

# リビングハイ・トレーニングローは究極の持久系トレーニングモデルか？

## Is Live High/Train Low the Ultimate Endurance Training Model?

Jamie Ness, M.S., CSCS

### 目的

この記事の目的は、「リビングハイ・トレーニングロー」として知られる高地トレーニングに関する文献をレビューすることである。どのような変化が予想されるか、また必要な量や、ランニングや水泳、サイクリングなどの持久系スポーツのパフォーマンス向上を目的とした他のトレーニングよりも望ましい結果が得られるかについて調査した。

### リビングハイ・トレーニングローとは？

リビングハイ・トレーニングローは、通常海面レベルの高度(海拔0m)でのパフォーマンス向上を目的として、高地での生活と平地でのトレーニングを行なうトレーニング方法である。主な考え方は、平地でのトレーニングの強度を維持しながら高地馴化のメリットを享受することである。リビングハイの部分では低酸素テントを用いてシミュレートする場合もある。こうしたシミュレートされた環境では酸素濾過または窒素希釈のいずれかの方法が用いられ、どちらも酸素濃度を低下させることができる。またトレーニング

ローの環境は、酸素を補給することによってシミュレートすることができる(19)。

### 高地馴化

パフォーマンスを向上させると考えられている長期間の高地曝露(低酸素)に対する主な適応は、赤血球の数、より具体的にはヘモグロビン量の増加である。赤血球の増加は酸素運搬能力を向上させるため、活動筋に供給する酸素量を増加させるはずである。より高い酸素運搬能力があると、 $\dot{V}O_{2max}$ の増加およびパフォーマンスの向上が予想される。

高地曝露によって筋がどのように順応するのかを明らかにするための研究はほとんど行なわれていない。低酸素が糖質利用と糖質依存を増大させることを示唆する研究結果があり、それは持久系パフォーマンスを害する可能性がある(4)。また、筋の緩衝能力が増すことで無酸素性能力が高まり、このために $\dot{V}O_{2max}$ が増加しなくてもパフォーマンスの向上に繋がる可能性がある(5)。単純な低酸素環境への曝露とは対照的に、低酸素トレーニングはさらなるメリットやデメリットを引き

起こす可能性がある。

### メリットやデメリットに対して考えられるメカニズム

リビングハイ・トレーニングローによるアスリートのパフォーマンス向上の説明として、数多くのメカニズムが考えられている。これらには、無酸素性能力、筋の緩衝能力の向上、酸化系酵素の活性化、そして赤血球産生経路の改善(赤血球の数を増やす)等がある(10)。

先行研究では、低酸素環境によるストレスによってトレーニング刺激を十分なレベルまで引き上げられない(すなわち、ランナーのトレーニングとしてはペースが遅くなりすぎてプラスの恩恵を得ることができない)ことを示唆し、また免疫機能にマイナスの影響を与えるようである(14)。さらに、高地トレーニング中の低酸素環境が脳に及ぼす影響は、トレーニング強度と生理学的反応の両方に影響を与える可能性がある(14)。したがって、常酸素(すなわち正常酸素レベル)トレーニングをすることによって低酸素への曝露を中断することは、慢性的な低酸素曝露によって起こることが知られている悪

影響を回避または最小化するためにも重要かもしれない。低酸素への曝露は、リビングハイ・トレーニングローの実施中およびその後、常酸素トレーニングにポジティブな転移効果があるように思われる。血液の酸素運搬能力が向上することによって、より高い強度でトレーニングすることが可能になり、持久系パフォーマンスの神経筋や心臓血管系の制限因子が改善する可能性を高める(14)。

赤血球産生経路がパフォーマンスの向上に関与していると主張する研究もある(10)。この研究によれば、長期間にわたって運動能力を向上させるための高地馴化の効果は、1つの要因単独で操作することができる。高地での反応の度合いは、赤血球数だけを操作すること(低用量エリスロポエチン注射)によって誘導されるものと質的にも量的にも類似しており、赤血球産生過程が鉄欠乏または感染によって損なわれると効果は妨げられる(10)。

このトレーニング方法に反対するグループは、赤血球数の変化を測定する際に大量の測定誤差が含まれ、赤血球数の変化は必ずしもパフォーマンスの向上と相関するとは限らないと主張している(7)。さらに、効率性の増加がいくつかの研究で報告されており、低酸素が筋血流による心臓血管系の調節および細胞内適応の変化を引き起こす可能性があることは理に合っているようである(7)。

### リビングハイ・トレーニングローは効果的か？

この質問に答えるためには、リビングハイ・トレーニングローを他のトレーニングと比較しながら、生理学的指標およびパフォーマンス指標について検討する必要がある。

### ヘモグロビン

1999年に発表されたリビングハイ・

トレーニングローの効果に関する2つの先行研究では、男性アスリートおよび女性アスリートのヘモグロビン量はともに変化しなかった(1,2)。しかしながら、これらの研究は十分な高地馴化が起こっていなかったかもしれない。被験者は一晩に最高10時間(グループに応じて12~21日間)低酸素テントで眠ったが、他の時間はわずか600mの標高で過ごしていた(1,2)。平地での低酸素曝露のこの比率では、期待していた高地馴化の効果が生じなかったかもしれない。

これらの先行研究とは対照的に、2010年に発表された最近の研究では、リビングハイ・トレーニングローの水泳トレーニングにおいてヘモグロビン量の増加、および乳酸濃度が4mmol/lに達する泳速度が向上した(12)。さらに、このトピックの最近のレビューでは、十分な高地の曝露によってヘモグロビンの量が平均6.5%増加する可能性があることが示唆されている(15)。このレビューでは、高地地域の先住民と他のエリート選手との間に14%の差があり、エリート選手と一般集団との間に35%の差があることも明らかにされている(15)。これらの数値は、トレーニング効果を適切な観点から判断するのに役立つ。スイスのエリートオリエンテーリング選手を対象とした最近の研究では、ヘモグロビン量や赤血球数が増えるだけでなく、酸素運搬能力の向上が伴うと考えられている $\dot{V}O_2\max$ の改善も示された(18)。

### 低酸素

2006年の研究では、リビングハイ・トレーニングローで低酸素に曝されると、持久系トレーニングに対する心臓血管系および自律神経系の順応が損なわれるかどうかについて調査している。研究者は、低酸素環境への曝露は安静時心拍数、拡張期血圧、総末梢抵

抗などの変数と相互に作用すると判断した。これらの値はコントロール群よりも高くなったが、その後15日間の平地トレーニングを行なうとその変化は消滅してしまった(4)。

低酸素は、常酸素よりも大きな酸化ストレスを誘発する可能性がある。しかし、18日間および13日間のリビングハイ・トレーニングローを実施した別の研究者は、「常酸素の低強度での持久系トレーニングの繰り返しは、急な低酸素曝露によって引き起こされる酸化ストレスのプレコンディショニングとして役割を果たす」と結論づけており、平地での持久系トレーニングによってマイナスの影響を軽減することができる(11)。

### パフォーマンスへの影響

どのトレーニング方法だとパフォーマンスを最も向上させるのかについて検討する際には、パフォーマンスがどこで行なわれるかを考えることが重要である。リビングハイ・トレーニングローを実施しているほとんどのアスリートは、平地つまり常酸素環境でのパフォーマンスを改善しようとしている。したがってほとんどの研究が平地で行なわれている。

上述したように、リビングハイ・トレーニングローは、平地での高強度トレーニングによる神経筋へのメリットと組み合わせて、高地馴化の利益を得ることを目的としている。この考えに基づき大学生ランナーを対象とした研究では、リビングハイ・トレーニングローのランナーは5,000m走のランニングパフォーマンスが向上したが、リビングハイ・トレーニングハイのランナーは向上しなかった(19)。両群で赤血球数および $\dot{V}O_2\max$ が同程度改善したことは留意すべきである。なお、同研究のリビングロー・トレーニングロー群では、どのパラメーターも改善はみられなかった(19)。

39名の競技ランナーを対象とした研究では、4週間のリビングハイ・トレーニングローの後、5,000m走のパフォーマンスが平均で13秒向上した(9)。すべてのランナーは6週間一緒にトレーニングした後に、リビングハイ・トレーニングロー、リビングハイ・トレーニングハイ、およびコントロール(平地)の群に分けられた。両高地群では生理学的指標が改善したが、リビングハイ・トレーニングロー群のみがタイムトライアルパフォーマンスを改善した(9)。同様に、スイスのオリエンテーリング競技者を対象とした研究では、リビングハイ・トレーニングローを実施した後の5,000m走タイムが平均で約18秒向上した(18)。

エリートの上級ランナーを対象でないことや、オリエンテーリング競技者が対象の研究はしばしば批判される。それは彼らのランニングタイムは改善したが、オリエンテーリング競技者にとってランニングのタイムトライアルは最も優先されるものではないため、意義としては限界があるからである。

サブエリートランナーとトライアスロン選手の研究では、リビングハイ・トレーニングローの状態にするために低酸素テントを利用した。各アスリートは約25日間、常酸素での通常のトレーニングを完了した後、2、4、8時間のトレッドミルランを継続できなくなるまで行なった。高地をシミュレートした環境下で睡眠をとることによってトレーニング効果を増強させた場合、パフォーマンスは約1%向上した(8)。このデータに基づいて、著者は、リビングハイ・トレーニングローが中距離ランナーにとって効果的であると結論づけた(8)。

もうひとつの疑問は、このトレーニングの別の方法がパフォーマンスに対して異なる結果を生み出すかどうかという点である。

### リビングハイ・トレーニングハイ

異なるトレーニング方法のレビュー論文によると、低酸素状態、特にリビングハイ・トレーニングハイではトレーニング強度が制限されるようである。著者はタイムトライアルパフォーマンスの低下を示すデータとともに、この主張を裏付ける研究を紹介している(19)。リビングハイ・トレーニングハイによるパフォーマンスを網羅的にレビューした研究では、文献によって見解が分かれたが、パフォーマンスが改善しなかった研究のほうがわずかに多かった(5)。著者はオーバートレーニング、ディトレーニング、および個人差の影響という課題を認識することによって、この方法の効果的な使用に関する結論を出した。39名の競技ランナーの研究で述べたように、リビングハイ・トレーニングハイおよびリビングハイ・トレーニングロー群の両方で $\dot{V}O_2\max$ が向上し、赤血球数が増加したが、リビングハイ・トレーニングロー群のみ5,000m走のパフォーマンスが向上した。これらの所見は、平地のパフォーマンスを改善するためには、低酸素からの断続的な休憩とトレーニング強度の維持によって、リビングハイ・トレーニングローがリビングハイ・トレーニングハイよりも優れている可能性があるという考えを支持している。

### リビングロー・トレーニングハイ

リビングロー・トレーニングハイや間欠的低酸素トレーニングは、平地で生活しながら酸素濾過や窒素希釈による低酸素環境でトレーニングをする。この方法の利点は、赤血球数、骨格筋ミトコンドリア密度、毛細血管・筋線維比、および筋線維の横断面積の増加であるといわれている(19)。

しかし、レビュー文献ではリビングロー・トレーニングハイがヘモグロビン量を増加させる、 $\dot{V}O_2\max$ を改善する、またはパフォーマンスを改善する

というエビデンスがほとんどみられない(17,19)。そして結果的に次のように要約されている。「総合すると、リビングロー・トレーニングハイの研究は、このトレーニングコンセプトが $\dot{V}O_2\max$ 、漸増負荷試験中のピークパワーやタイムトライアルパフォーマンスに与える影響について、明確なビジョンを得ることができなかった。」(17)

この文献によると、短期間の低酸素曝露(1日の最低推奨時間である12時間をはるかに下回る)は、トレーニング強度(またはオーバートレーニング)と併せて、この方法を用いるアスリートのパフォーマンス向上を妨げているようである。

### リビングロー・トレーニングロー

運動と組み合わせられた長期の低酸素曝露は、免疫システム機能を害する可能性があると考えられている(5)。この考えは、標高3,500mに住んでいるアスリートに関する2つの研究によって支持されている(5,19)。ある研究では白血球数の減少がみられ、また他の研究では分泌型免疫グロブリンAの枯渇がみられた(5,19)。

エリートランナーに関する研究では、その大部分がリビングハイ・トレーニングローによる効果がないことがわかっている(3)。具体的には、5,000m走または3,000m走のパフォーマンスを平均時間よりも向上したランナーは高反応者、全く向上しなかったランナーは無反応者とみなされた。2つの研究では、61名のランナーのうち20名は、無反応者とみなされた(3)。

トレーニングの効果がないランナーが多数いること、免疫システムの機能障害、高いコスト、時間の浪費、および急性高山病の可能性のあることを考えると、リビングハイ・トレーニングローは通常の平地トレーニング(リビングロー・トレーニングロー)よりも

リスクのある方法である。

しかし、リビングハイ・トレーニングローは生理学的指標と、さらに重要なことには、タイムトライアルパフォーマンスを向上させることが示されている(3)。「血液の酸素運搬能力が向上することによって、その後により高強度でトレーニングすることができ、それによって持久系パフォーマンスの神経筋や心臓血管系の制限要因が改善する可能性がある」(14)と述べられているように、リビングハイ・トレーニングローは、即時のタイムトライアルパフォーマンスの改善を超えるメリットがあるかもしれない。

アスリートは、リビングハイ・トレーニングローとリビングロー・トレーニングローのメリットとリスクを天秤にかける必要があるが、環境が整うのであればリスクに見合う価値があることは明らかである。

### リビングハイ・トレーニングローは改善していくのか？

低酸素環境下では有酸素能力が低下するため、中程度の高地トレーニング強度は減らされなければ平地トレーニングと同様の強度にならない。したがって、高地トレーニングは平地トレーニングでは達成困難な運動強度にまで高めるために用いられることもある。アスリートが高地で平地トレーニングより高い強度で運動した場合(そのような強度の増加は意図していなかったが)、平地に戻った後のパフォーマンスは改善したという報告もある(5)。

低酸素トレーニングはまた、「骨格筋ミトコンドリア密度、毛細血管・対線維比、および筋線維の横断面積の有益な変化」と関連している(19)。これらの適応を上記の強度の増加と組み合わせると、リビングハイ・トレーニングローにトレーニングハイモデルを加えることにメリットがあることは明らかである。

かである。

リビングハイ・トレーニングローにトレーニングハイを加えたものの最近の研究では、被験者はトレーニング後に $\dot{V}O_2\max$ とヘモグロビン量が増加したが、3,000m走のタイムトライアルでは1.1%の改善に留まった。この程度の改善は、リビングハイ・トレーニングローが効果的であったとはいえない。研究者は、リビングハイ・トレーニングローとトレーニングハイの組み合わせは、リビングハイ・トレーニングローまたはトレーニングハイ単独と比較して、競技パフォーマンスの基礎となる生理学的能力の向上をもたらすと結論づけた(13)。しかしながら、これらの生理学的適応が直接タイムトライアルの成績改善に繋がらなかった(13)。この研究では全トレーニングの46%が低酸素環境であったため、低酸素トレーニングの割合によってプラスの影響が生じた可能性がある。

リビングハイ・トレーニングローモデルを改善するもうひとつの可能な方法は、無応答者の割合を減らすことである。これは、「高地に到達した直後または実験室環境で、急性の高地に対する赤血球産生およびトレーニングの応答速度をスクリーニングすることによって」達成することができるかもしれない(3)。この種のスクリーニングは、リビングハイ・トレーニングハイから利益を得ることができるアスリートだけでなく、平地での滞在のほうが良い結果になるアスリートを特定するのに役立つ。それはまた個々のアスリートのためのトレーニングや睡眠に最適の高度を見つけることに役立つだろう(3)。

### どのくらいの高地環境への曝露が必要か？

パフォーマンス向上に必要な適応を引き出すために、どの程度の高地曝露やトレーニングが必要かは明らかに

なっていない。しかしながら、長年の研究によって一般的な推奨事項が明らかになりつつある。レビュー論文では、リビングハイ・トレーニングハイの場合、標高2,000m以上で3~4週間が推奨されている(5)。興味深いことに、以前の研究者は、「血液が馴化するためには、少なくとも高度2,100~2,500m、またはそのシミュレート環境で少なくとも3週間、1日12時間以上」との同様の推奨をしていた(14)。リビングハイ・トレーニングローでは曝露時間が短くなるため、同じ時間の標準的なセッションよりも高い高度が必要かもしれない。

このトピックに関する最も網羅的なレビューの著者は、2,000~2,500mでの生活を1日最低22時間、少なくとも4週間を推奨している。シミュレート環境の場合、少なくとも4週間、1日12~16時間、2,500~3,000mでの生活を推奨している(20)。なお、推奨よりも高い高度で生活することはマイナスの結果をもたらす可能性がある。

### 結論

リビングハイ・トレーニングハイ、リビングロー・トレーニングハイ、およびリビングロー・トレーニングローよりも、リビングハイ・トレーニングローのほうが、平地での生理学的指標を大幅に向上させることができることが示唆されている。しかし、アスリートがそのようなトレーニング計画を実行する前に、コストとリスクを考慮する必要がある。通常は3~4週間で1%の改善がみられるが、これは必ずしもそうなるとは限らない。

反応の個人差が大きいと理解しておくことは、より普遍的で信頼性が高いスクリーニングができるようになり、リビングハイ・トレーニングローまたはリビングハイ・トレーニングローとトレーニングハイの組み合わせを最適

に活用することができるだろう。リビングハイ・トレーニングローによって高反応者は4%もの改善を示す一方で、無反応者は1%の減少を示したため、個人の変動が明らかになっていない問題の中でおそらく最も重要であろう(20)。◆

## References

- Ashenden, MJ, Gore, CJ, Dobson, GP, and Hahn, AG. "Live high, train low" does not change the total hemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3,000 m for 23 nights. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 80(5): 479-484, 1999.
- Ashenden, MJ, Gore, CJ, Martin, DT, Dobson, GP, and Hahn, AG. Effects of a 12-day "live high, train low" camp on reticulocyte production and hemoglobin mass in elite female road cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 80(5): 472-478, 1999.
- Chapman, R, Stray-Gundersen, J, and Levine, BD. Individual variation in response to altitude training. *Journal of Applied Physiology* 85(4): 1448-1456, 1998.
- Cornolo, J, Fouillot, JP, Schmitt, L, Povea, C, Robach, P, and Richalet, JP. Interactions between exposure to hypoxia and the training-induced autonomic adaptations in a "live high-train low" session. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 96(4): 389-396, 2006.
- Friedmann-Bette, B. Classical altitude training. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 18: 11-20, 2008.
- Gore, CJ, Hahn, AG, Aughey, RJ, Martin, DT, Ashenden, MJ, Clark, SA, McKenna, MJ, et al. Live high-train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica* 173(3): 275-286, 2001.
- Gore, CJ, and Hopkins, WG. Counterpoint: Positive effects of intermittent hypoxia (live high-train low) on exercise performance are not mediated primarily by augmented red cell volume. *Journal of Applied Physiology* 99(5): 2055-2057, 2005.
- Hinckson, EA, and Hopkins, WG. Changes in running endurance performance following intermittent altitude exposure simulated with tents. *European Journal of Sport Science* 5(1): 15-24, 2005.
- Levine, BD, and Stray-Gundersen, J. "Living high-training low:" Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology* 83(1): 102-112, 1997.
- Levine, BD, and Stray-Gundersen, J. Point: Positive effects of intermittent hypoxia (live high-train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. *Journal of Applied Physiology* 99(5): 2053-2955, 2005.
- Pialoux, V, Mounier, R, Brugniaux, J, Rock, E, Mazur, A, Richalet, JP, and Fellmann, N. Thirteen days of "live high-train low" does not affect pro-oxidant/antioxidant balance in elite swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 106(4): 517-524, 2009.
- Robertson, EY, Augrey, RJ, Anson, JM, Hopkins, WG, and Pyne, DB. (2010). Effects of simulated and real altitude exposure in elite swimmers. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 24(2): 487-493, 2010.
- Robertson, EY, Saunders, PU, Pyne, DB, Gore, CJ, and Anson, JM. Effectiveness of intermittent training in hypoxia combined with live high/train low. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 110(2): 379-387, 2010.
- Rusko, H, Tikkanen, H, and Peltonen, J. Altitude and endurance training. *Journal of Sports Sciences* 22(10): 928-945, 2004.
- Schmidt, W, and Prommer, N. Effects of various training modalities on blood volume. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 18: 57-69, 2008.
- Stray-Gundersen, J, Chapman, R, and Levine, BD. "Living hightraining low" altitude training improves sea-level performance in male and female elite runners. *Journal of Applied Physiology* 91(3): 1113-1120, 2001.
- Vogt, M, and Hoppeler, H. Is hypoxia training good for muscle and exercise performance? *Progress in Cardiovascular Diseases* 52(6): 525-533, 2010.
- Wehrin, JP, Zuest, P, Hallén, J, and Marti, B. Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *Journal of Applied Physiology* 100(6):1938-1945, 2005.
- Wilber, RL. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(9): 1610-1624, 2007.
- Wilber, RL, Stray-Gundersen, J, and Levine, BD. Effect of hypoxic "dose" on physiological responses and sea-level performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(9):1590-1599, 2007.

From NSCA COACH : Volume 2, Issue 1, pages 20-24.

## 著者紹介

### Jamie Ness :

大学時代、陸上のシーズン前に短期間コロラドにてリビングハイ・トレーニングローとトレーニングハイの組み合わせのコースに参加し、初めて高地トレーニングに興味をもった。それ以来、クロスカントリーと陸上の選手を7年間指導しており、そのうち4年は大学レベルの選手を対象としている。現在は、イースタンケンタッキー大学でエクササイズ&スポーツ科学のプログラムを教えている。ケンタッキー大学にて修士(キネシオロジー&ヘルスプロモーション)を取得し、CSCSを保有している。