

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：33707

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K19992

研究課題名(和文) 発声を伴う運動が誘発する血中二酸化炭素濃度上昇は酸化ストレスを軽減させるか？

研究課題名(英文) Does the increase in blood carbon dioxide concentration induced by vocalization during exercise reduce oxidative stress?

研究代表者

有川 一 (Arikawa, Hajime)

中部学院大学・スポーツ健康科学部・教授

研究者番号：10582174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：発声を伴う高強度運動実施中には、呼吸パターンの強制的な変化による換気量の抑制、血中二酸化炭素濃度上昇、活動筋の酸素飽和度の低下抑制(酸素供給量増加)傾向が確認されたが、生じた酸化ストレスには差はみられなかった。続く無発声の回復期では、ごく初期に換気量等の低下が抑制される傾向がみられたが、活動筋の酸素飽和度を含め、その他の指標に大きな影響を及ぼさなかった。これらの変化は「発声を伴う運動実施に慣れている者」の高強度運動時に特有のものであり、同者の中強度運動時や、「発声に慣れていない者」では生じなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「発声を伴う運動」によって活動筋への酸素供給量を意図的に増加させる可能性が推察されたが、発声に伴う「呼吸困難感」が生じるため長時間運動には適さないと考えられる。したがって、短時間運動にのみ適用するか、運動実施期間中の一部に適用することが現実的だと考えられる。一方で、剣道や空手道のように頻繁に発声を繰り返す運動種目では、活動筋への酸素供給量増加を活用したトレーニングが考案できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：During high-intensity exercise accompanied by vocalization, we observed reduced ventilation volume secondary to forced changes in respiratory patterns, increased blood carbon dioxide concentration, and tendency suppressed decline oxygen saturation of active muscles. However, oxidative stress remained unchanged. During the subsequent recovery period of no vocalization, we observed that the decrease in ventilation volume was slightly reduced at the early stage; however, it did not significantly affect other indicators including oxygen saturation of active muscles. These changes were specifically observed in “those who were accustomed to performing exercises with vocalization” during high-intensity exercise and did not occur during medium-intensity exercise or in “those unaccustomed to vocalization.”

研究分野：スポーツ科学

キーワード：運動 発声 血中二酸化炭素濃度 酸素飽和度 筋酸素状態 酸化ストレス

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々は日常生活やスポーツ実施の多くの場面で「声」を出しているが、「運動中の発声」に関する報告は、随意的筋力発揮中に「掛け声」をかけることで心理的限界以上の筋力発揮ができること、発する声の周波数により握力の筋発揮状態が異なることが見られる程度であり、呼吸系および循環系に関する報告はほとんどない。

申請者は、これまでに「運動実施中の発声が呼吸・循環系に及ぼす影響」について実験を繰り返した結果、間欠的運動・継続的運動に関わらず、運動実施中の発声は換気状態を変化させ、特に呼気終末 CO₂ 分画 (= 血中 CO₂ 濃度) を上昇させるため、循環動態に影響を及ぼすことが明らかとなってきた。特にハンドエルゴメーターを用いた上肢運動の結果からは、末梢組織における酸素化ヘモグロビンの脱酸素化比率の増加 (= 酸素供給割合の増加) を運動実施中の発声によって意図的に引き起こせる可能性が示唆された。

近年、機能的近赤外分光装置 (fNIRS) を用いて活動筋の酸素飽和度が測定できるようになり、高い持久力を持つ運動選手の筋は酸素飽和度の低下が緩やかであること等が報告されている。これを踏まえ、ハンドエルゴメーターを用いた上肢運動のみを対象とし、運動実施中の発声が引き起こす血中 CO₂ 濃度上昇が活動筋の酸素飽和度に及ぼす影響について予備実験を実施した。この結果、発声を伴う運動実施中においては、活動筋 (上腕三頭筋) の酸素飽和度の低下が抑制される傾向が見られ、一方、その運動終了後の発声を伴わない回復期においては、逆に増加を抑制される傾向が見られた。運動実施中は、筋で消費される O₂ が速やかに補給されることによって低下が抑制されると解釈できる。一方、回復期では、発声による CO₂ 排出量抑制が解除されて血中 CO₂ 濃度も低下を示すことから、酸素化ヘモグロビンから O₂ が解離する割合が急激に低下し、これが筋の酸素飽和度上昇の抑制を誘発していることが推察された。

一方で、生体内の組織では、虚血-再灌流 (低酸素状態-急激な酸素供給) によって活性酸素種が過剰産生され、酸化ストレスが増大することが知られている。これは活動筋においても同様である。しかし「発声を伴う運動実施」ならば、運動実施中には活動筋に O₂ が速やかに補充される一方で、運動後には急激に O₂ が供給されない傾向が見られるため、活動中と回復期における筋への酸素供給量格差の軽減ができ、酸化ストレスを軽減する可能性がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、発声を伴う運動実施中とこれに続く無発声の回復期における血中の酸素飽和度、活動筋の酸素飽和度、血液中の酸化ストレスマーカー等を測定することによって、「運動中の発声によって誘発される血中 CO₂ 濃度上昇」が引き起こす末梢組織への O₂ 供給状態の変化が酸化ストレスへ及ぼす影響を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) 研究対象者

日常的に運動を実施している男子大学生 15 名が参加した。この内訳は、発声を伴う運動に慣れている者 (剣道経験者) 9 名と、慣れていない者 6 名であった。参加者には、測定 24 時間前から激しい運動やアルコール摂取を避けるとともに、測定 2 時間前からは絶食をするよう依頼した。

(2) 手順

事前に自転車エルゴメーターを用いた上肢運動にて最高酸素摂取量 (VO₂peak) を測定した上で、80%VO₂peak 負荷ならびに 60%VO₂peak 負荷にて自転車エルゴメーターによる上肢の持続的運動 (60 rpm) を 3 分間実施し、その後 5 分間の安静回復期をとった。このプロトコールにおける運動実施中に、発声を行う試技と発声を行わない試技の 2 種類を実施した。発声の方法は上肢の動作に合わせた号令とし、最初の 4 呼間を「1(イチ), 2(ニー), 3(サン), 4(シー)」と発声、続く 4 呼間を無発声とするパターンを繰り返した。なお、運動実施後の 5 分間の回復期には発声を行わなかった。

(3) データの収集

分時換気量、呼気終末 CO₂ 分画等の換気指標、心拍数および上腕三頭筋の筋酸素状態を運動前から運動終了 5 分後まで 1 分間隔で測定するとともに、経皮的酸素飽和度、酸化ストレス (d-ROMs)、主観的運動強度 (RPE) を運動直前、運動直後、運動終了 5 分後に測定した。加えて、血中乳酸濃度を運動直前と運動終了 5 分後に測定した。

(4) データの分析

各測定値については、運動実施前の値を基準とした変化量を用いて分析を行った。各測定値の代表値については、主観的運動強度については中央値と四分位範囲を用い、その他は平均値と標準誤差を用いた。各運動強度における発声時と無発声時の代表値の比較にはノンパラメトリック検定のウィルコクソンの符号付順位和検定を行い、有意水準は 5% とした。また、Z 値とサンプル数を基に効果量を算出し、0.1~0.3 を「小さい」、0.3~0.5 を「中程度」、0.5 以上を「大きい」とした。

4. 研究成果

運動実施中の発声に「慣れている者」と「慣れていない者」では結果に大きく差がみられたためこの両者を分けるとともに、それぞれを「発声を伴う運動実施中」と「無発声の回復期間」に分けて分析を行った。

(1) 運動実施中の発声に慣れている者の場合

a. 発声を伴う運動実施中

80%VO_{2peak} 負荷では、換気量が有意に低値($P < 0.05$)、呼気終末 CO₂ 分画(≒血中 CO₂ 濃度)が有意に高値($P < 0.05$)を示すとともに、経皮的酸素飽和度および筋酸素状態の低下抑制傾向(効果量大)が確認されたため、発声によって換気量が抑制され血中 CO₂ 濃度が上昇し、これに伴い活動筋に多くの O₂ が供給されたことが考えられた(図 1)。

60%VO_{2peak} 負荷では、換気量がやや抑制される傾向がみられたが、呼気終末 CO₂ 分画、経皮的酸素飽和度および筋酸素状態には差が確認できなかったため、発声による換気量の抑制はわずかであり、血中 CO₂ 濃度や活動筋への O₂ 供給量は大きく変化しないことが考えられた。

また、いずれの運動強度においても、主観的運動強度(RPE)が高値を示す傾向が認められ、研究対象者の所感から発声に伴う呼吸困難感が関与していることが推察された。加えて、酸化ストレス(d-ROMs)が高値を示す傾向(ただし基準範囲内)がみられたため、呼吸困難感が酸化ストレス発生の誘因となっている可能性が考えられた。血中乳酸濃度については、80%VO_{2peak} 負荷時には差がみられず、60%VO_{2peak} 負荷時に高値を示す傾向があったことから、強度に関わらず発声による呼吸困難感と嫌氣的代謝促進が関連していること、加えて、80%VO_{2peak} 負荷時の O₂ 供給量増加によって好氣的代謝の促進が生じていることが推察された。

これらのことから、発声を伴う運動が誘発する血中 CO₂ 濃度上昇は、80%VO_{2peak} 負荷では活動筋への O₂ 供給量を増加させる傾向がみられたが、60%VO_{2peak} 負荷ではこれが生じないことが明らかとなった。また、運動強度に関わらず酸化ストレスが生じるがいずれも基準範囲内であることが明らかになるとともに、運動実施中の発声により主観的運動強度が増加するため長時間の運動は困難であることが推測された。したがって、「発声を伴う運動」によって活動筋への O₂ 供給量増加が生じる可能性はあるが、この効果は短時間運動に限定されることが考えられた。

b. 無発声の回復期間

運動実施中の運動強度に関わらず、換気量、呼吸数、CO₂ 排出量が回復期の初期にやや低下が抑制される傾向がみられた。その一方で、呼気終末 CO₂ 分画、筋酸素状態および酸化ストレス(5 分後)には大きな差は認められなかった(図 1)。これらのことから、運動実施中の発声に伴う血中 CO₂ 濃度上昇は、運動後回復期における活動筋への酸素供給量、酸化ストレス発生には大きな影響を及ぼさないと考えられた。

(2) 運動実施中の発声に慣れていない者の場合

a. 発声を伴う運動実施中

80%VO_{2peak} 負荷においては、発声に慣れている者のような換気量の抑制はみられず、発声による換気抑制が生じなかった。一方で、呼気終末 CO₂ 分画は発声に慣れている者と同様に有意に高値を示したが、活動筋の筋酸素状態には差がみられなかったことから、血中 CO₂ 濃度の上昇は酸素解離状態に影響を及ぼすレベルではなかったと考えられた。

60%VO_{2peak} 負荷においては、換気量の抑制および呼気終末 CO₂ 分画の上昇は確認できず、活動筋の筋酸素状態にも差がみられなかった。

いずれの運動強度においても、発声に慣れている者と同様に主観的運動強度(RPE)の上昇が観察されており、息苦しさを訴えた研究参加者が多かったことから、発声に伴う「呼吸困難感」が生じていたことが推測された。したがって、この「呼吸困難感」によって発声が抑制され、換気抑制が生じなかったものと考えられた。

b. 無発声の回復期間

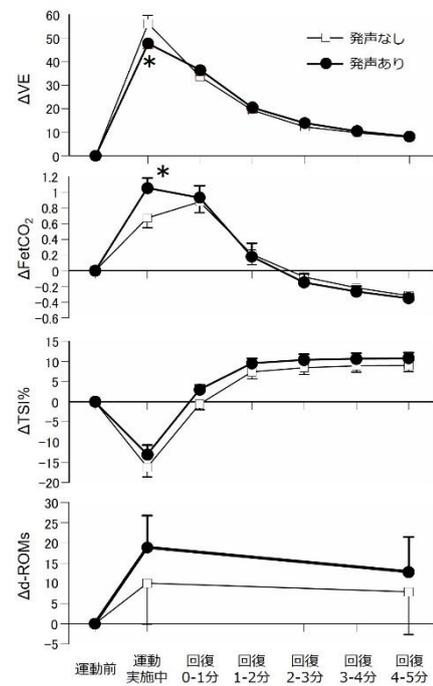


図 1 80%VO_{2peak} 負荷運動時および回復期における「発声に慣れている者」の各測定値の推移
 ΔVE: 分時換気量の変化量, ΔFetCO₂: 呼気終末 CO₂ 分画の変化量, ΔTSI%: 活動筋の酸素飽和度の変化量, Δd-ROMs: 酸化ストレスの変化量
 値は平均値と標準誤差, *: $P < 0.05$

いずれの運動強度においても運動実施中に換気量等の明確な抑制が生じなかったにも関わらず、発声に慣れていない者の場合と同様に、回復期間の初期において換気量、呼吸数および CO₂ 排出量にやや低下が抑制される傾向がみられた。その一方で、こちらも発声に慣れていない者の場合と同様に、呼気終末 CO₂ 分画、筋酸素状態および酸化ストレス(5分後)には大きな差は認められなかった。したがって、運動実施中と同様に、運動後回復期においても大きな影響は生じないことが考えられた。

これらのことから、運動実施中の発声に伴って血中 CO₂ 濃度上昇、筋酸素状態の低下抑制傾向が確認されたが、発生した酸化ストレスには差がみられなかった (いずれも基準範囲内)。また、続く発声を伴わない運動後回復期においては、これらの変化が速やかに消失することが考えられた。ただし、これらは「発声に慣れている者」の 80%VO_{2peak} 負荷運動時の特有の変化であり、「発声に慣れている者」の 60%VO_{2peak} 負荷運動時および「発声に慣れていない者」の場合には上記の変化が生じないことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 有川 一, 寺田知新, 山田加奈子, 高橋哲平, 今井 一, 松岡敏男, 恵良聖一
2. 発表標題 発声を伴う持続的運動が筋酸素状態および酸化ストレスに及ぼす影響
3. 学会等名 第75回 日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hajime Arikawa, Tomoyoshi Terada, Kanako Yamada, Teppei Takahashi, Hajime Imai, Toshio Matsuoka, Seiichi Era
2. 発表標題 Does high-intensity sustained exercise with vocalization lead to increased oxidative stress as well as increased oxygen supply to active muscles?
3. 学会等名 The 98th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有川 一, 寺田知新, 山田加奈子, 高橋哲平, 今井 一, 恵良聖一
2. 発表標題 発声を伴う中・高強度持続的運動が筋酸素状態および酸化ストレスに及ぼす影響
3. 学会等名 第68回 日本教育医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hajime Arikawa, Tomoyoshi Terada, Kanako Yamada, Teppei Takahashi, Hajime Imai, Seiichi Era
2. 発表標題 Effects of medium- and high-intensity sustained exercise with vocalization on ventilatory dynamics and muscle oxygen status - cases of subjects unaccustomed to vocalization during exercise -
3. 学会等名 The 99th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------