

令和元年6月10日現在

機関番号：33908

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01744

研究課題名(和文) 低酸素環境下での無酸素性運動が血管新生因子の分泌に及ぼす影響

研究課題名(英文) Effect of anaerobic exercise under hypoxia on secretions of angiogenic regulators

研究代表者

今 有礼 (Kon, Michihiro)

中京大学・国際教養学部・教授

研究者番号：00455445

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：低酸素環境下で行う無酸素性トレーニング(レジスタンストレーニング)は、常酸素環境下よりも血管新生を刺激する可能性が報告されている。しかし、そのメカニズムに関しては明らかにされていない。本研究では、低酸素環境下で行う一過性無酸素性運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響について検討することを目的とした。その結果、低酸素環境下で行う一過性無酸素性運動(レジスタンス運動、高強度インターバル運動)が、常酸素環境下で行う一過性無酸素性運動よりも血管内皮細胞増殖因子(VEGF)の分泌をより刺激することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低酸素環境下で行う無酸素性トレーニングが、常酸素環境下以上に血管新生を促進させるメカニズムの一つであることが明らかとなった。運動トレーニングによる血管新生(毛細血管数の増加)は、筋持久力やエネルギー代謝の向上をもたらす要因の一つである。従って、低酸素環境下で行う無酸素性トレーニング(レジスタンストレーニング、高強度インターバルトレーニング)は、常酸素環境下で行う無酸素性トレーニングよりも、健康増進や競技力向上に役立つ可能性があると思われる。

研究成果の概要(英文)：Previous study reported that anaerobic training (resistance training) under hypoxia might stimulate angiogenesis compared with that under normoxia. However, the underlying mechanisms of the training-induced angiogenesis have not been clarified. Therefore, we investigated the effects of acute anaerobic exercise under hypoxia on angiogenic regulators. Our study suggests that acute anaerobic exercise in hypoxic condition stimulates vascular endothelial growth factor (VEGF) secretion than that in normoxic condition.

研究分野：スポーツ生化学

キーワード：低酸素 運動 トレーニング 血管新生因子 ホルモン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

低酸素環境下での運動トレーニング(低酸素トレーニング)は、有酸素性パフォーマンスを向上させる有効なトレーニング方法として、主に持久力を必要とするスポーツ選手に導入されてきた。先行研究により、低酸素という刺激が、腎臓からのエリスロポエチン分泌を亢進させ、血液中のヘモグロビン量を増やし、活動筋への酸素運搬能力を向上させるといった低酸素トレーニングの適応メカニズムも立証されてきており、今や低酸素トレーニングは、持久系種目の競技力向上に必要不可欠なトレーニング方法となっている。一方、近年においては、低酸素環境下での無酸素性トレーニングが、常酸素環境下と比較し、無酸素性パフォーマンスの向上により効果的であることも報告されている(Kasai et al. 2015)。それゆえ、低酸素環境下での無酸素性トレーニングは、持久系種目以外のスポーツ選手にも応用できる新たなトレーニング方法として注目を集めている。

無酸素性トレーニングであるレジスタンストレーニングや高強度インターバルトレーニングが、筋パワーや筋持久力の向上など、骨格筋の機能的適応を引き起こすことはよく知られている。これまでに申請者ら(Kon et al. 2014)は、低酸素環境下で行うレジスタンストレーニングが、筋肥大や筋力の増加に加えて、常酸素環境下よりも筋持久力を向上させることを報告してきた。Manimmanakorn et al. (2013)もまた、低強度の負荷を用いた低酸素レジスタンストレーニングが、常酸素レジスタンストレーニングよりも筋持久力を向上させたことを報告している。また最近では、低酸素環境下での高強度インターバルトレーニングが、常酸素環境下と比較し、筋持久力をより向上させたことも報告されている(Faiss et al. 2013)。これらの結果は、低酸素環境下での無酸素性トレーニングが、常酸素環境下と比較し、筋持久力の向上により効果的であることを示唆している。

筋内のミオグロビン、ミトコンドリア、毛細血管の増加は、筋内の酸素取り込み能力、エネルギーや酸素の供給能力を高めるため、筋持久力の向上に深く関与している。近年、申請者ら(Kon et al. 2014)は、低酸素環境下での無酸素性トレーニングが、常酸素環境下と比較し、毛細血管数をより増加させることを初めて報告した。この結果は、低酸素環境下で行う無酸素性トレーニングによる筋持久力のより大きな向上には、筋内の毛細血管数の増加が関与していることを示唆している。しかし、低酸素環境下での無酸素性トレーニングが血管新生をより刺激するメカニズムに関しては、これまで全く明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究では、低酸素環境下での無酸素性トレーニングが血管新生をより刺激するメカニズムを解明するために、低酸素環境下で行う一過性無酸素性運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響について検討することを目的とした。この目的を達成するために以下の課題を設定した。課題 1-1: 低酸素環境下で行う一過性レジスタンス運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響について検討した。課題 1-2: 高齢者や子どもへの応用も想定し、負荷を低強度(50%1RM)に設定して、一過性低酸素レジスタンス運動に対する血管新生因子の応答を検討した。課題 2: 低酸素環境下で行う一過性高強度インターバル運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響について検討した。

3. 研究の方法

(1) 課題 1-1: 低酸素環境下で行う一過性レジスタンス運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響

健康成人男性 12 名を対象とし、常酸素環境および低酸素環境でレジスタンス運動を行った。レジスタンス運動は、ベンチプレスおよびレッグプレスとした。各被験者の上記 2 種目における最大挙上重量(1RM)を測定し、70%1RMを算出した。挙上重量 70%1RMを用いて、挙上回数 10 回、セット数 5 セット、セット・種目間休息 60 秒で上記 2 種目のレジスタンス運動を両環境下で実施した。低酸素環境下でレジスタンス運動を実施する際は、酸素濃度を 13.6%に設定して行った。各環境下でのレジスタンス運動は、4 週間以上の間隔をあけて実施した。運動前、運動直後、15 分後、30 分後、および 60 分後に肘静脈より採血を行い、血管内皮細胞増殖因子(VEGF)、マトリックスメタロプロテアーゼ(MMP)-2、MMP-9、およびエンドスタチンを測定した。

(2) 課題 1-2: 低酸素環境下で行う一過性低強度レジスタンス運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響

健康成人男性 7 名を対象とし、常酸素環境および低酸素環境でレジスタンス運動を行った。レジスタンス運動は、ベンチプレスおよびレッグプレスとした。各被験者の上記 2 種目における 1RM を測定し、50%1RM を算出した。挙上重量 50%1RM を用いて、挙上回数 14 回、セット数 5 セット、セット・種目間休息 60 秒で上記 2 種目のレジスタンス運動を両環境下で実施した。低酸素環境下でレジスタンス運動を実施する際は、酸素濃度を 13.6%に設定して行った。各環境下でのレジスタンス運動は、2 週間以上の間隔をあけて実施した。運動前、運動直後、および運動 30 分後に肘静脈より採血を行い、VEGF、MMP-2、MMP-9、およびエンドスタチンを

測定した。

(3) 課題 2: 低酸素環境下で行う一過性高強度インターバル運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響

健常男性 6 名を対象とし、常酸素環境および低酸素環境で高強度インターバル運動を実施した。高強度インターバル運動は、自転車エルゴメーターを用いて、30 秒間の全力ペダリングを 4 セット実施した。低酸素環境で高強度インターバル運動を実施する際は、酸素濃度を 13.6% に設定して行った。運動前、運動直後 30 分後、および 60 分後に肘静脈より採血を行い、VEGF、MMP-2、MMP-9、およびエンドスタチンを測定した。

4. 研究成果

(1) 課題 1-1: 低酸素環境下で行う一過性レジスタンス運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響

VEGF、MMP-2、MMP-9、およびエンドスタチンは、両環境下で運動前と比較し運動後で有意に増加した。低酸素環境下における運動直後の VEGF の変化率（運動前と比較）は、常酸素環境下と比較し、有意に高値を示した（図 1）。

以上の結果から、低酸素環境下で行う一過性レジスタンス運動は、常酸素環境下で行う同様の運動と比較し、VEGF の分泌を促進させる可能性が示唆された。

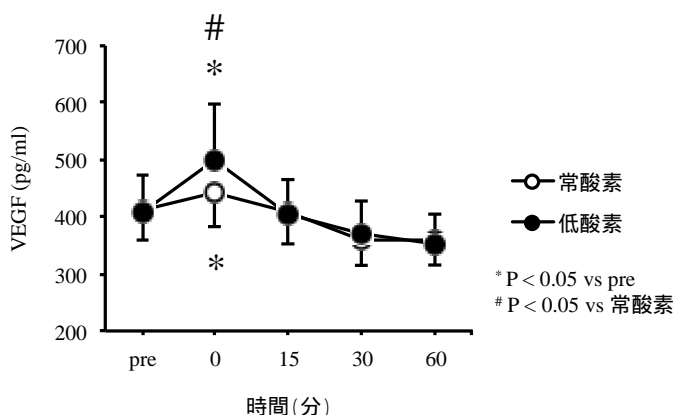


図1. VEGFの変化

(2) 課題 1-2: 低酸素環境下で行う一過性低強度レジスタンス運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響

VEGF、MMP-2、MMP-9、およびエンドスタチンは、両環境下で運動前と比較し運動直後に有意に増加した。しかし、その増加の程度（運動前に対する運動直後の変化率）に環境間での差は認められなかった。

以上の結果から、低酸素刺激は、低強度の一過性レジスタンス運動に対する血管新生因子の応答に影響を及ぼさない可能性が示唆された。

(3) 課題 2: 低酸素環境下で行う一過性高強度インターバル運動が、血管新生因子の分泌に及ぼす影響

VEGF、MMP-2、MMP-9、およびエンドスタチンは、両環境下で運動前と比較し運動後で有意に増加した。低酸素環境下における運動直後および運動 30 分後の VEGF の変化率（運動前と比較）は、常酸素環境下と比較し、有意に高値を示した。

以上の結果から、低酸素環境下で行う一過性高強度インターバル運動は、常酸素環境下で行う同様の運動と比較し、VEGF の分泌を刺激する可能性が示唆された。

本研究により、低酸素環境下で行う一過性レジスタンス運動および一過性高強度インターバル運動が、血管新生因子（VEGF）の分泌をより刺激することが明らかとなった。しかし、低酸素環境下における長期間の高強度インターバルトレーニングが骨格筋内の血管新生に及ぼす影響については明らかになっていない。今後検討して行く必要があると思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. Kon M, Ikeda T, Homma T, Suzuki Y. Responses of angiogenic regulators to resistance exercise under systemic hypoxia. J Strength Cond Res 2019. 印刷中 (査読あり). DOI: 10.1519/JSC.0000000000002695.

〔学会発表〕(計 3 件)

1. 今 有礼 . 低酸素トレーニングと筋肉・筋パワー . 第 21 回高所トレーニング国際シンポジウム 2018 , 岐阜 , 2018.

2. 今 有礼 . 低酸素環境で行う無酸素性運動・トレーニングの効果 . 第 69 回日本体育学会 , 徳島 , 2018.

3. 今 有礼 . 低酸素環境下での無酸素性運動・トレーニングによる生理的応答 . 第 27 回日本臨床スポーツ医学会学術集会 , 千葉 , 2016.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名 :

ローマ字氏名 :

所属研究機関名 :

部局名 :

職名 :

研究者番号 (8 桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名 :

ローマ字氏名 :

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。