 90\%$)ことを認めている(未発表データ)。したがって CHT を実施する際の運動強度を高めることによってトレーニング効果が得られる可能性はある。

Ⅲ. スポーツ医科学研究所における低酸素トレーニング室の運用方法

2021年度は新型コロナウイルスおよびその変異株への感染者も引き続き多く確認されていたものの、学生への入構制限は解除され、自由にキャンパス内に入構できるようになった。それゆえ、低酸素トレーニング室の利用者は1年を通して多かった。主な利用者は陸上競技部長距離ブロックに所属する学生であったが、体育学部にも所属する学

生の卒業論文の実験やスポーツプロモーションセンターに入構を認められた学外者による利用もあった。利用者は平日の夕方に特に多く、その時間帯は2部屋ともに稼働することも多かった。

利用者の多くは故障した選手であり、通常練習へ復帰するまでのリハビリテーションとして低酸素トレーニング室でのトレーニング(酸素濃度14.5%未満;標高3,000m以上)を実施していた。主な目的として、通常練習へ復帰した際に呼吸循環器系、エネルギー代謝を故障した前の水準またはそれ以上へ回復・改善しておくことであった。走行によって痛みを感じる選手は週2-3回のバイケルゴメーターを用いた RSH や IHT を実施し、走行が可能となった選手は週1-2回のトレッドミルを用いた CHT を実施していた。選手は運動中の心拍数や SPO_2 、主観的運動強度を経時的に確認し(図1)、休息时间や運動強度の調整に利用した。

故障なく通常のトレーニングを継続して実施している選手でも、無酸素性エネルギー代謝への刺激を狙った週1回のバイケルゴメーターを用いた RSH や競技会の2、3日前に呼吸循環器への適度な刺激を与えることを目的としたトレッドミルを用いた CHT の利用もあった。

Ⅳ. スポーツ医科学研究所における低酸素トレーニング室の現状の問題点

低酸素トレーニング室のうち大きい部屋は2.5mの立方体を6台の低酸素発生装置(うち4台は Everest Summit II Hypoxic Generator, Hypoxico Inc., NY, USA; 2台は HG10, Sheyang Canta Medical Tech. Co., Ltd., China)を用いて、小さい部屋は2.0mの立方体を4台の低酸素発生装置(うち2台は Everest Summit II Hypoxic Generator, Hypoxico Inc., NY, USA; 2台は JAY-10H, Longfian Scitech. Co., Ltd., China)を用いて、それぞれ酸素濃度を制御している。Everest Summit II Hypoxic Generator の1分間当たりの酸素流量は100L程度であるが、HG10および JAY-

2021/12/27 14:00- (標高 3,000m 相当)

目的: 最大酸素摂取量の改善

Wattbike

① **8 min@120W HR 148**

② **8 min@140W HR 161**

③ **4 min@160W HR 168**

④ **3 reps.*5 s all-out**

5 min Rest

⑤ **3 set*(5 reps.* 10s @all-out[>500W]; r = 20s@120W); R = 5 min@120W**

	1 set		2 set		3 set	
	HR	SPO ₂	HR	SPO ₂	HR	SPO ₂
1	152	88	161	87	165	87
2	170	88	181	87	181	87
3	180	88	185	87	189	86
4	182	88	188	86	190	83
5	183	87	189	84	191	80
Rest	156	86	160	86	165	85
RPE	19		19		20	

※3set 目 6 本目を実施, HR 193; SPO₂ 80.

図1 低酸素トレーニング中の心拍数 (HR) および動脈血酸素飽和度 (SPO₂) の結果

Fig. 1 Results of heart rate (HR) and arterial blood oxygen saturation (SPO₂) during hypoxic training.

10Hは10L程度である。室内の酸素濃度を保つため部屋はほぼ密閉状態にしており、時々刻々新鮮な空気が流入され、流入される反対側の部屋と地面の隙間から空気が排出される。一方、運動中の選手の熱放散による室温の上昇や、発汗による湿度の上昇、呼吸に含まれる二酸化炭素や水分の室内への残留が重大な問題となる。

運動を実施するために、ヒトは筋収縮を繰り返

す。この筋収縮で発生する20%は運動エネルギーに利用される一方で、残りの80%は熱に変換される。RSHやIHTのような高強度運動では酸素摂取量は最大レベルまで到達し、3.0L/min以上となる。酸素1.0L当たりのエネルギー消費量は約5.0kcalであり、その時の熱の発生は12.0kcal/min以上となる。室温が20℃の時、空気の密度および比熱はそれぞれ1.166kg/m³および0.24kcal/kg/℃

である。運動中のヒトの筋収縮によって発生した熱がすべて放散されると仮定すると、大きい部屋（体積約 15.6m^3 ）における最大酸素摂取量レベルでの運動で1分間当たり 2.7°C ほど室温が上昇すると算出される [$12.0\text{kcal}/\text{min} \div (0.24\text{kcal}/\text{kg}/^\circ\text{C} \times 15.6\text{m}^3 \times 1.166\text{kg}/\text{m}^3)$]。なお、実際は低酸素発生装置からの新鮮空気の流入やトレーニング室自体の対流などによる熱放散があるため、この上昇は軽減されるものの、室内の温度は大きく上昇することが分かる。これらの対策として、低酸素発生装置の吸気口やトレーニング室自体に冷たい空気を当てるなどを施しているが、選手は著しい発汗を伴っている。

発汗はヒトの熱放散において重要な役割を果たし、汗を蒸発させることによって大きな気化熱が奪われる。例えば、汗 100mL の蒸発は 58.0kcal 程度の気化熱を必要とし、体温が 1°C 低下するエネルギーに相当する。低酸素トレーニング室では運動中の選手に対して扇風機を用いた対流を起こすことで、発汗が有効的に体温の低下を促すように対策をしている。有効発汗が高まれば、選手の汗の量は低下し、室内の湿度上昇を抑制することにも貢献していると考えている。しかしながら、呼吸には多くの水蒸気が含まれ、換気が十分にされないことで、室内の湿度が徐々に上昇してしまう。これに対する対策は現状ないため、発汗に対する対策のみに焦点を絞って室内の湿度を管理している。

世界保健機関（WHO）は二酸化炭素濃度が $5,000\text{ppm}$ を超えると必要以上に呼吸数を増大させ、呼吸循環器への負荷を高めると報告している⁴⁾。また、労働安全衛生法の事務所衛生基準規則では室内の二酸化炭素濃度を $5,000\text{ppm}$ 以下にすることが規定されている。しかし、選手が30分以上の高強度運動をすると多くの頻度で $5,000\text{ppm}$ を超える値が見受けられる。そのため、選手が運動中であっても酸素濃度の増大を犠牲にして、定期的に低酸素トレーニング室の扉を開放し、二酸化炭素濃度を低下させるように管理する必要がある。なお、トレーニング室内の酸素濃度

も継続的な管理が求められている。これは運動中の選手が呼吸によって酸素を利用することで、トレーニング室内の酸素濃度が徐々に減少するためである。したがって、トレーニング室内が設定する酸素濃度に到達した後は、低酸素発生装置から排出する空気の酸素濃度を高く設定し、トレーニング室内が設定する酸素濃度となるように調整している。

これらの問題はとりわけ小さい部屋で生じやすく、なるべく大きい部屋を優先して利用させるようにしている。2部屋ともに同時に稼働させる場合は、選手の運動様式、体格、運動強度、運動時間などを鑑みて、合理的な部屋の選択が求められる。また、夏などの気温が高くかつ湿度も高い場合は対策をしても室内が水蒸気で満たされ、サウナ状態となってしまうことも多く観察された。

2021年度は新型コロナウイルスおよびその変異株の感染拡大を防ぐために、利用者にはトレーニング終了後室内の汗などを拭きとり、手が触れた箇所などに十分なアルコール消毒をさせている。さらにトレーニング室の扉を全開にして扇風機を用いて室内を十分に換気することで、感染症対策を施している。

V. まとめと今後の展望

現在のスポーツ医科学研究所における低酸素トレーニング室の利用者は故障者が多い。しかし前述の通り、低酸素トレーニングは大きなトレーニング効果が得られることから、故障者以外にも普段のトレーニングとして利用させることが選手のパフォーマンスを効果的に向上させると考えられる。加えて、低酸素トレーニングは陸上競技部の長距離選手だけでなく、チームスポーツ選手の持久性およびスプリントパフォーマンス²⁾や短距離選手のスプリントパフォーマンス⁵⁾の向上が認められている。これらの情報を多くの選手・コーチに知ってもらい、多くの部活動に所属する選手に

利用できるような体制にしたいと考えている。さらに、卒業論文や修士論文などの実験や学部・研究科における講義・実習など幅広い学術的・教育的な場所としても提供を促進したい。

以上の目標を達成するためには、今後、一度に多くの選手が利用できる室内空間が求められる。現状における低酸素トレーニング室の広さでより多くの成果を得ることによって、低酸素トレーニング室の重要性を認めてもらい、より快適な低酸素トレーニング室を提供していただけるように努めていきたい。

参考文献

- 1) Girard O, Brocherie F, Millet GP. Effects of altitude/hypoxia on single- and multiple-sprint performance: A comprehensive review. *Sports Med.* 47: 1931-1949, 2017.
- 2) McLean BD, Gore CJ, Kemp J. Application of 'live low-train high' for enhancing normoxic exercise performance in team sport athletes. *Sports Med.* 44: 1275-1287, 2014.
- 3) Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med.* 40: 1-25, 2010.
- 4) Goromosov MS. The physiological basis of health standards for dwellings. *Public Health Papers No. 33*, World Health Organization, 1968.
- 5) 丹治史弥, 高野進, 宮崎誠司. 国内トップレベルのスプリンターに対する短期間常圧低酸素スプリントトレーニングの効果. *スプリント研究.* 30: 27-33, 2021.