

飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアにおける医・科学サポート

谷口 耕輔 Ph.D., 日本体育大学ハイパフォーマンスセンター 助教

平山 満敬 CSCS, NSCA-CPT, 御嶽濁河高地トレーニングセンター 研究員

杉田 正明 Ph.D., 日本体育大学体育学部 教授

1. はじめに

現在、飛騨御嶽高原高地トレーニングエリア(以降、飛騨御嶽NTC)は、ナショナルトレーニングセンター高地トレーニング強化拠点として、国内トップレベルの競技者だけでなく、一般競技者もより質の高い強化・育成活動を行なう環境整備が図られてきている(18)。近年は持久系種目の選手のみならず、球技系や格闘技系の選手に加えて、パラアスリートの利用など幅広い競技種目での活用が進んでいる。

飛騨御嶽NTCでは、高地トレーニングが安全かつ効果的に活用されるよう「医・科学サポートパッケージ」として合宿前(事前相談やトレーニングプログラムの提案、事前高地順化等)、合宿中(血液検査、尿検査、生化学検査、トレーニング時の生理学的な測定等)、合宿後(効果の検証や事後のデータ分析、整理、研究等)の医・科学サポートを関係機関と協力して実施している。

本稿では、国内の高地トレーニング施設が競技力向上に対する場面で今後さらに活用されることを期待し、高地トレーニングの効果や注意点、飛騨御嶽NTCでの医・科学サポート体制や実際の活用事例について紹介したい。

2. 高地トレーニングの効果と注意点

高地トレーニングは、一般的に高地環境に滞在し、トレーニングを高地もしくは準高地環境で行なう方法である。高地になればなるほど、すなわち標高が高くなるほど空気が薄くなり、酸素分圧が低下した「低圧低酸素環境」となる(2,22,23)。酸素分圧が低下すると酸素を体内へ取り込みにくくなる。そのような環境で生活やトレーニングをすることで、より低酸素刺激を得ることが可能となり、主に有酸素性能力向上のトレーニング方法として高地トレーニングは普及してきた。

高地トレーニングは、自然の高地環境(低圧低酸素環境)を利用するほかにも、平地にいながら人工的に疑似的な高地環境を作り出す人工低酸素環境施設(常圧低酸素環境)などを利用する方法も普及している。これは、空気中の酸素の一部を持続的に他の気体に置き換えることで低酸素状態を維持しており、平地のみならず、高地環境においてもさらに低酸素環境を作り出すことが可能である。低圧低酸素環境と常圧低酸素環境のいずれにせよ、低酸素環境下のトレーニングに関する身体へのポジティブな効果は、主に“低酸素”によってもたらされると考えられている

(12)。このことから、本稿では両者のトレーニングを分け隔てないものとして扱う。

高地トレーニングは、一般的には、数日から数週間にわたり「連続的に」高地環境(低圧低酸素環境)に滞在しながらトレーニングする機会が多いが、人工低酸素環境施設などを利用して、日常生活は平地で行ない、トレーニングの時など特定の時間だけ低酸素環境を用いる場合(間欠的)などもある(2,13,22)。時期や目的、期待する効果などにより、期間、滞在環境、トレーニング環境などを操作し、様々な組み合わせで行なわれる。

高地トレーニングの代表的な効果は、酸素運搬能力の向上である。生体が低酸素環境に曝露されると、体内での酸素不足によって刺激されたエリスロポエチン(EPO)濃度が上昇し、血液中の赤血球数やヘモグロビン濃度、血液量を増加させ、その結果として最大酸素摂取量を改善させることが報告されている(22,23)。さらに、毛細血管網の発達、ミトコンドリアにおける酸化系酵素活性、ミオグロビンの増加などが生じ、酸素運搬能力や筋内の酸素利用効率などが改善されることで、有酸素性能力が向上するとされている

(18,22,23)。加えて、筋における筋緩衝能の向上、血中の乳酸の生成(蓄積)が抑制、解糖系酵素活性の増大などが生じることで、ハイパワーおよびミドルパワー(無酸素性能力)の向上にも繋がるとされている(1,13,18)。

このように、高地トレーニングには様々な効果を期待することができ、持久系アスリートのみならず、無酸素性能力を必要とする球技系アスリートなど、多岐にわたるアスリートに対するトレーニングとして、活用の幅が広がってきている。

なお、これらの効果において、酸素運搬能力の向上に関する赤血球数やヘモグロビン量の増加などは、主に3週間以上の長期滞在(トレーニング)により得られるが、筋内における生理、生化学的な応答や改善などについては、数日から2週間以内の滞在(トレーニング)によっても得られる(図1)。数日間での効果も期待されることから、限られた日数や時間内(例えば、週末での高地トレーニング)における利活用に関しても、今後さらに広がるのが期待される。

しかしながら、高地トレーニングは利点ばかりではなく、いくつかの点に留意して実施しなければトレーニングの効果が十分に得られず、さらにはマイナスの効果として、競技パフォーマンスやコンディショニングにおいて悪影響を及ぼすことが指摘されている(12)。特に注意すべき点としては、「トレーニングの質的、量的低下」が挙げられる(図2)。高地トレーニングでは、平地のトレーニングと比べると体調管理も難しく、コンディションを維持することが困難となる場合も多い。高地滞在を伴う場合は常に低酸素曝露状態にあり、疲労からの回復も平地より時間を要することが考えられる。そのような状況からトレーニングの質や量が低下する、あるいは抑えざるをえない状況もあり、デイトレーニングに似た状

況となり、体力低下や神経筋適応を妨げることがある(12)。また、低酸素環境に曝露されることで、水分損失による血液の濃縮(血液粘性の上昇)や筋への血流量の減少、低酸素環境下での呼吸性アルカリ血症によるアルカリ予備の減少、そして、解糖系酵素活性の減少や筋力の低下などが生じる(2)。

これらの点から、安全で効果的な高地トレーニングとするためには、事前

準備や対策、期間中のトレーニング内容の工夫、コンディションチェックの実施、実施後のリカバリー対策やテーピングに注意を払い、マイナス面を最小限とすることが重要である。

3. 飛騨御嶽NTCにおけるプロジェクト・概要

3.1 飛騨御嶽NTCの概要

飛騨御嶽NTCは、2008年にナショナル

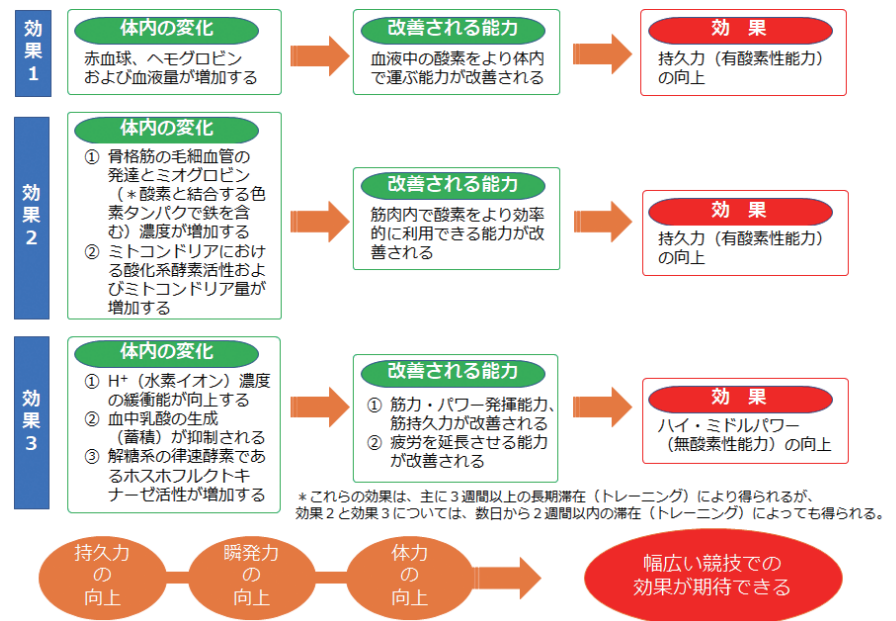


図1 期待される高地トレーニングの効果 (18)より引用

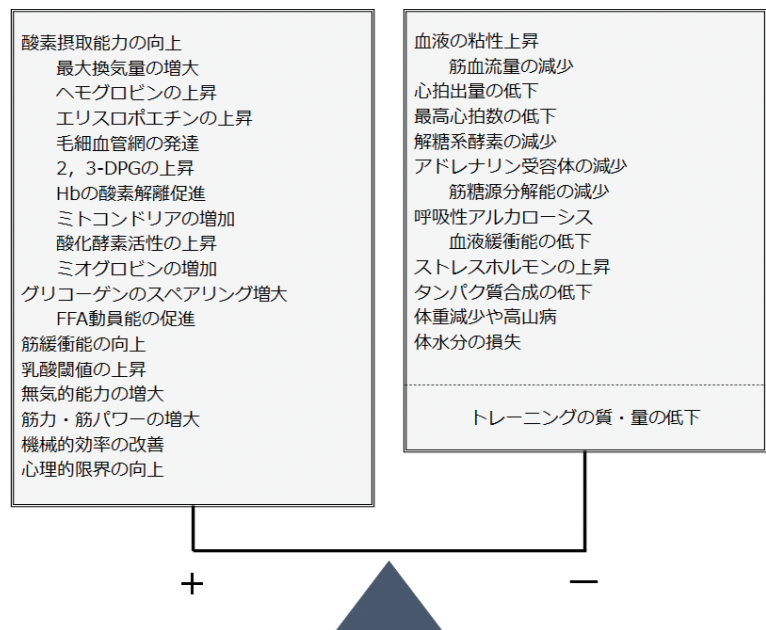


図2 高地トレーニングの効果と予想されるマイナスの効果(悪影響) (12)より引用

ルトレーニングセンター高地トレーニング強化拠点として指定を受け、国内のアスリート、特にトップレベルのアスリートに対して、質の高い強化・育成活動を実施できるよう環境が整備されてきた。

飛騨御嶽NTCでは、オケジッタ日和田高原ゾーン(標高1,200~1,800m)、鈴蘭高原ゾーン(標高1,300~1,400m)、チャオ御嶽リゾートゾーン(標高1,700~2,200m)、濁河温泉ゾーン(標高1,700~1,800m)の4つのトレーニングエリアで構成されており、標高1,300m(オケジッタ日和田高原ゾーン)および1,700m(濁河温泉ゾーン)に全天候型陸上競技場、5つのクロスカントリーコース・ウッドチップコースが整備されている(図3)。オケジッタ日和田高原ゾーン、鈴蘭高原ゾーン、濁河温泉ゾーンにはそれぞれ宿泊施設もあり、利用者は目的に応じて、Living High-Training HighやLiving High-Training Lowなど様々な方法で高地ト

レーニングを行なうことができる。さらに、濁河温泉ゾーンに位置する御嶽濁河高地トレーニングセンターおよびオケジッタ日和田高原ゾーンに位置する飛騨高山御嶽トレーニングセンターには、宿泊施設、体育館、トレーニングルーム、低酸素室、高酸素カプセルや測定および研究目的とした測定機器等も整備されており、様々なトレーニングに対応できる環境も整えている。

3.2 医・科学サポート体制

飛騨御嶽NTCでは、国内トップレベルのアスリートに対して医・科学サポートを提供している。2014年度からは、高地トレーニングが安全かつ効果的に活用されるよう「医・科学サポートパッケージ」として、合宿前から合宿中、合宿後にかけてサポートを展開している(図4)。2017年度からは、公益財団法人岐阜県スポーツ協会御嶽濁河高地トレーニングセンター研究員が医・科学サポート専任スタッフとして

常駐し、2020年度からは1名増員され、現在は専任スタッフ2名体制で医・科学サポートを提供している。

3.3 飛騨御嶽NTCエリアの活用

飛騨御嶽NTCを利用される多くのチームは、数日から1週間程度の合宿、2週間前後の合宿を実施している。数日から1週間程度の合宿では、主に陸上競技中長距離選手などの高校生・大学生チームが競技会前のポイント練習や短期間で身体に高負荷をかけることを目的として利用している。利用チームの中には、週末や祝日を活用し、年内複数回合宿を行ない、競技力向上やコンディショニングに役立っている。また、2週間前後の合宿は、陸上競技中長距離、パラトライアスロンおよびパラサイクリング競技選手などの実業団選手やナショナルチームが多く実施している。チームの中には2週間前後(平地滞在も同程度)の合宿を年内複数回行っており、競技会3週間前から高



図3 飛騨御嶽NTCエリアにおける概要 (18)より引用改変

地トレーニングを開始し、競技会1週間前に平地に降り、調整し競技会へ備えている。

実際に国内での高地トレーニングにおいては、渡航に伴う時間的な制約や費用面での負担も比較的少なく、時差や食事面、国内競技会に向けた移動が容易など、コンディション管理等の部分でもメリットが多くある。また、高地トレーニングの効果として、長期滞在が必要な血液学的な効果だけでなく、長期滞在を必要としない無酸素性能力の向上に対する効果も期待できる(1,13,18)。このことから、球技系競技などのチームの1週間程度の合宿利用も広まってきている。国内の高地トレーニングエリアであれば、シーズン前後での利用や、シーズン中の試合期間が空いている時期に利用するなど、活用の幅は多岐にわたると考えられる。

図5に示すように、2020年初頭からの新型コロナウイルス感染拡大に伴い、2020～2022年度のエリア全体での利用者数はやや減少傾向にあるが、その中でも医・科学サポートの利用状況は年々増加しており、飛騨御嶽NTCでは医・科学サポートを利用しながら安全で効果的な高地トレーニングに取り組むことが一般的になりつつある。

3.4 プロジェクト構成

先述した医・科学サポートを実施するにあたり、飛騨御嶽NTCでは「医・科学サポートプロジェクト委員(表1)」を設置している。年2回「医・科学サポートプロジェクト会議」を開催し、医・科学サポートにまつわる事例等を紹介しながら、現場でのサポート活動がより良いものとなるよう助言を受けている。加えて、プロジェクト委員には、繁忙期にあたる7～9月を中心に現地でのサポート活動に帯同いただき、また、大学生や大学院生にも医・科学サポート補助スタッフとしてサポート活動に協力いただいている(写真)。

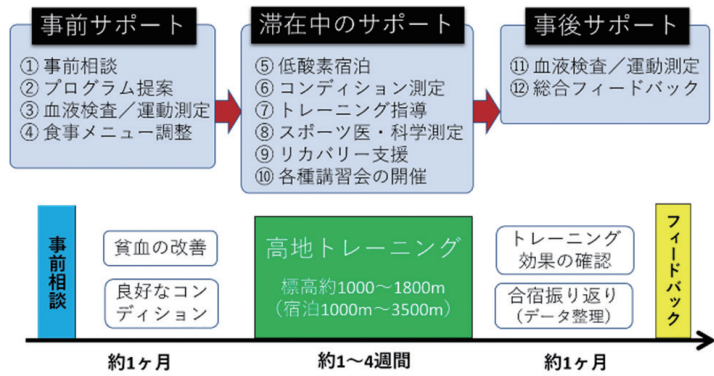


図4 医・科学サポートパッケージ (18)より引用

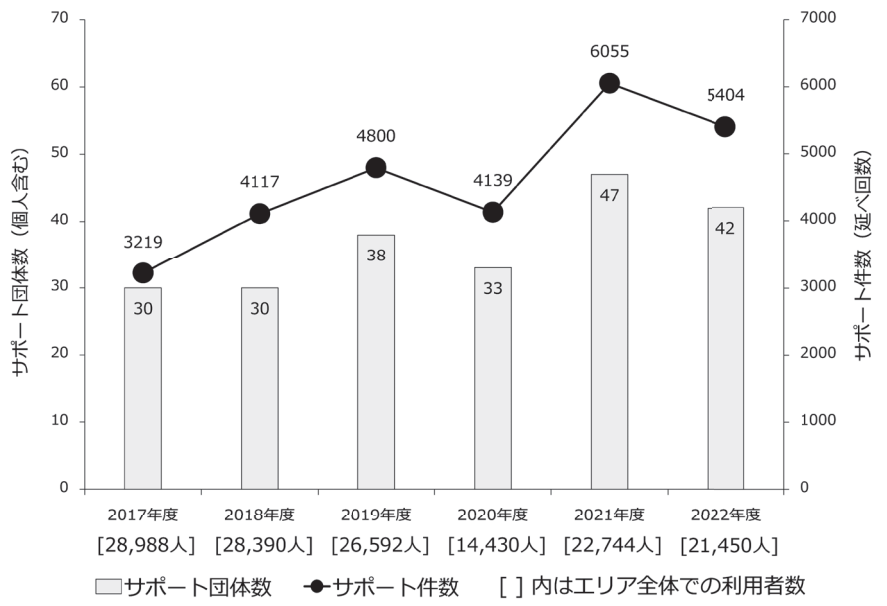


図5 2017年度から2022年度におけるサポート団体数および件数の推移

表1 医・科学サポートプロジェクト委員の一覧

氏名 ※敬称略	所属
杉田 正明	日本体育大学
久保田 潤	国立スポーツ科学センター
松林 武生	国立スポーツ科学センター
篠田 知之	岐阜協立大学
榎木 泰介	大阪教育大学
禰屋 光男	びわこ成蹊スポーツ大学
片山 訓博	高知リハビリテーション専門職大学
本田 亜紀子	朝日大学
濱 茂樹	岐阜県スポーツ科学センター
古川 由佳	エムサービス(株), (公財)日本オリンピック委員会
岡崎 和伸	大阪公立大学
泉 建史	日本体操協会/ナショナルチーム, NSCAジャパン広報委員会
富川 理充	専修大学, (公社)日本トライアスロン連合
植田 実	(公財)日本オリンピック委員会
谷口 耕輔	日本体育大学

※2022年度現在

4. 飛騨御嶽NTCのサポート事例

4.1 高地トレーニング合宿中における主なサポート内容

高地トレーニング合宿中に行なっている主なサポート内容は以下のとおりである。

①起床時コンディションチェック

- ・パルスオキシメーターを用いた動脈血酸素飽和度(SpO₂)および脈拍数の測定
- ・コンディション記録用紙を用いた主観的状态の聞き取り
- ・起床時第一尿を用いた尿検査(生理的脱水・疲労状態の把握)

②トレーニング時の科学測定サポート

トレーニング時に心拍数や血中乳酸濃度の測定を実施し、トレーニング強度の把握やより効果的なトレーニングの立案に役立てる。

③生化学検査・自律神経測定

指先から微量採血(自己採血)を行ない、酸化ストレス度や抗酸化力を測定する。また、それらの比である潜在的抗酸化能を算出する。筋損傷マーカーであるクレアチンキナーゼとともに高地トレーニング中の酸化還元バランスを捉え、筋損傷の状態も合わせて把握することで、コンディション維持に役立てる。また、自律神経活動の活性度やバランスを心拍変動(HRV)の測定によって評価し、心身の疲労や身体負荷の把握に役立てる。

④血液検査

医師または看護師による採血を行ない、血液状態を把握する。

⑤体組成測定

高地トレーニング合宿の期間中に定期的に体組成測定を実施し、体水分量や筋量等の体組成の変化を把握する。

これらのサポートに関しては、各競

技の中央競技団体が認めた選手およびチームは国の費用負担で、希望に応じた内容のサポートを受けることが可能である。

4.2 パラトライアスロンナショナル

チームにおける活用事例

日本トライアスロン連合パラトライアスロンチームにおける活用事例を紹介する。パラトライアスロンチームは、例年7~8月にかけて約1ヵ月間の高地合宿(滞在標高:1,700m、トレーニング標高:1,100~1,700m)時において、上述したコンディション指標を用

いた継続的なコンディションチェックやトレーニング内容の評価を行なっている。

選手は毎朝、コンディション記録用紙に主観的状态や起床時に計測したSpO₂などを記入し、朝食前に提出する。コンディションの記録は、サポートスタッフが集計し、選手、コーチングスタッフへフィードバックしている。コーチングスタッフは、通常、午前練習までにデータを確認し、その日のトレーニング内容の調整などに役立てている。このような毎朝のコンディションチェックに加えて、定期的な生化学検査も



写真 尿分析時の様子(左手前:筆者、中央:補助スタッフ)

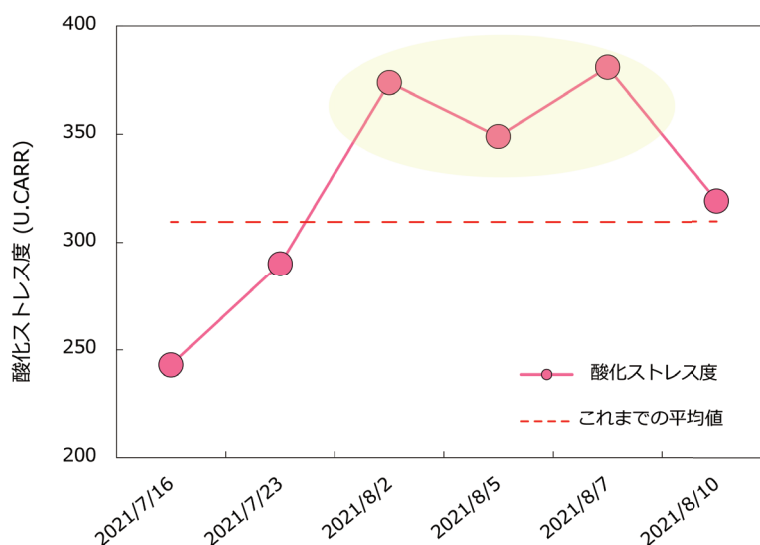


図6 東京2020大会事前合宿時の酸化ストレス度の推移

実施している。ここでは東京2020大会で銀メダルを獲得したA選手の事例について紹介する。

図6に、東京2020大会を控えた7～8月に実施した生化学検査の指標となる酸化ストレス度のデータを示す。8月上旬にかけて、300 U.CARRを上回る数値を示しており、この数値を基準値に当てはめると中程度の酸化ストレス状態であることが見受けられた(15)。本人の自覚症状としても腰部への痛みなどが生じており、コーチングスタッフ、トレーナー、選手とで酸化ストレス度の推移を確認しながら、トレーニングの一時中断を図った。その後、トレーニング計画を見直し、新たなプランの下、東京2020大会へ向けトレーニングを再開した。もちろん、継続的に同指標や他のコンディションデータを確認しながらであった。東京2020大会を控えた直前の時期に予定したトレーニングが実施できない状況であったが、定期的な生化学検査のデータを基にトレーニングの再開などに役立てることができた事例である。

次にA選手と同様に、東京2020大会に向けて継続的に高地トレーニングに取り組んだB選手の事例について紹介する。例年7～8月の時期に約1ヵ月におよぶ高地トレーニングを実施したが、B選手は特に平地帰還後に疲労が残りやすかったことから、高地滞在中には疲労を溜め過ぎないことや平地に帰還する時期を早める(平地での調節期間を長く設ける)など、日頃のコンディ

ションデータを確認しながら調整を図った。図7に示すように、定期的の実施した自転車エルゴメーターを用いた漸増負荷試験時の生理的データでは、継続して高地トレーニングを行なうことによる有酸素性能力の改善が確認できる。このことのひとつの要因としては、高地トレーニング前後を含めたコンディショニングがより最適化された結果でもあったと考えられる。

4.3 実業団男子ハンドボールチームにおける活用事例

球技系種目の活用事例として、実業団男子ハンドボールチームにおける

事例を紹介する。当チームは、シーズンイン前のフィジカル強化を目的に4泊5日の高地トレーニング合宿(滞在標高：1,300m、トレーニング標高：1,300m)を実施した(表2)。

合宿初日には、乳酸カーブテストを実施することで、合宿期間中のトレーニング強度の調整に役立て、実際のトレーニング時には心拍数を常時モニターし、セッション間の休息时间等の目安とするなど、コンディション管理に努めた。ここでは、合宿期間中のコンディションデータの推移や高地トレーニング後の効果検証に関して、異なる結果が得られた2名の選手(A・B)を

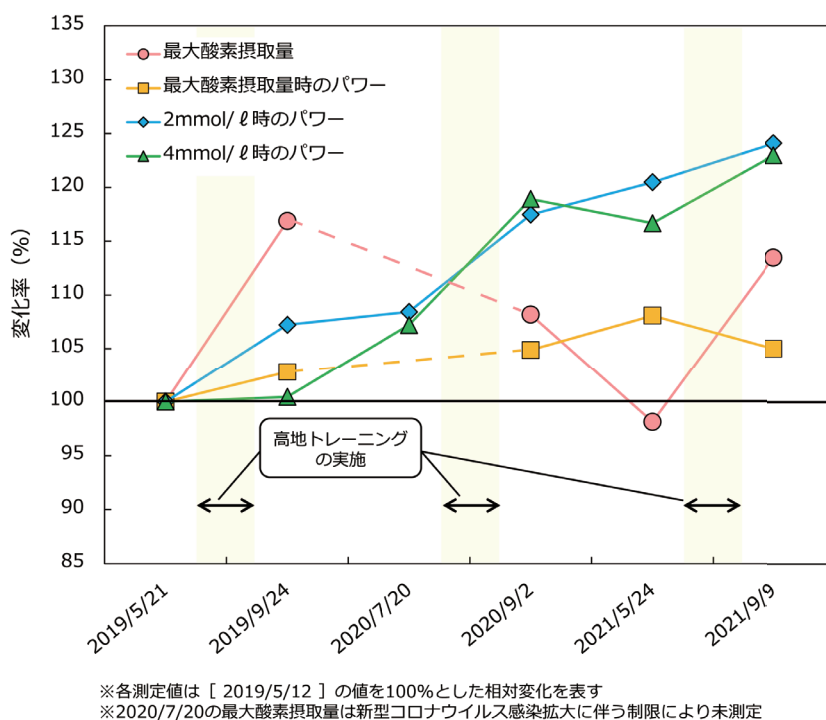


図7 自転車エルゴメーターを用いた漸増負荷試験時の生理的データの推移

表2 高地トレーニング合宿のスケジュール

	6月15日	6月16日	6月17日	6月18日	6月19日
早朝		散歩	散歩	散歩	散歩
AM	移動	アジリティトレーニング + ハンドボール練習	有酸素トレーニング	ハンドボール練習 + 高強度インターバル トレーニング	ハンドボール練習 + ストレングストレーニング
PM	乳酸カーブテスト + ストレングストレーニング	ハンドボール練習	レクリエーション (石仏巡り)	ハンドボール練習	移動

中心で紹介する(それぞれサイドプレーヤー、ポストプレーヤー)。起床時コンディションチェックデータに関して、両選手ともSpO₂は95～97%の数値を示し、主観的な疲労感は、期間中やや悪化していく傾向にあった。合宿初日と最終日に計測した酸化ストレス度の変化は、A選手は同程度(310 U.CARR→309 U.CARR)であったのに対して、B選手は308 U.CARR→356 U.CARRと最終日の数値は中程度の酸化ストレス状態となる変化が示された(15)。また、合宿前後に実施した自転車エルゴメーターを用いた無酸素性パワー測定の結果では、A選手は6秒間のピークパワーおよび30秒間の平均パワーともに向上をしていることが確認されたが、B選手のパワー発揮能力は低下を示していた(図8)。平地帰還後の内省報告でも、A選手は「調子良く、パワーも上がっている感覚がある」と回答していたことから、あくまで2名の選手の事例ではあるが、合宿期間中のコンディション状態(酸化ストレス状態等)を良好に保ちつつトレーニングが継続できることは、比較的短期間(5日間程度)の高地トレーニング直後(平地帰還後2～3日)のパフォーマンスに影響する可能性があると考えられる。シーズン中の活用なども考えると、平地帰還後のリカバリー期間を考慮し

た計画や継続したコンディションチェックを行なうことが望ましいだろう。

5. Strength&Conditioningへの活用

本稿では、飛騨御嶽NTCの概要、医・科学サポート体制やサポート事例について紹介した。ここでは、トレーニングおよびコンディショニングの観点から活用について提言したい。

先述したように、高地トレーニングは、赤血球新生や毛細血管を含めた血管系が発達することで、結果として有酸素性能力が向上する(5,16)。一方で、低酸素環境でのレジスタンストレーニングは、タンパク同化作用を有する成長ホルモンの分泌を促進させることや毛細血管を増加させることで、常酸素環境よりも筋力、筋肥大および筋持久力を向上させることが報告されている(5,7,8,9,11)。つまり、陸上競技中長距離などの有酸素性能力を主とするアスリートだけではなく、球技系競技などの無酸素性能力を主とするアスリートに対して、高地トレーニングは有効なトレーニング手段になりうるということが考えられる。また、レジスタンストレーニングにおける手法として、エキセントリックトレーニングの効果についても検証・実践されている(17)。低酸素刺激と合わせることで、トレーニング効果をより高められることも考えられる

ため、効果の検証および実践していくことは新たなトレーニング手段になりうる可能性が考えられる。高地トレーニングが実施可能な環境はまだまだ限られているが、先述したように多岐にわたるアスリートに対して有効なトレーニング効果が期待できるため、無酸素性能力を主とするアスリートの利用増加にも尽力していきたい。

飛騨御嶽NTCでは、前述したサポートを実施し、高地トレーニング時のコンディション管理に役立てている。実際にサポート活動で得られたデータを基に、高地トレーニング時におけるコンディション指標としてのSpO₂／脈拍比の有用性も明らかにしている(21)。同様に、いくつかの指標は平地でトレーニングする際にもコンディション把握およびトレーニング負荷の調整に役立つと考えられる。

現在、医・科学サポートとして実施している起床時コンディションチェックでは、脈拍数、SpO₂、主観的な疲労感(VAS)や睡眠状態などの変動を日々確認している。各項目重要な指標であることは言うまでもないが、特に脈拍数ではコンディションを把握する上で有効性が示されており(3)、主観的指標については、主観的な疲労感とパフォーマンスは正の相関関係にあることが報告されている(19)。実際にサポートをする中で、脈拍数の極端な増加もしくは増加した後極端な減少を示すことに加え、主観的な指標が極端に低値を示す場合については、チームスタッフに問題はないか直接確認を行なっている。その際、スタッフから見ても疲労感が見られ動きが良くないことが多い。このように、日々の生理学的指標や主観的な指標をモニタリングすることは、選手個々のコンディションを把握する上で重要な指標となることが考えられ、パフォーマンスを最大限に高めるためのトレーニング負

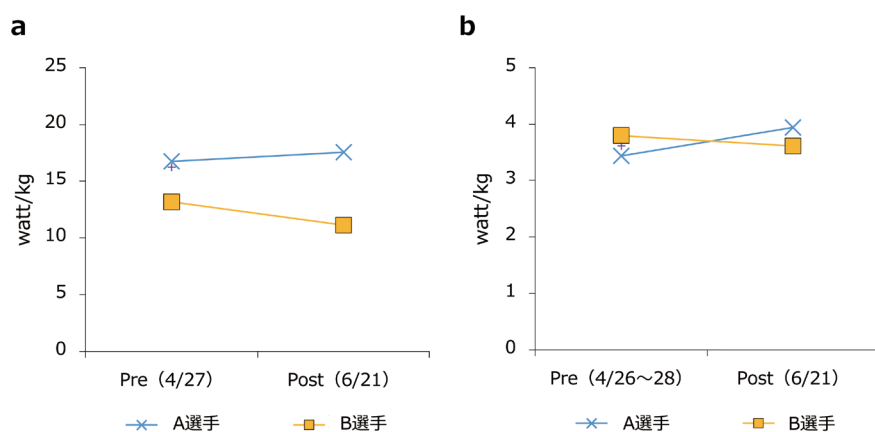


図8 高地トレーニング前後の(a)6秒間のピークパワーおよび(b)30秒間の平均パワーの結果(体重比)※ワットバイク使用

荷の調整に役立つのではないかと考える。

6. 飛騨御嶽NTCにおける医・科学サポートの成果と課題

飛騨御嶽NTCでは、医・科学サポートスタッフが常駐し、サポート体制が整ってきたことから利用状況は年々増加傾向にある。このように当エリアでは、医・科学サポートを利用しながら安全で効果的な高地トレーニングに取り組むことが一般的になりつつあることは、成果のひとつとして挙げられるであろう。また、活用事例で紹介したように東京2020大会の事前合宿地としても数多くの選手に利用いただき、医・科学サポートを提供できたことも成果である。今後も実際の高地トレーニング事例を取り上げ、情報提供に繋げていくことも重要であると考え。

次に、医・科学サポートの今後の課題として、パラアスリートに対する対応について言及したい。飛騨御嶽NTCでは、年々パラアスリートの利用が増加しており、特に脊髄損傷選手の利用が増加傾向にある(図9)。これまでに脊髄損傷選手が高地トレーニングを行なう上でのリスクが検討されている。田中らは、ツインバスケットボールやウィルチェアラグビー等を実施しているC6レベルの脊髄損傷選手および健常者を対象に、低酸素環境(酸素濃度15.6%：標高2,400m相当)および常酸素環境(酸素濃度20.9%)において、運動負荷した際の脳酸素動態を比較検討した。頸髄損傷者は健常者と比較して、運動中における酸素化ヘモグロビンの低下、総ヘモグロビン量の変化がみられないことを示しており、脳血流量を一定に維持する機能が阻害されている可能性を指摘している(20)。その原因として、脊髄損傷者特有の自律神経機能障害や廃用性筋萎縮により筋ポンプ作用が抑制され、静脈間流量の低下が関与していると推測している

(20)。また、Fagherらは、脊髄損傷選手が高地環境で考慮すべき点として、急性高山病が高い割合で発症することや気圧変化への適応能力が減弱する可能性があることを指摘している(4)。したがって、脊髄損傷選手が高地環境においてトレーニングや競技をする際にはリスク管理が非常に重要となることが考えられる。

飛騨御嶽NTCでは、脊髄損傷選手に対して、より詳細なコンディション状態把握を目的として起床時コンディションチェックに加えて、朝食前に仰臥位から座位への体位変換時の血圧測定を実施している。今年度利用されたA選手(T5レベルの脊髄損傷)の血圧変動は、仰臥位と座位で同様な値もしくは増加する傾向がみられた。一方で、

B選手(C7レベルの脊髄損傷)の血圧変動は合宿中一貫して仰臥位から座位にかけて低下する傾向がみられた(図10a)。さらに、B選手のみ自覚症状としてめまいを訴えていた。加えて、B選手に対して、心臓自律神経活動を定量したところ、自律神経全体の活動度を表すトータルパワーおよび交感神経活動度の低下がみられた(図10b)。また、サポートする中で感じたのは、口数の減少や合宿初期にはあった活気が見られなくなった。このことから高地環境の影響を強く受けていたことが推察される。つまり、先行研究で指摘されているようなリスクがあり、コンディションを良好に維持するための対策が重要であると考えられる。

具体的な対策として、弾性包帯で下

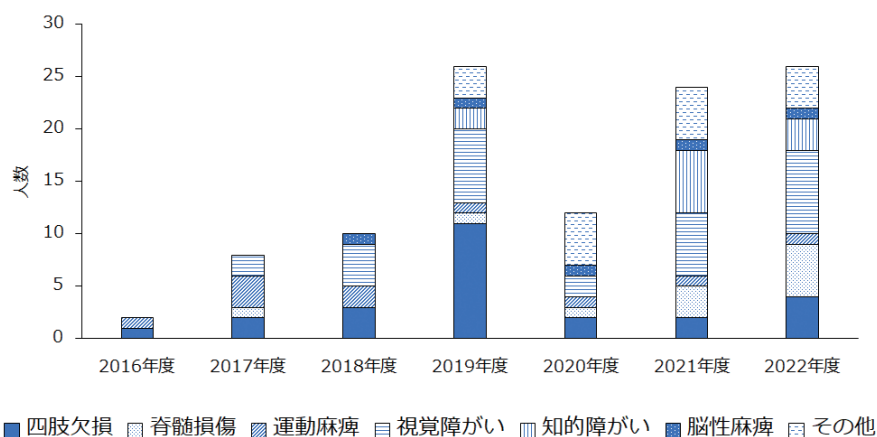


図9 2016年度から2022年度におけるパラアスリートの利用状況

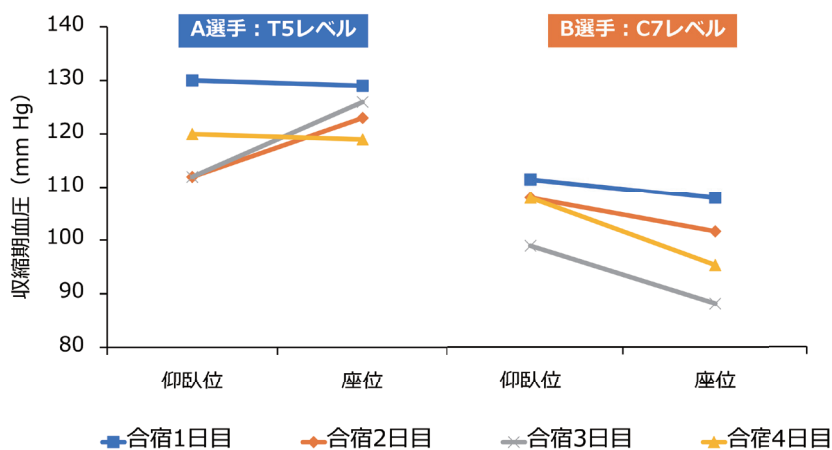


図10a A・B選手の起床時における仰臥位から座位における収縮期血圧の変化

腿を加圧することで静脈間流量を増加させること、筋電気刺激(EMS)を下腿部に貼付し筋ポンプ作用を促すことで、全身への血流循環を促進することが重要ではないかと推察する。また、Fagherらは、脊髄損傷選手における高地環境への準備として、馴化期間を通常よりも長く設定することや急性高山病の症状が発症していないか注意深くモニタリングすることを提唱している(4)。パラアスリートに対しても、より安全で効果的な高地トレーニング環境を提供できるように個々に応じた対策を模索していきたい。

7. 飛騨御嶽NTCにおける今後の展望

今後の展望としては、国内高地トレーニング利用時の効果検証への取り組みである。海外では、高地トレーニングによる増血作用を判定するには、通常の血液検査項目であるヘモグロビン濃度ではなく、総ヘモグロビン量(Hbmass)と呼ばれる体内のヘモグロビンの総量を定量する方法で効果検証されることが一般的である(14)。これまでにHbmassを基に国内高地トレーニングの効果を検証した研究はきわめて限られており(10)、飛騨御嶽NTCとしてはHbmassを用いた効果検証を実施していくことを考えている。増

血作用に関しては、高地環境に少なくとも3週間以上(総曝露時間:500~600h)の滞在が必要であることが知られているが(6)、例年利用されている実業団男子長距離チームは、10~14日程度(平地滞在も同程度)の合宿を繰り返し実施する方法で成果を上げてきている。2022年度は5回の合宿(延べ59日間)を行なっており、高地環境でのトータル曝露時間は十分に満たしていると考えられるため、このようなインターバル型の方法や1回の合宿で3週間以上の滞在がある連続的な方法など、実際に飛騨御嶽NTCで行なわれている高地トレーニング時における増血作用の効果検証を進めていきたい。Hbmassをはじめ、高地トレーニングの多岐にわたる効果について、プロジェクト委員の方々と共同研究として検証を進めていくことが今後の展望である。このことは、ナショナルトレーニングセンター高地トレーニング競技別強化拠点として、そして、我が国における競技力向上や世界からの認知を高めるためにも非常に重要なことであるといえよう。飛騨御嶽NTCの医・科学サポートのより一層の充実を図るためにも、国内高地トレーニングの効果検証に取り組んでいきたい。◆

参考文献

1. 青木純一郎, 佐藤佑, 村岡功. スポーツ生理学. [6]高地トレーニングの生理学. 市村出版. 東京. 50-58. 2001.
2. 浅野勝己, 小林寛道. 高所トレーニングの科学. 杏林書院. 東京. 2004.
3. Dressendorfer, RH, CE Wade, JH Scaff Jr. Increased Morning Heart Rate in Runners: A Valid Sign of Overtraining. *Phys Sports med.* 13(8): 77-86. 1985.
4. Fagher, K, JK Baumgart, GS Solli, HC Holmberg, J Lexell, Ø Sandbakk. Preparing for snow-sport events at the Paralympic Games in Beijing in 2022: recommendations and remaining questions. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 8(1): e001294. 2022.
5. Forsythe, JA, BH Jiang, NV Iyer, F Agani, SW Leung, RD Koos, GL Semenza. Activation of vascular endothelial growth factor gene transcription by hypoxiainducible factor 1. *Mol Cell Biol.* 16(9): 46044613. 1996.
6. Heikura, IA, LM Burke, D Bergland, ALT Uusitalo, AA Mero, T Stellingwerf. Impact of Energy Availability, Health, and Sex on Hemoglobin-Mass Responses Following Live-High-Train-High Altitude Training in Elite Female and Male Distance Athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 13(8): 1090-1096. 2018.
7. Kon, Michihiro, Tatsuaki Ikeda, Toshiyuki Homma, Takayuki Akimoto, Yasuhiro Suzuki, Takashi Kawahara. Effects of acute hypoxia on metabolic and hormonal responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 42(7): 1279-1285. 2010.
8. Kon, Michihiro, Tatsuaki Ikeda, Toshiyuki Homma, Yasuhiro Suzuki. Effects of of low-intensity resistance exercise under acute systemic hypoxia on hormonal responses. *J Strength Cond Res.* 26(3): 611617. 2012.
9. Kon, Michihiro, Nao Ohiwa, Akiko Honda, Takeo Matsubayashi, Tatsuaki Ikeda, Takayuki Akimoto, Yasuhiro Suzuki, Yuichi Hirano, AP Russell. Effects of systemic hypoxia on human muscular adaptations to resistance exercise training. *Physiol Rep.* 2(6): e12033. 2014.
10. Neya M, Enoki T, Ohiwa N, Kawahara T, Gore CJ. Increased hemoglobin mass and VO2max with 10 h nightly simulated altitude at 3000m. *Int J Sports Physiol Perform.* Jul;8(4):366-72. 2013.
11. Nishimura, A, M Sugita, K Kato, A Fukuda, A Sudo, A Uchida. Hypoxia increases muscle hypertrophy induced by resistance training. *Int J Sports Physiol Perform.* 5(4): 497-508. 2010.
12. 村岡功. 高地トレーニングの実践ガイドラ

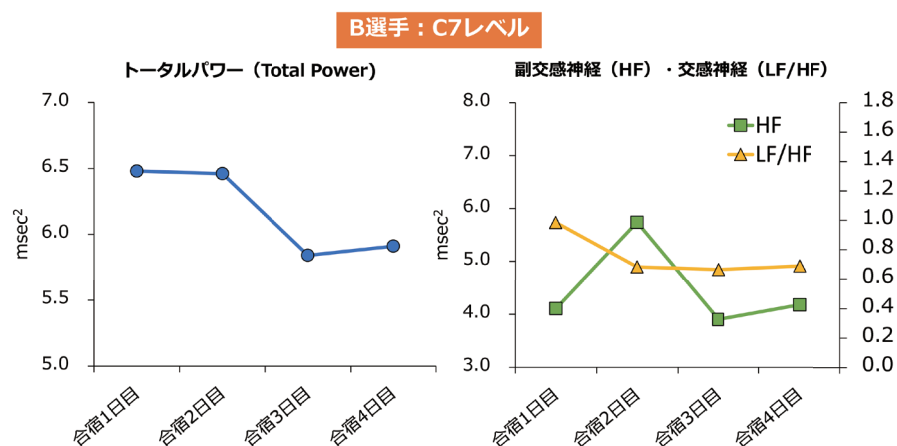


図10b 合宿中におけるB選手のトータルパワー、副交感神経および交感神経活動の変化

イン-競技種目別・スポーツ医学的エビデンスー, 7章低酸素施設の利用. 青木純一郎, 川初清典, 村岡功編. 市村出版. 東京. 101-109. 2011.

13. Puype, J, KV Proeyen, J-M Raymackers, L Deldicque, P Hespel. Sprint interval training in hypoxia stimulates glycolytic enzyme activity. *Med Sci Sports Exerc.* 45(11): 2166-2174. 2013.
14. Saunders, P.U., Garvican-Lewis, L.A., Schmidt, W.F. and Gore, C.J. Relationship between changes in haemoglobin mass and maximal oxygen uptake after hypoxic exposure. *Br J Sports Med*, 47 Suppl 1, i26-30.2013.
15. 関秦一. d-ROMsテストによる酸化ストレス総合評価. *生物試料分析*. 32(4): 301-306. 2009.
16. Semenza, GL, Wang, A. Nuclear factor induced by hypoxia via de novo protein synthesis binds to the human erythropoietin gene enhancer at a site required for transcriptional activation. *Mol Cell Biol*. 12(12): 5447-5454. 1992.
17. Suchomel, TJ, JP Wagle, J Douglas, CB Taber, M Harden, GG Haff, MH Stone. Implementing Eccentric Resistance Training-Part I: A Brief Review of Existing Methods. *J Funct Morphol Kinesiol*. 4(2): 38. 2019.
18. 杉田正明, 内丸仁, 岡崎和伸, 荻田太, 河合季信, 今有礼, 谷口耕輔, 榎屋光男, 伊藤穰, 前川剛輝. 選手・指導者のための高地トレーニングの手引き. 岐阜文芸社. 岐阜. 2019.
19. 杉田正明, 西山哲成, 大石健二, 岡田隆. 競技力向上のための効果的なトレーニング方法およびコンディショニングに関する研究. *日本体育大学体育研究雑誌*. 44: 39-52. 2019.
20. 田中利明, 山田陽介, 横山慶一, 安藤創一, 矢部京之助. 頸髄損傷者の常酸素・低酸素環境下における軽運動時の脳内酸素動態. *日本生理人類学会誌*. 14(4): 157-162. 2009.
21. 谷口耕輔, 橋本峻, 後藤晴彦, 杉田正明. 国内高地トレーニング時におけるSpO₂/脈拍比を用いたコンディション評価に関する研究-日本人一流長距離走選手を対象として-. *トレーニング科学*. 34(4): 323-334. 2022.
22. Wilber, RL. *Altitude training and athletic performance*. Human Kinetics. Champaign. IL. 2004.
23. Wilber, RL. 川原貴・鈴木康弘監訳. *高地トレーニングと競技パフォーマンス*. 講談社サイエンティフィック. 2008.

著者紹介



谷口 耕輔 :

日本体育大学 ハイパフォーマンスセンター 助教。1988年岐阜県生まれ。博士(学術)。三重大学大学院教育学研究科 修士課程修了、三重大学大学院地域イノベーション学研究科 博士後期課程満期退学(2017年3月)。公益財団法人岐阜県スポーツ協会 御嶽濁河高地トレーニングセンター 研究員を経て、2022年4月より現職。



平山 満敬 :

公益財団法人岐阜県スポーツ協会 御嶽濁河高地トレーニングセンター 研究員。1997年栃木県生まれ。修士(スポーツ科学)。仙台大学大学院スポーツ科学研究科 修士課程修了(2022年3月)。2022年4月より現職。



杉田 正明 :

日本体育大学体育学部 教授 / ハイパフォーマンスセンター長。博士(学術)。三重大学大学院教育学研究科修了、東京大学教養学部助手、大学院総合文化研究科助手、三重大学教育学部 助教授、教授を経て現職。日本オリンピック委員会(JOC) 情報・医・科学専門部会 情報・科学サポート部門長、日本スポーツ振興センター(JSC) ハイパフォーマンスセンターアドバイザー、日本陸上競技連盟科学委員会委員長などを務めている。