

論文の内容の要旨

低酸素環境下における スプリントインターバル運動トレーニングの 生理応答および適応

Physiological responses and adaptations induced by sprint interval exercise/training under hypoxia

竹井 尚也

研究の背景

低酸素環境下で運動トレーニングを行うこと(低酸素トレーニング)は、通常酸素条件と異なるトレーニング刺激をもたらす、顕著な生理学的適応やトレーニング効果をもたらす。また、近年では人工的な低酸素環境が一般化し、アスリートの運動トレーニングや一般人の健康の保持増進および傷病者の運動療法として用いられるようになってきている。一方で、低酸素トレーニングを処方する際には、運動や酸素濃度の条件によっては、必ずしもトレーニング効果が得られないだけでなく、通常酸素条件と比較して、トレーニング効果が減弱化することもある。そこで、人工的な低酸素環境を用いた適切な運動トレーニング方法を確立することが求められる。

ここ数年の間、低酸素環境下で繰り返しスプリント運動(5-10秒程度の全力スプリント運動; 10-20秒程度の休止)を行うことで、通常酸素条件と比較して顕著な生理学的適応やパフォーマンス向上効果をもたらすとの研究報告が多数なされている。このように、近年の低酸素トレーニング研究では、全力スプリント運動を用いることで、低酸素曝露に対する応答性の高い速筋線維を多く動員し、通常酸素条件と比較して、より顕著なトレーニング効果が得られる可能性が示されている。

全力スプリント運動を用いるトレーニング方策として、スプリントインターバルトレーニング(Sprint interval training, SIT)がある。SITは、30秒の全力スプリント運動を4~5分の休止を挟み繰り返すトレーニング方法であり、通常酸素環境下においてそのトレーニング効果が広く確認されてい

る。さらに、先行研究では低酸素環境下で SIT を行うことにより、通常酸素条件と比べて、より顕著な生理学的適応 (解糖系酵素活性の向上) が惹起される可能性が示唆されている。しかしながら、SIT を用いた低酸素環境下での運動トレーニング研究は少なく、その生理応答やトレーニング効果は十分に明らかとなっていない。

研究の目的

本研究では、はじめに、急性の低酸素環境下においてスプリントインターバル運動(Sprint interval exercise, SIE)を行った際の、運動パフォーマンスや生理学的パラメータの応答について測定し、低酸素環境下での SIT の応用可能性について検討することを目的とした。

次に、低酸素環境下での SIT により、通常酸素条件と比較して、顕著なトレーニング効果が得られるかについて検証し、新たな低酸素トレーニング方策になりえるか検討した。

研究①

方 法 : 7名の大学陸上競技部の短距離選手を対象とし、異なる測定日に、ランダムな順序で低酸素環境下(14.5%O₂)もしくは通常酸素環境下での 3×30 秒全力自転車スプリントを 4分30秒の休息を挟み行うテストを実施した。

結果と考察 : 血中酸素飽和度は、通常酸素条件に比べ、低酸素条件で有意に低下し($p<0.01$)、血中レベルでの低酸素状態が惹起された(図 1)。一方で、運動パフォーマンス(平均・最大パワー・総仕事量)に関して、酸素条件による有意な差は認められなかった(図 2)。したがって、急性の低酸素曝露は SIE 時の運動パフォーマンスに影響しないことが示された。

結 論 : 本実験での低酸素環境下の SIE によって、低酸素曝露による生理学的刺激(血中酸素飽和度の低下)を負荷しながら、トレーニングの絶対運動強度(力学的ストレス)を保つことで、新たな低酸素トレーニング方策として応用できる可能性が示された。

図 1 血中酸素飽和度の応答

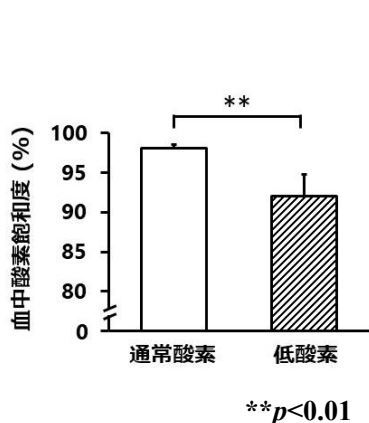
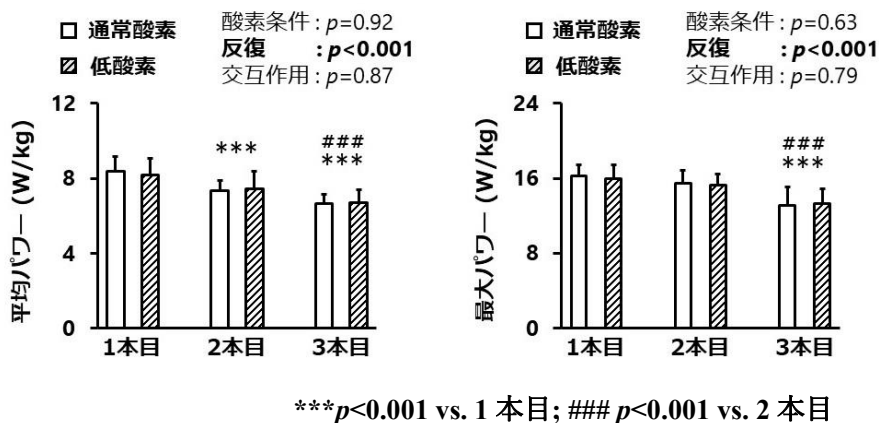


図 2 平均パワー(左)および最大パワー(右)の応答



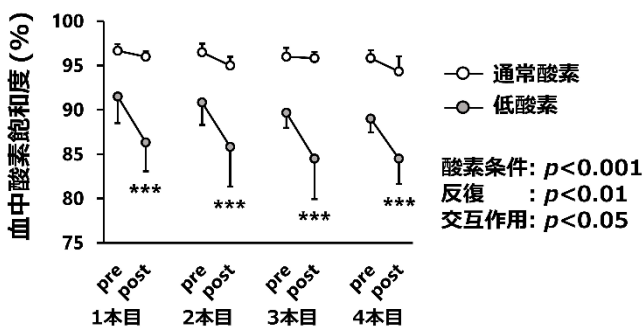
研究②

方法：6名の鍛錬された男性を対象とし、異なる測定日に、ランダムな順序で低酸素環境下(14.5%O₂)もしくは通常酸素環境下での4×30秒全力自転車スプリントを4分30秒の休息を挟み行うテストを実施した。

結果と考察：血中酸素飽和度は、通常酸素条件に比べ、低酸素条件で有意に低下し($p<0.001$)、血中レベルでの低酸素状態が惹起された(図3)。一方で、低酸素条件において代償的な心拍数の増大($p<0.01$)が見られ、組織酸素飽和度には酸素条件間による差は認められなかった(図4)。運動前後に行った神経筋機能テストにより、中枢からの神経入力低下など中枢性の疲労が起こらないことが示唆された。一方で、スプリントの反復により末梢での代謝要因による疲労が起こることが示めされたが($p<0.001$)、酸素条件間での差はなかった。したがって、低酸素環境下でのSIEは、中枢性疲労を引き起こさず、通常酸素条件と同等の末梢での代謝応答をもたらすことが示された。また、運動パフォーマンスは、通常酸素条件と同等であった。

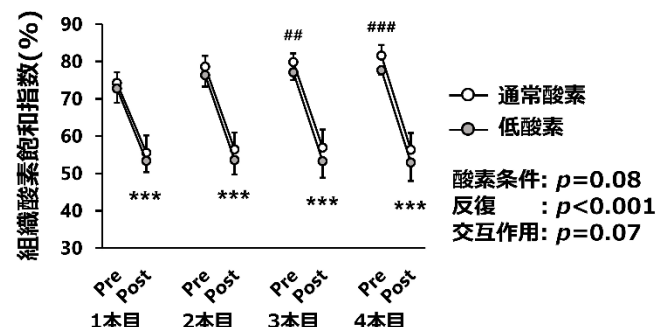
結論：研究①の結果を支持するように、本実験での低酸素環境下のSIEは、通常酸素条件と比較して顕著な血中レベルでの低酸素状態を引き起こすが、一方で運動パフォーマンスに負の影響を与えないことが示された。さらに、低酸素曝露による中枢性疲労が起きず、末梢での代謝要因による疲労も通常酸素条件と同等であることが示され、低酸素曝露が運動の遂行を妨げることがないことが示唆された。これらのことから、低酸素環境下でのSITが、通常酸素条件と比較して、力学的ストレスを維持しつつ、顕著な生理学的ストレスをもたらす新しい低酸素トレーニング方策として応用できる可能性が示された。

図3 血中酸素飽和度の応答



*** $p<0.001$ vs. 各スプリントの Pre

図4 組織酸素飽和度の応答



*** $p<0.001$ vs. 各スプリントの Pre;

$p<0.01$, ### $p<0.001$ vs. 1本目の Pre (baseline)

研究③

方法：12名の陸上短距離選手を対象とし、低酸素トレーニング群(14.5%O₂; n=6)もしくは通常酸素トレーニング群(n=6)に分け、2週間(計6回)のトレーニング介入(3×30秒全力自転車スプリント; 4分30秒休止)を行った。トレーニング介入前後に、通常酸素

環境下での3×30秒全力自転車スプリントを4分30秒の休息を挟み行うパフォーマンステストを実施した。

結果と考察：運動パフォーマンス(平均・最大パワー・総仕事量)は、トレーニング介入により有意に向上したが($p<0.001$)、酸素条件による差は認められなかった(図5: 平均パワー)。このことから、本研究での低酸素トレーニング条件が、付加的なパフォーマンス向上効果をもたらさないことが示された。運動後の血中乳酸濃度は、通常酸素トレーニング群でトレーニング介入により、増加する傾向($p<0.10$)が示唆された(図6)。したがって、通常酸素トレーニング群において解糖系エネルギー産生の向上する可能性が示唆された。一方で、低酸素トレーニング群において、運動後の血中乳酸濃度は減少する傾向($p<0.10$)が示された(図6)。このことから、低酸素トレーニング群では乳酸の酸化利用量の増大が示唆され、低酸素曝露により異なる乳酸代謝の適応が起こる可能性が示された。

結論：本実験の低酸素環境下のSITは、通常酸素条件と比較して、付加的な運動パフォーマンスの向上をもたらさないことが示された。血中乳酸濃度の応答に関しては、低酸素曝露により通常酸素条件とは異なる適応が起こる可能性が示された。今後、付加的なパフォーマンス向上効果をもたらす条件変更について検討する必要がある。

図5 トレーニングによる平均パワーの変化

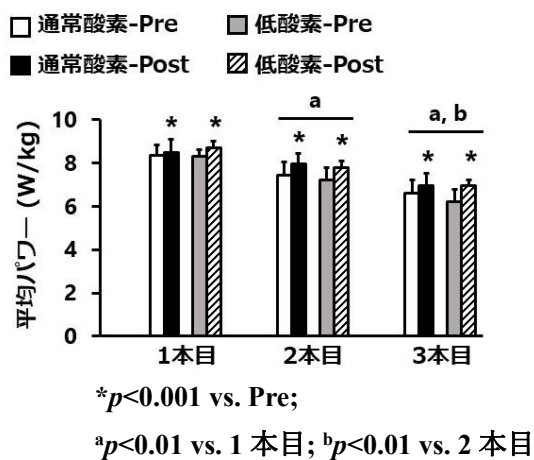
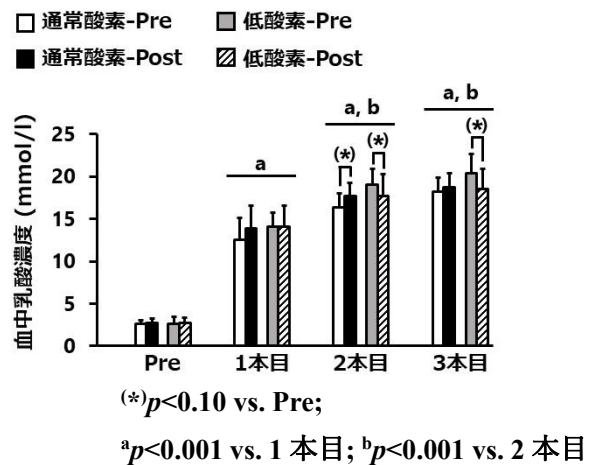


図6 トレーニングによる血中乳酸濃度の変化



まとめ

急性の低酸素環境下(14.5%O₂)でのSIT(3-4×30秒全力スプリント運動; 4分30秒休止)において、通常酸素条件と比較して、顕著な生理学的応答(血中酸素飽和度の低下、心拍数の増大)が起こる一方で、運動パフォーマンスや神経筋機能および組織酸素飽和度は保たれることが示された。これらのことから、低酸素環境下でのSITが、より大きな生理学的ストレスを惹起しながら、力学的ストレスを維持する方法として応用できる可能性が示された。しかしながら、仮説に反して、低酸素環境(14.5%O₂)での2週間(計6回)のSIT(3×30秒全力スプリント運動; 4分30秒休止)は、通常酸素条件と比べて付加的なパフォーマンス向上効果をもたらさないことが示された。一方で、低酸素曝露により特異的な乳酸代謝に対する適応が起こる可能性が示唆された。