

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：14403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750305

研究課題名(和文) 高所における運動能力低下の個人差発生機序の解明と安全な高所トレーニング法の提言

研究課題名(英文) The factor of individual difference of the magnitude of decrease in V02max in hypoxia

研究代表者

小川 剛司 (OGAWA, Takeshi)

大阪教育大学・教育学部・講師

研究者番号：70451698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は低酸素下での有酸素能力低下の個人差のメカニズムを呼吸筋活動に注目して解明するとともに、安全な高所トレーニング法の提言を目的として、一連の研究を行った。低酸素下での有酸素能力の低下の程度の個人差について、性差に注目したところ、女性は男性よりも換気の呼吸筋仕事効率が悪く、最大酸素摂取量が大きく低下する傾向にあることを明らかにした。さらに呼吸筋トレーニングによって、低酸素下での有酸素能力低下の程度が小さく抑えられる可能性を示した。低酸素下での有酸素能力低下の個人差は呼吸筋活動の影響を受け、呼吸筋トレーニングを行うことで、安全な高所トレーニングを行うことができる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：This project was aimed to clarified the mechanisms responsible for the individual difference of the magnitude of decrease in the maximal oxygen uptake (V02max) in acute hypoxia, especially focusing the respiratory muscle activity. At first, regarding gender, female showed that the lower ventilatory respiratory muscle work efficiency and grater decrease in V02max in hypoxia compared with male. Secondly, the magnitude of decrease in V02max in hypoxia became smaller by enhancing the respiratory muscle strength with the respiratory muscles training. The present results suggest that the individual differences in the decrease of aerobic capacity in acute hypoxia is influenced by respiratory muscle activity. Moreover, it is possibility that the respiratory muscle training could be applied for safyt altitude training.

研究分野：運動生理学

キーワード：低酸素 呼吸 呼吸筋 トレーニング 有酸素能力

1. 研究開始当初の背景

高所トレーニングは、持久的アスリートにおいて頻繁に行われているが、高所での有酸素能力の低下には大きな個人差があり、高山病に陥ったり、高所での活動時に事故が発生することがあり、高所での活動の課題となっている。低酸素下での最大酸素摂取量(VO_{2max})低下の程度は性差や体力特性などで異なる傾向があり、呼吸応答(換気量の高さ)が関係することが報告されている。一方で、呼吸に用いられる呼吸筋の活動の高さは運動時の活動筋への血流を制限する要因となる。呼吸筋仕事量も個人差の大きいことから、低酸素下での VO_{2max} 低下が少ない者では換気増大の程度が大きいだけでなく、換気量あたりの呼吸筋の仕事量が低いことが重要と考えられるが、これについては明らかでない。また、呼吸筋活動が低酸素下での VO_{2max} 低下と関係するならば、呼吸筋をトレーニングすることによって、運動時の換気の機械的な仕事効率が向上し、それに伴い低酸素下での有酸素能力低下の程度が改善される可能性や、高所トレーニングの高所滞在時の高山病リスクの軽減などが得られる可能性が考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、高所での有酸素能力低下の個人差発生メカニズムを運動時の換気および呼吸筋仕事量に注目して解明することで、安全な高所トレーニングの方策への提言を行うことを目的として3課題を設定した。課題1として低酸素下での有酸素能力低下の程度には男女差があるか、換気の機械効率と関係するかを検討した。課題2として低酸素下での運動時の活動筋酸素化動態は呼吸筋の仕事量高さの影響を受けるかを検討した。課題3として呼吸筋トレーニングを行い、呼吸筋トレーニング前後で換気の機械効率が向上することで、低酸素下での有酸素能力低下が軽減されるかを検討した。

3. 研究の方法

課題1：健康な大学生22名(男性14名：女性11名)を被験者として自転車エルゴメーターを用いて、通常酸素吸入条件(Norm)と低酸素吸入条件(Hypo：15%酸素濃度)の2条件において漸増負荷運動テストを行った。運動中は呼吸筋仕事量(WOB)を算出するために食道内圧(P_{es})と口腔内圧(P_m)の測定を行った。 P_{es} と P_m の差を胸腔内圧(P_{tp})として算出し、換気流量はニューモタコメーターを用いて、流速(Flow)を積分することで算出した。得られたデータから、WOBは P_{tp} と換気量を積分することによって算出した。最大酸素摂取量(VO_{2max})および最大換気量(VE_{max})を、呼気ガス分析器を用いて測定した。さらに得られた VO_2 、 VE 及びWOBから換気効率の指標である酸素換気当量(VE/VO_2)、及び換気の機械的な効率を示す WOB/VE を算

出した。動脈血酸素飽和度(SaO_2)は、パルスオキシメーターを用いて測定した。

課題2：被験者は、健康な男子学生5名であった。自転車エルゴメーターを用いて、運動中に通常酸素及び低酸素吸入をしながら、一定負荷運動テストを行った。運動強度は70% VO_{2max} 強度とした。 WOB 、 VO_2 、 VE 、 SaO_2 は実験と同様の方法を用いて測定した。活動筋の循環動態を調べるために、活動筋の酸素化動態を測定した。測定には、多チャンネル組織酸素計(NIRS)を用いた。運動開始とともにNIRSの測定を開始し、運動中の酸素化ヘモグロビン(oxyHb)、脱酸素化ヘモグロビン(deoxyHb)、総ヘモグロビン(TotalHb)および組織酸素飽和度(StO_2)を測定した。運動開始後、各パラメーターを安定させるために通常空気での6分間の運動を経て、通常空気吸入をしながら5分間(Air1)、続いて低酸素ガス吸入をしながら5分間(Hypo)、さらに通常空気吸入をしながら5分間(Air2)を行った。

課題3：呼吸筋活動が低酸素下での VO_{2max} に影響するならば、呼吸筋を鍛えることで低酸素下での VO_{2max} 低下は抑えられると考えられ、呼吸筋トレーニング前後で VO_{2max} 測定を行った。実験は、16名の健康な男女が4週間の吸気筋トレーニングを行った週に4回、呼吸筋力測定による最大吸気圧の50%になるような陰圧負荷をかけながら運動を行った(IMT群)。陰圧負荷をかけないで運動トレーニングのみを行うコントロール群(CONT群)と比較し、トレーニング前後で低酸素下での最大酸素摂取量(VO_{2max})低下の程度が軽減されるかを検討した。

4. 研究成果

課題1：本研究の被験者の VO_{2max} は男性のほうが女性よりも高かった。低酸素下において VO_{2max} は男女ともに有意に低下し、その VO_{2max} の低下率(%d VO_{2max})は、女性で男性よりも大きい傾向が見られ(図1)、低酸素下での有酸素能力低下の程度は女性の方が男性よりも大きいことが示唆された。

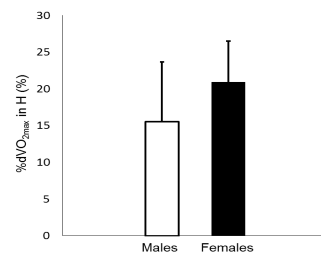


図1: 低酸素下での VO_{2max} の低下率

SaO_2 は男性と女性で同程度であり、低酸素下での低下の程度も同程度であったことから、血中酸素化レベルは VO_{2max} 低下の男女差の要因でないことが考えられる。一方、 VE_{max} は、低酸素下でも通常酸素下と差が見られなかったことから、WOBも男女とも低酸素下で有意な変化がなかった。しかしながら、最

大下運動時において、低酸素下での同一 VE に対する WOB は、女性で男性よりも高い傾向にあった。女性の方が男性よりも呼吸の機械的な効率が悪く、呼吸努力が高かったことが示唆され、女性における呼吸筋活動の大きな増加が低酸素下での VO_{2max} 低下の程度の男女差に影響したことが考えられる。事実、女性においてのみ、低酸素下での WOB/VE が低い者程、 $\%dVO_{2max}$ が小さかった(図 2; $r=0.72$)。

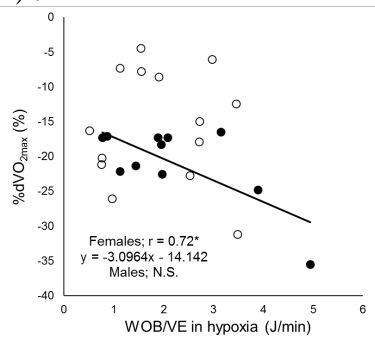


図 2: VO_{2max} の低下と低酸素下での呼吸の仕事の効率

の関係。○: 女性, □: 男性

課題 2: 一定負荷運動テストにおいて、 SaO_2 は低酸素吸入によって有意に低下し、 VO_2 は有意に低下した。VE は低酸素吸入によって有意に増加し、それに伴い WOB も増加した。WOB/VE は、低酸素吸入によって有意に増加したことから、低酸素下での高強度運動時は換気の機械的な効率が悪くなることが示唆された。NIRS の結果を図 3 に示す。 StO_2 は、低酸素吸入によって低下した。 $OxyHb$ は、低酸素吸入によって大きく低下したのに対して、 $DeoxyHb$ は増加したことから、低酸素吸入によって、活動筋の組織酸素化レベルは低下したことが示唆された。組織酸素化レベルの低酸素吸入時の低下は、動脈血の低酸素下によるものか、呼吸筋活動増加による、呼吸筋との血流の競合による血流低下によるものかは本研究からは明らかにできない。しかしながら、 $TotalHb$ は、低酸素吸入によって有意な変化は見られず、呼吸応答と酸素化動態との間に関係も見られなかった。以上の結果から、低酸素吸入によって、本研究の $70\% VO_{2max}$ 強度の運動では活動筋の組織酸素化動態は呼吸応答の影響を受けないことが示唆された。

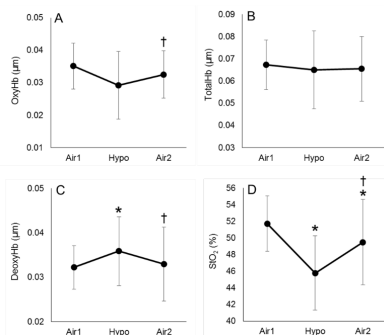


図 3: 活動筋組織酸素化動態の結果

課題 3: 最大吸気筋力の指標である、 PI_{max} および PI_{peak} は IMT 群, CONT 群ともにトレーニング後でトレーニング前よりも有意に増加したが、その増加の程度は IMT 群で CONT 群よりも有意に大きかった。

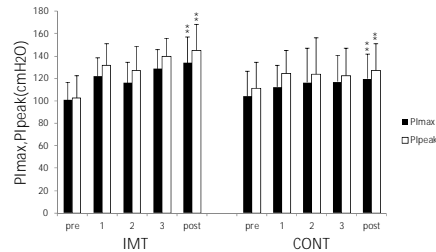


図 4: PI_{max} および PI_{peak} の結果 **; $p<0.01$, vs. pre

VO_{2max} は IMT 群, CONT 群ともにトレーニング前後において、通常酸素(N)条件及び低酸素(H)条件で増加する傾向にあった。低酸素下での VO_{2max} 低下率は IMT 群において呼吸筋トレーニングにより小さくなる傾向にあったが、CONT 群においてはトレーニング期間後に大きくなる傾向にあった。換気量は N 条件及び H 条件においてトレーニング前後において、IMT 群で有意に増加したが、CONT 群で変化はみられなかった。

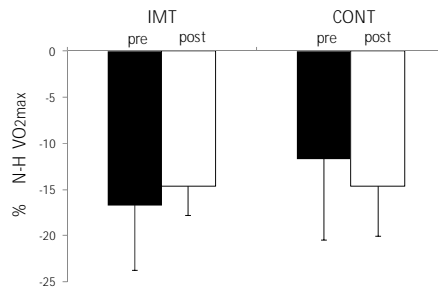


図 5: 呼吸筋トレーニング前後の VO_{2max} の変化率

疲労困憊までの自転車運動継続時間は、トレーニング前後において IMT 群で N 条件, H 条件ともに有意に増加し($p<0.01$), CONT 群は H 条件のみ有意に増加した。これらの結果から呼吸筋トレーニングによって高所での運動能力の低下の程度が歓喜の改善により抑えられる可能性があることが示唆された。

本研究の一連の研究課題の遂行により、低酸素下での有酸素能力低下には呼吸応答だけでなく呼吸筋の仕事量の高さが関係していること、有酸素能力の低下には男女差が見られ、呼吸筋活動が関係していること、呼吸筋トレーニングを行うことで、低酸素下での有酸素能力低下の程度がおさえられることが明らかとなった。本研究の結果により、高所での活動を行うとき、高所の影響には男女差があることから個人差を考慮する必要があること、呼吸筋トレーニングによって高所での活動における事故の発生を防ぐ

ことができる方策が考えられるなど、スポーツの現場に応用できる示唆が得られた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Takeshi Ogawa, Yasushi Ikuta, Pulmonary function and respiratory response during exercise in children, J Phys Fitness Sports Med 査読あり 3, 2014, 441-444
Teruhiro Hanamaru, Tsuyoshi Yoshikawa, Takeshi Nishiyasu, Takeshi Ogawa, Respiratory mechanics influence $\dot{V}O_{2max}$ in acute hypoxia in females, Extrem Physiol Med, 査読なし, 2015, 4(Suppl 1), A64

〔学会発表〕(計 5 件)

花圓晃洋, 吉川剛史, 渡辺将司, 小川剛司, 児童における呼吸筋力の発達に関する研究 第 69 回日本体力医学会大会, 2014, 9 月 19 日~21 日, 長崎
Teruhiro Hanamaru, Tsuyoshi Yoshikawa, Takeshi Nishiyasu, Takeshi Ogawa, Respiratory mechanics influence $\dot{V}O_{2max}$ in acute hypoxia in females and males, 16th International Conference on Environmental Ergonomics, 2015, 6 月 29~7 月 3 日, ポーツマス
花圓晃洋, 吉川剛史, 西保岳, 小川剛司, 低酸素下での呼吸応答が最大酸素摂取量低下の男女差に及ぼす影響, 第 70 回日本体力医学会大会, 2015, 9 月 23 日~25 日, 和歌山
小川剛司, 花圓晃洋, 西保岳, ヘリウム酸素吸入が漸増負荷運動時呼吸筋活動と酸素摂取量に及ぼす影響の性差, 第 71 回日本体力医学会大会, 2016, 9 月 23 日~25 日, 岩手
小川剛司, 低圧低酸素下での有酸素能力低下と呼吸応答, ARIHHP ヒューマン・ハイパフォーマンスフォーラム, 2017, 3 月 8 日, つくば

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 剛司 (OGAWA, Takeshi)
大阪教育大学・教育学部・講師
研究者番号: 70451698

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

西保 岳 (NISHIYASU, Takeshi)
筑波大学・体育系・教授
研究者番号: 90237751