

氏名	西脇 雅人
学位の種類	博士（体育学）
学位記番号	第19号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	平成23年3月24日
学位論文題目	Vascular adaptations to hypobaric hypoxic training in postmenopausal women
論文審査委員	主査 山本 正嘉 副査 荻田 太 副査 齊藤 和人

論文概要

The objective of this study was to examine the effects of exercise training in hypoxia on arterial stiffness and flow-mediated vasodilation (FMD) in postmenopausal women. Sixteen postmenopausal women (56 ± 1 years) were assigned to a normoxic exercise group (Normoxic group, $n = 8$) or a hypoxic exercise group (Hypoxic group, $n = 8$). The Hypoxic group performed exercise under hypobaric hypoxic conditions corresponding to 2000 m above sea level, and was exposed to these conditions for 2 h per session. Aquatic exercise was performed at an intensity of around 50% peak oxygen uptake for 30 min, 4 days per week, for 8 weeks. Arterial stiffness was assessed by brachial-ankle pulse wave velocity (baPWV), and FMD was evaluated by peak diameter of the popliteal artery during reactive hyperemia. After the 8 weeks of training, the Normoxic group showed no significant changes. In contrast, baPWV ($P < 0.05$) was significantly reduced and peak diameter ($P < 0.05$) and %FMD ($P < 0.01$) were significantly increased in the Hypoxic group after training. These results suggest that exercise training under mild intermittent hypoxic conditions could more effectively reduce arterial stiffness in postmenopausal women, compared with exercise training performed at the same relative intensity under normoxic conditions. Our data also indicate that hypoxic exercise training may induce vascular functional adaptation, for example an increase in FMD response. These findings therefore could have important implications for the development of a new effective exercise prescription program.

論文概要

【目的】

動脈ステイフネスの増大は、心血管疾患発生の増加と関連があると考えられている。一般に、閉経後女性の動脈ステイフネスは高値を示すことから、女性の心血管疾患リスクを低減させるという点において、閉経後女性の動脈ステイフネスの増大を予防、あるいは改善することは重要である。

近年、低酸素ガスを急性的に吸入すると動脈ステイフネスが有意に低下することが報告されている。また、定期的な有酸素運動は、動脈ステイフネスの低下、あるいは血流依存性血管拡張応答（FMD）の増加を引き起こすことが広く認められている。したがって、低酸素環境下での運動トレーニングは、より効果的に血管の適応（すなわち、動脈ステイフネスの低下）を引き起こす可能性があると考えられる。

対照的に、先行研究では、慢性的な中程度の低酸素環境への曝露（海拔 5260m）によって健康な成人でさえも血圧が有意に上昇すること、低酸素曝露（海拔 2500m 以上、4 時間以上）と持続的な身体活動によって急性の高山病が発症する場合があることも報告されている。しかしながら、こうした生

理応答は、曝露される低酸素レベルの程度、曝露期間、低酸素環境下での身体活動の強度や種目によって異なることが知られている。実際に、いくつかの先行研究では、軽度な高所への滞在（おおよそ海拔2000m）や間欠的な低酸素曝露の場合、血圧の有意な上昇が認められないことが報告されている。

そこで、本研究は、軽度で間欠的な低酸素環境下における低強度の運動トレーニングが閉経後女性の動脈スティフネス、およびFMDに与える影響について検討することを目的とした。

【方法】

閉経後女性16名（56 ± 1歳）を2群に分け、1群は常圧常酸素環境（常酸素群、n = 8）、もう1群は海拔2000m相当の低圧低酸素環境下（低酸素群、n = 8）で、水中運動トレーニングを行った。トレーニングは、どちらの群もあらかじめ常圧常酸素環境で測定された50%VO₂peak強度運動時の心拍数レベルにおける運動を1回30分、週4回の頻度で8週間行われた。なお、低酸素群は1回のトレーニングで低圧低酸素環境へ2時間曝露された。水中運動は、ウォーキング、ジャンプ、ステップング、キックなどで構成された規定のアクアビクスとし、水位は胸骨剣状突起レベルの高さとなるように設定した。トレーニング前後に、最高酸素摂取量、安静時の血圧と心拍数、上腕-足首間の脈波伝播速度（baPWV）、安静時および反応性充血時の膝窩動脈血管径を測定し、比較した。

【結果と考察】

8週間のトレーニング後、最高酸素摂取量はどちらの群においても有意な変化は認められなかった。血圧や動脈スティフネスなど心血管系の諸指標についてみると、常酸素群ではすべての指標に有意な変化は認められなかった。一方、低酸素群では、安静時の血圧や心拍数に有意な変化は認められず、動脈スティフネスの指標であるbaPWV(P<0.05)が有意に低下していた。さらに、安静時の膝窩動脈血管径に有意な変化は認められなかったが、反応性充血時の膝窩動脈最大径(P<0.05)と%FMD(P<0.01)が有意に増大していた。これらの結果から、低酸素と運動の複合的な刺激がFMDを増大させるような血管の機能的な変化を引き起こした可能性が推察されるとともに、こうした変化によって動脈スティフネスの低下を部分的に説明できるといえよう。

【結論】

以上のように、軽度で間欠的な低酸素環境下での運動トレーニングは、常酸素環境下で同一相対強度の運動を実施する場合と比較して、より効果的に閉経後女性の動脈スティフネスを低下させ得ることが示唆された。また、我々のデータは、低酸素環境下での運動トレーニングがFMDを増大させるような血管の機能的な適応を引き起こす可能性を示していた。したがって、こうした所見は、新しい効果的な運動処方プログラムの開発という点において重要な示唆を与え得るものである。

論文審査の要旨

本研究は、間欠的な低酸素環境下における低強度の運動トレーニングが閉経後女性の動脈スティフネス、および血流依存性血管拡張応答（FMD）に与える影響について検討することを目的とした。その結果、低酸素環境下での運動トレーニングは、常酸素環境下で同一相対強度の運動を実施する場合と比較して、より効果的に動脈スティフネスを低下させると同時に、血管拡張能を増大させるような血管の機能的な適応を誘発する可能性が示唆された。以上の審査対象の論文について、そのオリジナリティー、本研究に至るまでの研究背景、先行研究の理解度と本研究の関連性、用いた方法の妥当性、対象者の特性とトレーナビリティ、この領域における結果の貢献度などの観点から論文審査を行った。