

## 論文の内容の要旨

論文題目 筋持久力トレーニングにおける高酸素環境の影響

氏 名 小嶋 裕太

### 第1章 序論

筋持久力は、筋がいかに長く作業を続けることができるかを表す能力であり、筋持久力を向上させることは、日常生活とスポーツの両方において、極めて重要な要素である。しかしながら、筋持久力に関する研究は筋力や筋肥大に関する研究に比べ非常に少ないのが現状である。一方で、筋持久力のトレーニングを効果的に行うためには、低負荷強度を用いて、挙上回数を多くもしくは力発揮時間を長く行う必要がある。そのため、トレーニング時の挙上回数もしくは力発揮時間を向上させることが可能であれば、より効果的なトレーニングを行うことが可能であると考えられる。そこで、本研究では挙上回数もしくは力発揮時間を向上させる手段として高酸素環境に着目した。

高酸素環境下で運動を行った場合に、どのような生理的応答が起こるかについて様々な検討が行われている。しかしながら、高酸素環境が運動パフォーマンスに及ぼす影響について検討した研究の多くは全身持久力に及ぼす影響をみたものが多く、筋持久力に及ぼす影響についてみたものは少ないのが現状である。一方で、高酸素環境による運動パフォーマンス向上の要因として、通常酸素環境に比べ (1)  $H^+$ 濃度の増加の抑制、(2)より速いクレアチンリン酸の再合成、(3)筋グリコーゲンの分解抑制などの末梢性の疲労抑制と(4)中枢性の疲労抑制が生じることなどが挙げられる。これらの知見を考慮に入れると、高酸素環境の効果として末梢性と中枢性の疲労が抑制され、筋持久力トレーニング時の挙上回数もしくは力発揮時間を向上させる可能性が挙げられる。したがって、高酸素環境下での筋持久力トレーニングは、通常酸素環境下での筋持久力トレーニングよりもトレーニング時の挙上回数もしくは力発揮時間が向上するため、効果的なトレーニングを行うことが期待できる。

そこで、本研究では、高酸素環境下での筋持久力トレーニングの効果について明らかにすることを主目的とした。この主目的を達成するためには、実際に高酸素環境下でトレーニング実験を行い、その効果について検証する必要がある。また、このトレーニングは、トレーニング時の挙上回数もしくは力発揮時間が高酸素環境によって向上することが前提条件である。そのため、トレーニング実験を行う前に高酸素環境の急性の効果として挙上回数(動的筋持久力)と力発揮時間(静的筋持久力)が向上するかどうかについて検証する必要がある。上記のことを確認するため

に、本研究では3つの研究を行った。

## 第2章 高酸素環境が動的筋持久力に及ぼす急性の影響 (研究1)

研究1では高酸素環境が動的筋持久力に及ぼす急性の影響について明らかにすることを目的とした。被検者は健康な成人男性25名とし、利き腕でのワンハンドプリーチャーカールを負荷30% 1 Repetition maximum (1RM)でオールアウトまで、1セット行った。被検者は環境シミュレーター室内で30分間の安静曝露を行った後、試行を開始した。環境シミュレーター内の酸素濃度は常圧高酸素環境 (30.0%O<sub>2</sub>; HOX条件) あるいは通常酸素環境 (20.9%O<sub>2</sub>; NOX条件) とし、これら2条件をランダムな順序で、日を改めて行った。その結果、HOX条件での最大挙上回数(R<sub>max</sub>)はNOX条件よりも有意に高い値を示した( $P < 0.001$ ; 図1)。また、NOX条件のオールアウト直前5回とHOX条件の同繰り返し回数時(NOX<sub>max</sub>)の筋活動水準と酸素化ヘモグロビン濃度変化量( $\Delta$ O<sub>2</sub>Hb)を比較したところ、両パラメーターともにHOX条件の方が有意に低い値を示した(筋活動水準:  $P = 0.015$ ;  $\Delta$ O<sub>2</sub>Hb:  $P = 0.003$ ; 図2a,b)。そして、HOX条件でのこの値は、HOX条件でのオールアウト直前5回の値(HOX<sub>max</sub>)よりも有意に低い値を示した(筋活動水準:  $P = 0.022$ ;  $\Delta$ O<sub>2</sub>Hb:  $P < 0.001$ ; 図2a, b)。

NOX条件に対するHOX条件のR<sub>max</sub>の増加率( $\Delta$ R<sub>max</sub>)は全身持久力の指標であるPeak  $\dot{V}O_2$ と筋持久力の指標であるNOX条件でのR<sub>max</sub>との間に有意な正の相関関係が認められた(vs Peak  $\dot{V}O_2$ :  $r = 0.562$ ,  $P = 0.003$ ; vs R<sub>max</sub>:  $\tau = 0.284$ ,  $P = 0.047$ ; 図3a, b)。

これらの結果から、高酸素環境の急性の効果として動的筋持久力を向上させることが明らかとなった。また、高酸素環境下ではエクササイズ後半における筋活動水準と $\Delta$ O<sub>2</sub>Hbの上昇が通常酸素環境下に比べて緩やかに生じた。そして、高酸素環境による急性の動的筋持久力向上効果は全身持久力と筋持久力に依存することが確認された。

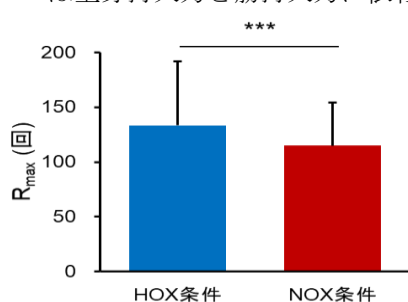


図1. R<sub>max</sub> (Mean ± SD) \*\*\*:  $P < 0.001$

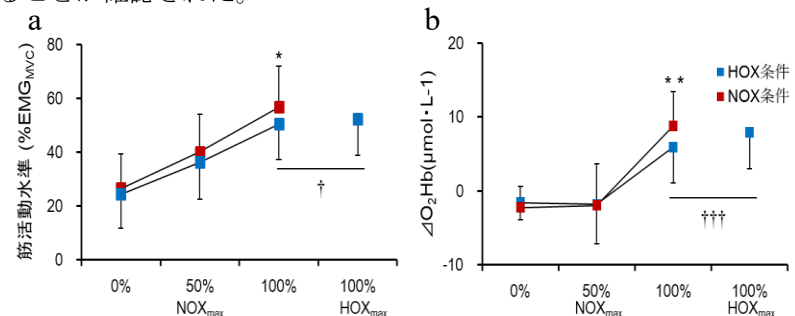


図2. 筋活動水準、 $\Delta$ O<sub>2</sub>Hb  
aは筋活動水準、bは $\Delta$ O<sub>2</sub>Hbの結果をそれぞれ示す。(Mean ± SD)  
\*:  $P < 0.05/3$  (HOX vs NOX) \*\*:  $P < 0.01/3$  (HOX vs NOX)  
†:  $P < 0.05$  (HOX<sub>max</sub> vs NOX<sub>max</sub>) †††:  $P < 0.001$  (HOX<sub>max</sub> vs NOX<sub>max</sub>)

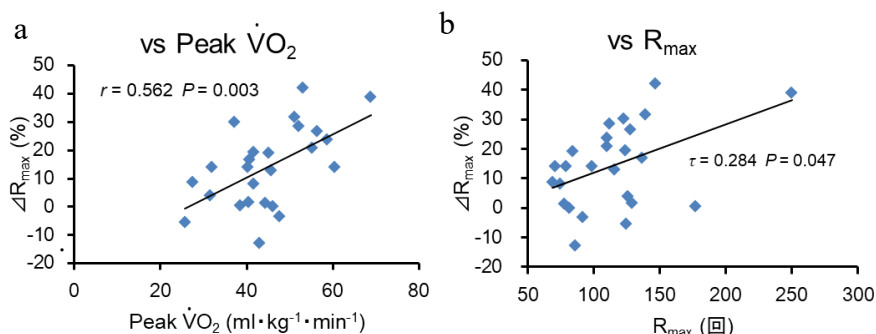


図3.  $\Delta$ R<sub>max</sub>との相関  
aはPeak  $\dot{V}O_2$ 、bはR<sub>max</sub>と $\Delta$ R<sub>max</sub>との相関の結果をそれぞれ示す。

### 第3章 高酸素環境が静的筋持久力に及ぼす急性の影響 (研究2)

研究2では高酸素環境が静的筋持久力に及ぼす急性の影響について明らかにすることを目的とした。被検者は健康な成人男性15名とし、利き腕での等尺性肘屈曲運動を30% Maximum voluntary contraction (MVC)強度でオールアウトまで、1セット行った。実験プロトコルは研究1と同様なプロトコルで行った。その結果、被検者全体では、両酸素条件間で最大力発揮時間( $T_{max}$ )に有意な差は認められなかった(図4)。ただし、個人別にみると、高酸素環境によって静的筋持久力が約55%向上する者もいれば、約10%低下してしまう者もいた。また、NOX条件に対するHOX条件の $T_{max}$ の増加率( $\Delta T_{max}$ )は活動筋における筋酸素動態の指標である酸素条件間における $\Delta O_2Hb$ の差との間に有意な正の相関関係が認められた( $r = 0.657, P = 0.001$ ; 図5)。

これらの結果から、高酸素環境の急性の影響によって、静的筋持久力が向上する者と低下する者がおり、全体で見ると、高酸素環境は静的筋持久力に対して統計的に有意な急性の影響を及ぼさないことが明らかとなった。このような効果の違いは、エクササイズ中における活動筋への酸素供給の程度が関係している可能性が示唆された。

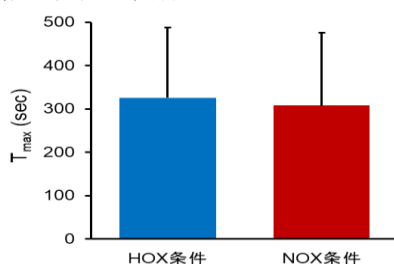


図4.  $T_{max}$  (Mean  $\pm$  SD)

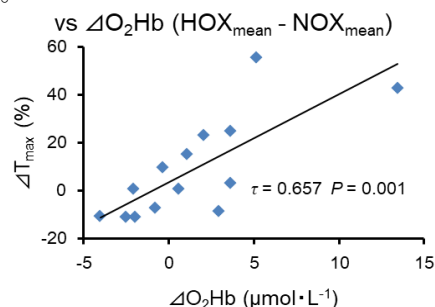


図5. 酸素条件間における $\Delta O_2Hb$ の差と $\Delta T_{max}$ との相関

### 第4章 高酸素環境下での筋持久力トレーニングの効果 (研究3)

研究3では、高酸素環境下での筋持久力トレーニングの効果について明らかにすることを目的とした。健康な成人男性16名を被検者とし、8名ずつ高酸素環境でトレーニングを行う群(30.0% $O_2$ ; HOX群)と通常酸素環境でトレーニングを行う群(20.9% $O_2$ ; NOX群)の2群に分けた。トレーニングは利き腕でのワンハンドプリーチャーカールを30%1RMの負荷でオールアウトまで、1セット行うものとし、週3回の頻度で6週間行った。6週間のトレーニング前後に、両トレーニング群ともにHOXとNOX環境下で30%1RMの負荷でのワンハンドプリーチャーカールの最大挙上回数( $R_{max}$ )を測定した。その結果、6週間のトレーニングによって、両トレーニング群ともにNOX環境下での $R_{max}$ は有意に増加したが(HOX群:  $P = 0.012$ ; NOX群:  $P = 0.012$ ; 図6a)、その増加率はHOX群の方がNOX群よりも大きい傾向であった( $P = 0.065$ ; 図6b)。また、HOX群において、6週間のトレーニングによるNOX環境下での $R_{max}$ の増加率( $\Delta TE R_{max}$ )とトレーニング開始前におけるHOXによる $R_{max}$ の増加率( $\Delta R_{max\ pre}$ )およびトレーニングボリューム(6週間の筋持久力トレーニングにおける総挙上回数)との間に有意な正の相関関係が認められた(vs  $\Delta R_{max\ pre}: r = 0.873, P = 0.010$ ; vs トレーニングボリューム:  $r = 0.944, P = 0.001$ ; 図7a, b)。

これらの結果から、高酸素環境での筋持久力トレーニングは通常酸素環境でのトレーニングよりもトレーニング効果が高い傾向にあり、その効果はトレーニング開始前における高酸素環境に

よる急性の筋持久力向上効果と筋持久力トレーニング時のトレーニングボリュームに依存することが確認された。

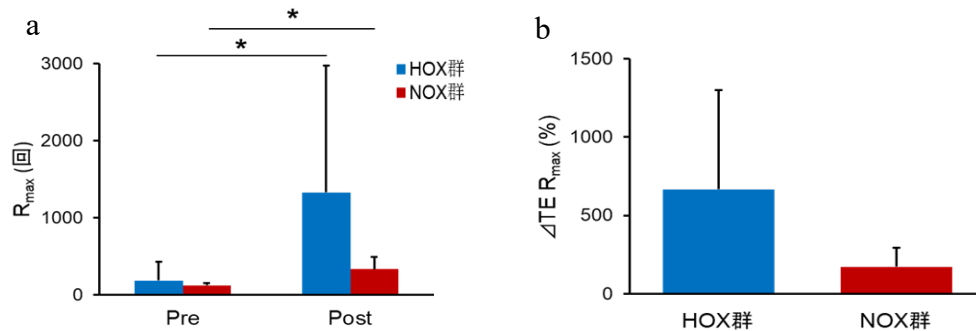


図 6. NOX 環境下における  $R_{\max}$ 、 $\Delta TE R_{\max}$   
a は NOX 環境下における  $R_{\max}$ 、b は  $\Delta TE R_{\max}$  の結果をそれぞれ示す。 (Mean  $\pm$  SD) \*:  $P < 0.05$  (Pre vs Post)

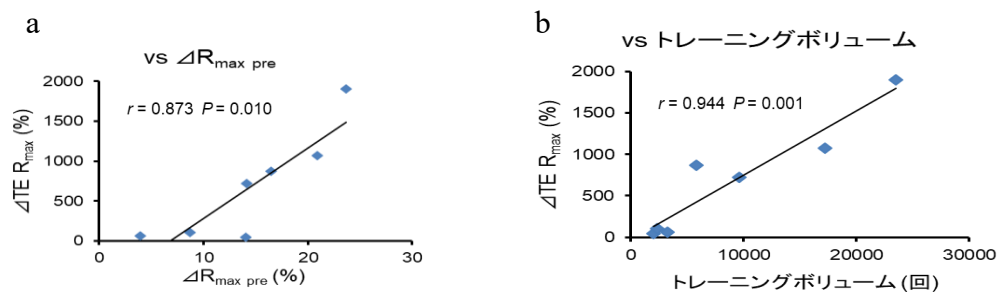


図 7. HOX 群における  $\Delta TE R_{\max}$  との相関  
a は  $\Delta R_{\max pre}$ 、b は トレーニングボリュームと HOX 群における  $\Delta TE R_{\max}$  との相関の結果をそれぞれ示す。

## 第5章 結語

研究 1 と研究 2 の結果から、動的筋持久力に対しては高酸素環境による急性の効果は認められるが、静的筋持久力に対しては認められないことが明らかとなった。また、高酸素環境が動的筋持久力に及ぼす効果は全身持久力と筋持久力の能力に依存することが確認された。研究 3 の結果から、高酸素環境での筋持久力トレーニングは通常酸素環境でのトレーニングよりもトレーニング効果が高い傾向にあり、その効果はトレーニング開始前における急性の筋持久力向上効果および筋持久力トレーニング時のトレーニングボリュームに依存することが認められた。これらの結果から、新たな筋持久力トレーニング法として提案した高酸素環境下での筋持久力トレーニングは、高酸素環境による急性の効果が高い者に対しては、極めて効果的な筋持久力トレーニングに成り得ることが示唆された。