

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750333

研究課題名(和文)ハイパーベンチレーションは繰り返しハイパワー運動のパフォーマンス向上に有効か？

研究課題名(英文) Hyperventilation as a strategy for improved performance of intermittent high-intensity exercise

研究代表者

坂本 彰宏 (SAKAMOTO, Akihiro)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・ポスドク

研究者番号：70615434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：繰り返しハイパワー運動ではH⁺の蓄積(代謝性アシドーシス)が筋疲労の主な要因である。本研究はハイパーベンチレーション(HV)を運動セット間のインターバル期に行い、呼吸性アルカローシスを誘発させることで疲労を軽減できるかについて検証した。

HVは繰り返し最大ペダリングやレジスタンス運動(ベンチプレス・レッグプレス)で有効であり、セット経過に伴うパフォーマンス低下を軽減した。しかしその有効性は、HVの実施時間・運動様式・アシドーシスレベルによって異なり、使用方法や状況が最適でない場合はパフォーマンス低下を招く結果も得られた。更なる研究を重ね、HVの有効性が最大となる状況を明らかにしていく必要がある。

研究成果の概要(英文)：During repeated sets of high-intensity exercise, the accumulation of hydrogen ions (and the resulting intramuscular acidosis) is a main mechanism for muscle fatigue. This study investigated whether hyperventilation (HV)-induced respiratory alkalosis, implemented during inter-set recovery would attenuate the performance decrement associated with fatigue.

HV has been found to be effective in attenuating performance decrement during repeated short pedaling sprints and resistance training (bench press & leg press). The effectiveness of HV however varied depending on the duration of HV, the types of exercise and the level of acidosis incurred during the exercise. If these conditions are not appropriate, one may lose performance due to the negative effects of HV such as impaired hemodynamics in the periphery and the brain. Further research is warranted to clarify ideal conditions for maximized or consistent efficacy of HV.

研究分野：運動生理学

キーワード：呼吸性アルカローシス 筋疲労 中枢疲労 パワー EMG

1. 研究開始当初の背景

繰り返しハイパワー運動では無酸素性エネルギー供給が活発に行われ、水素イオンの蓄積(代謝性アシドーシス)による筋の興奮収縮連関の阻害や解糖系酵素活動の低下が疲労の主要因と考えられている(Green 1997)。ハイパーベンチレーション(HV)を行うと、二酸化炭素を過度に排出し、呼吸性アルカローシスを誘発できる。また神経・筋興奮を増加させる。これらのHV効果が代謝性アシドーシスによる疲労作用を打ち消し、セット経過に伴うパフォーマンス低下を阻止・軽減できるのではと考えた。また、繰り返しハイパワー運動では重度の疲労感により筋の収縮指令自体を低下させる“中枢疲労”が頻繁に発生する。中枢疲労は、疲労感を紛らわす他の軽い運動(diverting activity)をリカバリー中に行うことで軽減でき、これを Setchenov Phenomenon と呼ぶ(Asmussen and Mazin 1978)。HV は意図的に呼吸筋の活動を増加させる為、これが diverting activity として作用し Setchenov Phenomenon によってパフォーマンスの低下を軽減できるとも考えた。

これらの理論を基に、我々は以前に 10 秒 × 10 セットの繰り返し最大ペダリング運動(セット間のインターバル 60 秒)を対象とし、自然呼吸(コントロール)とHV条件(インターバル後半 30 秒でHV)でパフォーマンス(ペダリング回転数)を比較した。その結果、運動セット開始前に行うHVは自然呼吸条件と比較し、運動中の血中 pH 及びパフォーマンスの低下を軽減し、パフォーマンス向上に有効であることが実証された(図1)。

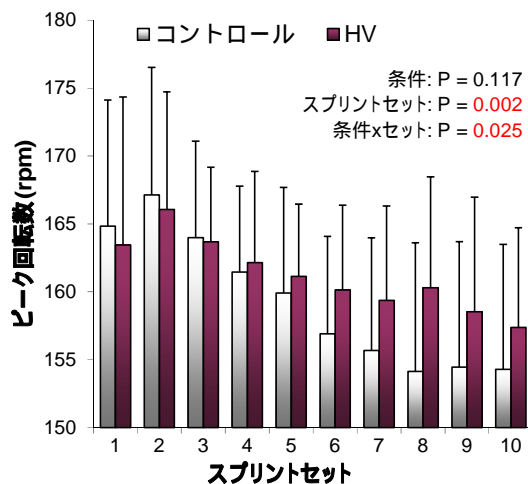


図1. コントロール(自然呼吸) vs. HV条件におけるピークペダリング回転数(rpm).

しかし、この研究は先行的である為、トレーニングやスポーツ現場での応用性を確定するには、様々な運動様式及びHV法を用いた再検証が必要である。

2. 研究の目的

(1) スピード系のペダリング運動から、高筋力発揮によるハイパワー運動へ着眼点を

移し、膝伸展筋群による等速性最大運動でのピークトルクやレジスタンス運動での最大レップ数をコントロール vs. HV 条件で比較する。

(2) HVの有効性が示された前述の繰り返し最大ペダリング運動を再度対象とし、HVの実施時間を60秒インターバルの残り30秒間から、15秒間に短縮・45秒間に延長した場合でのHV効果を検証し、至適実施時間を解明する。

(3) 血中乳酸(塩)濃度([La⁻])や血液ガス分圧(pH & PCO₂)を計測し、HVの代謝的効果の確認やパフォーマンス向上に有効と成り得る生体状況を明確にする。また、筋電図から筋興奮の増大効果についても検証する。

3. 研究の方法

(1) **【等速性最大膝伸展運動】**片脚 60度/秒(12レップス*8セット)、逆脚 300度/秒(25レップス*8セット)。セット間インターバル 40秒。**呼吸条件:** CON 通常呼吸で回復 vs. HV インターバル後半 30秒間でHV(60呼吸/分、P_{ET}CO₂ = 20-25mmHg)。**被験者:** パワー系アスリート 15名。**測定項目:** ピークトルク、EMG振幅(内・外側広筋)、血中[La⁻]・pH・PCO₂。

【レジスタンス運動】ベンチプレス・レッグプレスを80%1RMの負荷で6セットずつ実施(各セット挙上できなくなるまで)。セット間インターバル 5分。**呼吸条件:** CON(通常呼吸)とHV(インターバル残り30秒、P_{ET}CO₂ = 15-25mmHg、不快を感じない最大量で)をセット毎に交互で実施。Protocol A = 奇数セット開始直前でHV。Protocol B = 偶数セット開始直前でHV。**被験者:** パワー系アスリート 11名。**測定項目:** 最大レップ数、血中[La⁻]・pH・PCO₂。

(2) **【繰り返し最大ペダリング】**10秒×10セット。セット間インターバル 60秒。**呼吸条件:** CON(通常呼吸) vs. HVshort(インターバル残り15秒間でHV) vs. HVlong(インターバル残り45秒間でHV)。**被験者:** パワー系アスリート 17名。**測定項目:** 各セット毎のピーク・平均ペダリングパワー、EMG振幅(外側広筋)、血中[La⁻]・pH・PCO₂。

4. 研究成果

(1) **等速性最大膝伸展運動**では、HVの有効性は60度/秒の1st & 4thセット開始直後で観られ、ピークトルクがCONよりも高い値となった。しかし、他のタイムポイント及び300度/秒においてHVの有効性は確認できなかった。またEMG振幅への影響も観られなかった。本実験は単関節コンセントリック運動であった為、血中pHの低下は7.35程度であった。HV効果が明確に現れた原因として、運動

中の pH 低下が軽度であった事やアスリートを対象とした事により、酸緩衝やモチベーションの維持が HV をしなくとも通常呼吸で効果的に成された為と考えられる。

レジスタンス運動では、HV は先行の CON セットと比べレップ数を維持(ベンチプレス)、又は増加させた(レッグプレス)。一方、CON セットのレップ数は先行の HV セット時よりも常に減少した。6 セットの合計レップ数(Protocol A + B) はベンチプレス&レッグプレス共に HV の方が CON より多かった(図 2)。運動中の血中 pH 低下と[La⁻]上昇は、レッグプレスの方がベンチプレスよりも大きかった(pH : 7.303 ± 0.055 vs. 7.340 ± 0.030、[La⁻] : 9.82 ± 2.66 vs. 6.87 ± 1.47 mM)。

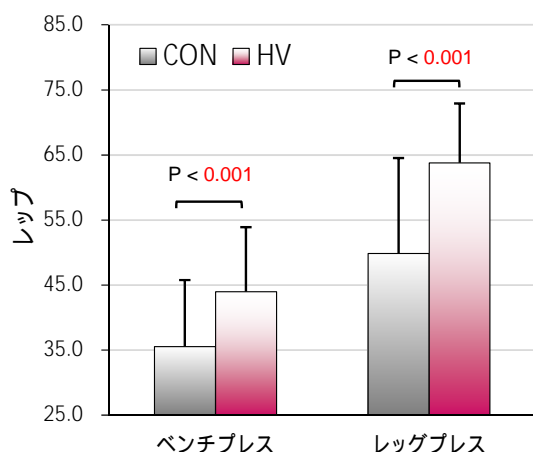


図2. 合計レップ数(Protocol A + B).

これらの結果から、レジスタンス運動のインターバル期に HV を行うと疲労によるレップ数低下を軽減・阻止でき、その効果は代謝性アシドーシスレベルの高いレッグプレスでより明確であることが解った。

(2) **繰り返し最大ペダリング運動**では、HV の実施時間が 15 秒に短縮・45 秒に延長された場合、ペダリングパワーへの効果が個人間で大きくバラつき、responders と non-responders が生じる結果となった。HV は pH の上昇や筋興奮の増加など、パフォーマンス向上効果を持つ一方で、筋や脳への血流低下や細胞の O₂ uptake を低下させる等、有酸素性エネルギー代謝を阻害する負の効果を持つ。繰り返しハイパワー運動では、運動中の筋収縮に無酸素性エネルギー供給が大半を担うが、リカバリー中の ATP 再合成は有酸素的に行われる。つまり、酸緩衝効果は HVshort では小さく HVlong では大きい、しかし有酸素性リカバリーの阻害は HVshort で小さく HVlong で大きいと、どちらも得失の二面性を持つ。先行研究で有意な HV 効果を示した 30 秒間の実施時間では、HV のパフォーマンス向上効果が酸素動態の低下を上回り、至適な実施時間に最も近かったと考えられる。また Responders と non-responders とに

分かれる更なる要因として、HV の実施時の不快感や運動中の代謝性アシドーシスレベルが挙げられる。HV による呼吸量の増大が不快に感じる場合、Setchenonov Phenomenon による中枢奮起よりも、中枢疲労を増大させる効果となってしまう。実際に non-responders には HV を不快に思う被験者が多かった。また、運動中の血中 pH 低下や[La⁻]上昇のレベルと、HV のパフォーマンスへの効果に有意な相関関係が観られ、HVshort・HVlong 共に、無酸素性パワー出力にチャレンジし、代謝性アシドーシスレベルが大きかった被験者が responders になり、それを満たしていない被験者は HV の負の効果が上回り non-responders になる傾向が観られた。

本研究の総合結果として、繰り返しハイパワー運動のインターバル期に行う HV は、実施時間・運動様式・アシドーシスレベルが適した状況ではパフォーマンス向上に有効となるが、誤った状況では効果がない・パフォーマンスを低下させる事が解った。しかし、HV は瞬時に実施・中止が可能であり、状況に応じて使用判断を変更できる。その為、利便性は高いと言える。

<引用文献>

Asmussen E and Mazin B. "Recuperation after muscular fatigue by diverting activities." Eur J Appl Physiol (1978) 38(1): 1-7.

Green H J. "Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise." J Sport Sci (1997) 15(3): 247-256.

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)

Sakamoto A, Naito H and Chow CM. "Hyperventilation-induced respiratory alkalosis falls short of countering fatigue during repeated maximal isokinetic contractions" Eur J Appl Physiol (2015) 115(7): 1453-1465 (査読有)。

Sakamoto A, Naito H and Chow CM. "Hyperventilation as a strategy for improved repeated sprint performance" J Strength Cond Res (2014) 28(4): 1119-1126 (査読有)。

〔学会発表〕(計 4 件)

【国内】

坂本彰宏, 内藤久士, Chin-Moi Chow. "繰り返し最大運動のパフォーマンスに有効となるハイパーベンチレーション"

ン実施時間の解明" 日本体力医学会大会, 2014年9月19-21日, 長崎大学.

坂本彰宏, 内藤久士. "過換気が繰り返し等速性最大筋収縮運動のパフォーマンスとEMGに及ぼす効果" 日本体力医学会大会, 2013年9月21-23日, 東京都千代田区・学術総合センター.

【国外】

Sakamoto A, Naito H and Chow CM. "Effects of short vs. long hyperventilation on repeated sprint performance and muscle activation" Australian Conference of Science and Medicine in Sport, 2014年10月15-18日, オーストラリア キャンベラ.

Sakamoto A and Naito H. "Hyperventilation as a strategy for improved repeated sprint performance" Asics Conference of Science and Medicine in Sport, 2013年10月22-25日, タイ王国 プーケット.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂本 彰宏 (SAKAMOTO, Akihiro)
順天堂大学・スポーツ健康科学部・
ポスドク
研究者番号: 70615434