

周期的低圧低酸素環境下の持久性および 自重運動が食後高血糖抑制効果に与える影響

広島工業大学 西村 一樹
(共同研究者) 同 長崎 浩爾

Effects of Periodic Hypobaric and Hypoxic Environment Systems on Postprandial Hyperglycemia During Endurance Exercise and Calisthenics

by

Kazuki Nishimura, Koji Nagasaki
Hiroshima Institute of Technology

ABSTRACT

We developed a periodic pressure-controlling system to mimic a hypobaric hypoxic environment in a chamber. The characteristics of this system varied between decreased pressure at an altitude of 1,500 m for 180 seconds and increased pressure at an altitude of 0 m for 180 seconds. The present study aimed to determine the relationship between exercise in the periodic hypobaric hypoxic environment (PHHE) and physiological responses evaluated using an oral glucose tolerance test. This study included 2 groups of 13 (Experiment 1) and 8 (Experiment 2) healthy men, who provided written informed consent for participation in the study. All subjects performed an oral glucose tolerance test for 120 minutes and two exercise tests: endurance exercise (Experiment 1) and calisthenics (Experiment 2). The endurance exercise test consisted of 40% maximal oxygen intake for 18 minutes. The calisthenics test included performance of 3 sets of squat exercises (10 squats/set). We established three experimental conditions: exercise in PHHE system (periodic condition), at an altitude of 750 m (fixed condition), and at an altitude of 0 m (control condition). In the periodic condition, the atmospheric pressure was changed periodically from 967 to 817 hPa (external

pressure was 1,008 hPa). In the fixed condition, the atmospheric pressure was fixed at 892 hPa. In the control condition, the atmospheric pressure was fixed at 1,008 hPa. Pulse rate (PR), systolic (SBP) and diastolic blood pressure (DBP), arterial oxygen saturation (SpO₂), and blood glucose values were measured during the oral glucose tolerance test. Heart rate, SpO₂, and the rating of perceived exertion (RPE) were measured during exercise in experiment 1. SpO₂ was significantly lower in the periodic condition. PR, SBP, and DBP were significantly different among the 3 conditions. There were no significant differences in blood glucose values among the 3 conditions. During exercise, HR and RPE were not significantly different among the 3 conditions. In conclusion, glucose metabolism was not suppressed by exercise in the PHHE.

要 旨

周期的低圧低酸素環境を模擬したシステムを開発した。本研究は高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境の運動と糖負荷試験中の生理応答の関連性を明らかにすることを目的とした。対象者は実験 1 が 13 名、実験 2 が 8 名であった。対象者には研究参加の同意を得た。対象者は 120 分間の糖負荷試験中に持久性運動（実験 1）と自重負荷運動（実験 2）を実施した。持久性運動は最大酸素摂取量の 40% の自転車漕ぎ運動を 18 分間とした。自重負荷運動は 3 セット（1 セット 10 回）のスクワットとした。測定条件は高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境（周期的）条件、高度換算 750m 一定（一定）条件、常圧常酸素環境（対照）条件の 3 条件とした。糖負荷試験中の脈拍数、収縮期血圧、拡張期血圧、動脈血酸素飽和度、血糖値を測定した。運動中は心拍数、動脈血酸素飽和度、主観的運動強度を測定した。動脈血酸素飽和度は周期的条件が有意な低値を示した。脈拍数、収縮期、拡張期血圧は 3 条件間に有意な差が観察された。3 条件間の血糖値に有意な差は観察されなかった。周期的低圧低酸素環境下における耐糖能は運動を負荷することによって 3 条件間に有意な差が観察されないことが明らかになった。

緒 言

高地環境において生体は低圧低酸素環境曝露の影響を受け、低圧低酸素環境特有の生理応答を示す^{1-4, 6-8}。低圧低酸素環境は、アスリートの競技力向上のみならず糖代謝能の改善に有益であることが多くの先行研究によって報告されている^{7, 8}。低圧低酸素環境に関する知見は標高の高い山に滞在する（高地滞在）のみならず低酸素室、低圧室など高地環境を疑似した装置を用いた研究も多く報告されている^{2-4, 6, 7}。低圧低酸素環境への急性的な曝露によって生体は、動脈血酸素飽和度の低下、一回換気量および分時換気量の増加、交感神経系の亢進による心拍数および心拍出量の増加、末梢血管の拡張などの生理応答が引き起こされる⁸。これらの応答は、低圧低酸素環境下における酸素供給の低下の補償的作用である⁸。低圧低酸素環境において、最大酸素摂取量は低下し、持久性運動能力は低下する。

一定気圧における低圧低酸素環境と異なり、低圧低酸素環境の繰り返し曝露に関する研究成果が報告されている^{2, 4, 6}。それらの先行研究は、高度換算 0m-1,000m を 2 分 30 秒毎に余弦曲線的に減圧・復圧を周期的に繰り返す周期的低圧低酸素環境システムに 50 分間の滞在中の収縮期血圧が

滞在前に比較して有意な低値を示し、滞後に酸素換気当量および呼吸商が有意に低下することを報告した²⁾。このことから、高度換算1,000m程度でも周期的な繰り返しの曝露によって、収縮期血圧の低下、換気効率の亢進など高地滞在中と同様の生理応答が引き起こされる可能性を指摘した²⁾。実際、周期的低圧低酸素環境滞在中の動脈血酸素飽和度は有意な降下を示した。高度換算1,000mは、低圧低酸素環境曝露に関する先行研究における標高に比較して低地である。標高1,500m程度は準高地とされ、急性高山病が発症するリスクが高まる標高2,500mに比較して低地である。これらのことから、周期的低圧低酸素環境の高度を1,500mに設定することは、低圧低酸素環境曝露の危険性が少なく、効率的に低圧低酸素環境曝露の効果を受けるものと考えられる。このことから、周期的低圧低酸素環境システムの高度を上昇させ、高度換算1,500mに設定した^{3,6)}。システム上の限界から減圧、復圧にそれぞれ3分間の時間を要した^{3,6)}。高度換算1,500mの周期的低圧低酸素環境下滞在は常圧常酸素環境に比較して、糖負荷試験における血糖値が糖負荷後90分において有意な高値を示した。一定気圧の低圧低酸素環境曝露において血糖値は低値を示す⁷⁾ことから、得られた知見は低圧低酸素環境の周期的な変化の影響であるものと推測する。高気圧酸素療法において健常者の血糖値は上昇する傾向が観察された⁵⁾ことから、糖負荷後の血糖値の低下抑制は周期的低圧低酸素環境における復圧の影響を強く受ける可能性が推測される。食後高血糖の抑制に中強度の自転車運動が効果的である。さらに、食後高血糖は自重負荷スクワット(10回/セットを3セット)によって抑制される。これらのことから、高度換算1,500m周期的低圧低酸素環境下の運動が安静時に観察された血糖値の低下の抑制を引き起こさない可能性が考えられる。

本研究は高度換算1,500m周期的低圧低酸素環境

境下における持久性運動(実験1)および自重負荷運動(実験2)が耐糖能に与える影響を明らかにすることを目的とした。

1. 研究方法

1.1 対象者

【実験1】対象者は健康成人男性13名とした。対象者の特性は、年齢 21.5 ± 0.5 歳(mean \pm SD)、身長 169.3 ± 4.3 cm、体重 62.8 ± 7.7 kg、Body Mass Index (BMI) 21.9 ± 2.9 kg/m²、最大酸素摂取量 44.8 ± 4.8 ml/kg/minであった。

【実験2】対象者は健康成人男性8名とした。対象者の特性は、年齢 21.1 ± 0.4 歳、身長 168.2 ± 4.8 cm、体重 60.4 ± 7.5 kg、BMI 21.4 ± 3.2 kg/m²、最大酸素摂取量 46.6 ± 4.1 ml/kg/minであった。

本研究の対象者には、ヘルシンキ宣言および広島工業大学研究倫理規程の趣旨に沿い、研究の目的、方法、期待される効果、不利益がないこと、個人情報の保護について説明を行い、書面にて研究参加の同意を得た。本研究は広島工業大学生命学部研究倫理審査委員会の承認を得た(承認番号: 生15-002)。喫煙者、肥満者、循環器系疾患を有する者は対象者から削除した。

1.2 実験方法

対象者は、75g経口ブドウ糖負荷試験に準じて糖負荷試験を実施した。糖負荷30分後に持久性運動(実験1)または自重負荷スクワット(実験2)を実施した。持久性運動は、常圧常酸素環境下で測定した最大酸素摂取量の40%強度の自転車漕ぎ運動を18分間とした。自重負荷スクワットは、メトロノームを用いて2秒/回で10回を1セットとし、3セット実施した。セット間の休息は1分間とした。測定条件は、1,500m周期的条件、750m一定条件および対照条件の3条件とした。1,500m周期的条件は、高度換算0m-1,500mに設定した周期的低圧低酸素環境システム内にお

いて実験を実施した。周期的気圧変化は、高度換算 0m から 3 分間で余弦曲線的に高度換算 1,500m まで減圧し、3 分間で余弦曲線的に高度換算 0m まで復圧させた。750m 一定条件はシステム内の気圧を高度換算 750m に設定し、一定気圧の環境システム内において実験を実施した。対照条件は、気圧を変化させない同一システム内（高度換算 0 m）において実験を実施した。実験中の室温と湿度は、 $22.8 \pm 2.6^\circ\text{C}$ と $62.8 \pm 17.1\%$ であった。

1. 3 測定項目

座位姿勢の測定項目は、血圧、脈拍数、動脈血酸素飽和度および血糖値とした。血圧および脈拍数は上腕式血圧計（HEM-7500F；オムロン株式会社）を用い、測定時間は 30 秒間とした。測定は、糖負荷前、糖負荷後 30 分、60 分、90 分、120 分を実施した。動脈血酸素飽和度は、パルスオキシメータ（パルスオキシメータ SAT-2200；日本光電工業株式会社）を用いた。測定部位は右中指とし、測定のタイミングは血圧と同様とした。血糖値は、血糖自己システム（ニプロフリースタイルフリーダムライト；ニプロ社）を用いた。測定のタイミングは血圧と同様とした。

運動中の測定項目は、心拍数、動脈血酸素飽和度および主観的運動強度とした。心拍数は、胸部双極誘導法から得られた心電図波形の 1 分間の R 波の数とした（メモリ心拍計 LRR-03；アームエレクトロニクス株式会社）。心拍数は経時的に測定し、1 分毎の平均値を用いた。動脈血酸素飽和度は、安静時と同様の方法で 3 分毎に測定した。主観的運動強度は、ボルグスケールを用い、3 分毎に対象者に申告させた。

1. 4 統計処理

測定値は、平均 \pm 標準偏差（mean \pm SD）で示した。座位姿勢および運動中における同一測定時間毎の各パラメーターの 3 条件間の比較に一元

配置分散分析を用いた。有意な差が観察された場合には Bonferroni 法を用いて多重比較検定を行った。いずれの場合も危険率 5% 未満を有意な差とした。

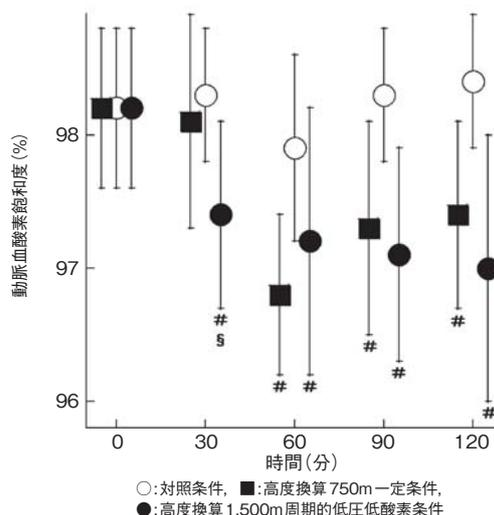


図 1-1 実験 1 における糖負荷試験中の動脈血酸素飽和度の推移
#； $p < 0.05$ vs control, §； $p < 0.05$ vs 750m fix

2. 結果

図 1-1 に糖負荷試験中の動脈血酸素飽和度の推移を示した。糖負荷前の動脈血酸素飽和度は 3 条件に有意な差が観察されなかった。糖負荷後 30 分における 1,500m 周期的条件の動脈血酸素飽和度は、750m 一定条件および対照条件に比較して有意な低値を示した。糖負荷後 60 分、90 分、120 分の動脈血酸素飽和度は、対照条件に比較して、1,500m 周期的条件および 750m 一定条件において有意な低値を示した。糖負荷試験中の脈拍数の推移を図 1-2 に示した。糖負荷前、糖負荷後 30 分、60 分、90 分、120 分の脈拍数は 3 条件間に有意な差が観察されなかった。図 1-3 に糖負荷試験中の収縮期および拡張期血圧の推移を示した。糖負荷前および糖負荷後 30 分、60 分の収縮期血圧は 3 条件間で有意な差が観察されなかったが、糖負荷後 90 分における 1,500m 周期的条件および対照条件の収縮期血圧は、750m 一定条件に

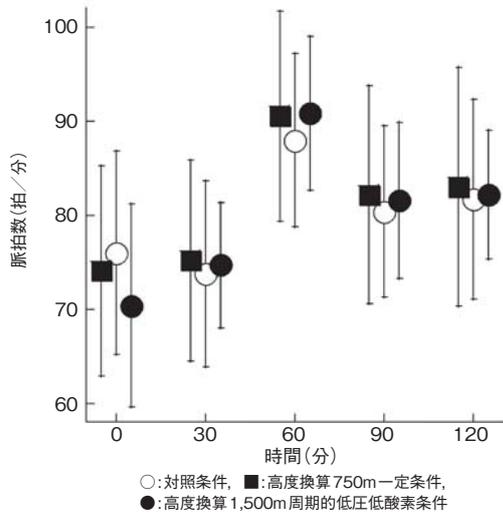


図 1-2 実験 1 における糖負荷試験中の脈拍数の推移

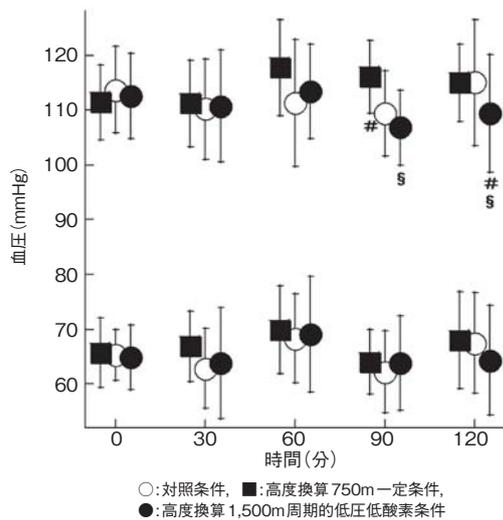


図 1-3 実験 1 における糖負荷試験中の収縮期および拡張期血圧の推移
#: $p < 0.05$ vs control, §: $p < 0.05$ vs 750m fix

比較して、有意な低値を示した。さらに、糖負荷後 120 分における 1,500m 周期的条件の収縮期血圧は、750m 一定条件および対照条件に比較して有意な低値を示した。拡張期血圧は、糖負荷前、糖負荷後 30 分、60 分、90 分、120 分において 3 条件間に有意な差が観察されなかった。図 1-4 に糖負荷試験中の血糖値の推移を示した。糖負荷前、糖負荷後 30 分、60 分、90 分、120 分の血糖値は 3 条件間に有意な差が観察されなかった。自転車漕ぎ運動中の心拍数の推移を図 1-5 に示した。運

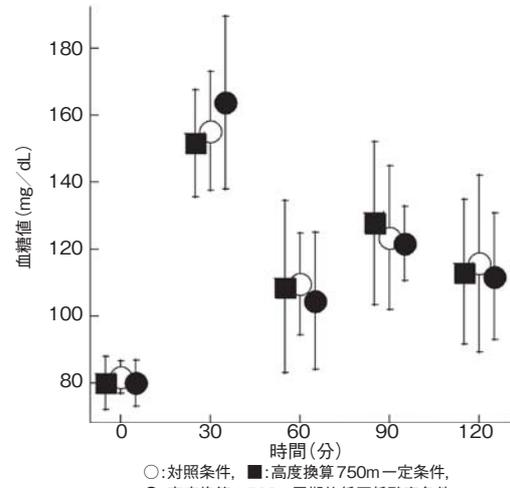


図 1-4 実験 1 における糖負荷試験中の血糖値の推移

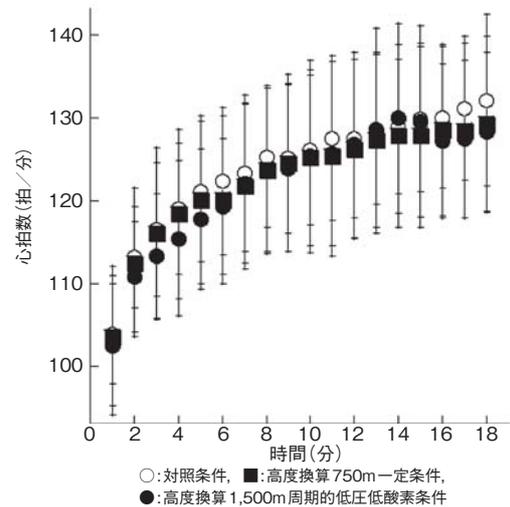


図 1-5 実験 1 における自転車漕ぎ運動中の心拍数の推移

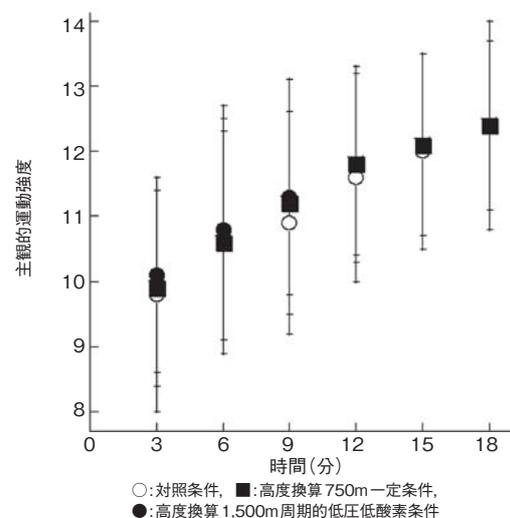
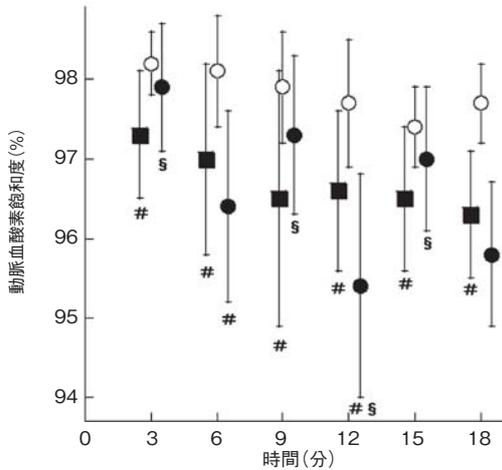
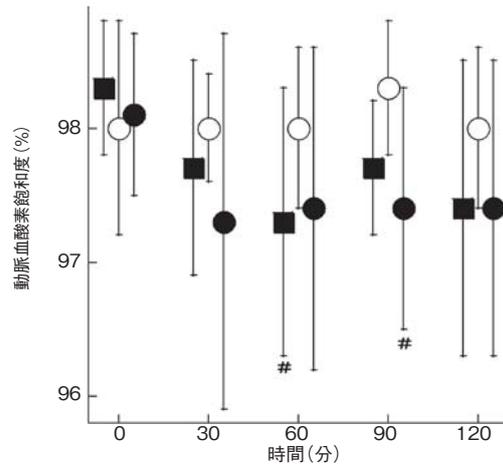


図 1-6 実験 1 における自転車漕ぎ運動中の主観的運動強度の推移



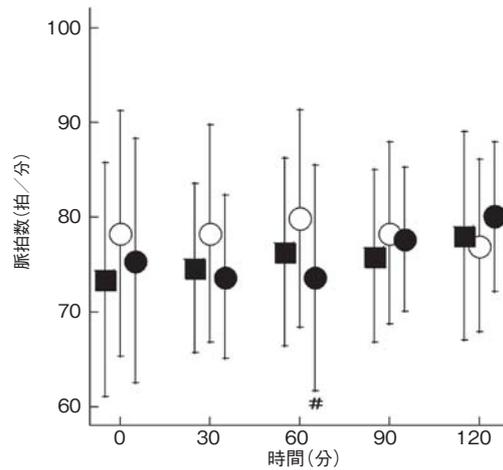
○:対照条件, ■:高度換算 750m一定条件, ●:高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素条件
 図1-7 実験1における自転車漕ぎ運動中の動脈血酸素飽和度の推移
 # ; p<0.05 vs control, § ; p<0.05 vs 750m fix



○:対照条件, ■:高度換算 750m一定条件, ●:高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素条件
 図2-1 実験2における糖負荷試験中の動脈血酸素飽和度の推移
 # ; p<0.05 vs control

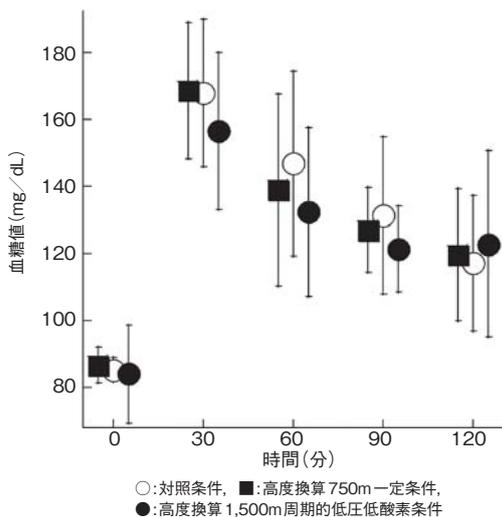
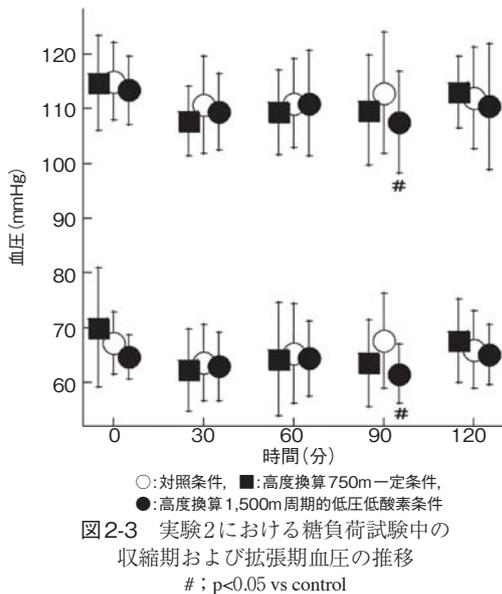
動中の心拍数は3条件間に有意な差が観察されなかった。図1-6に自転車漕ぎ運動中の主観的運動強度の推移を示した。主観的運動強度は3条件間に有意な差が観察されなかった。自転車漕ぎ運動中の動脈血酸素飽和度の推移を図1-7に示した。運動3分、9分および15分目の750m一定条件における動脈血酸素飽和度は、1,500m 周期的条件および対照条件と比較して有意な低値を示した。一方、運動6分および18分目の1,500m 周期的条件および750m一定条件における動脈血酸素飽和度は、対照条件と比較して有意な低値を示した。運動12分目の1,500m 周期的条件における動脈血酸素飽和度は、750m一定条件および対照条件と比較して有意な低値を示した。さらに、750m一定条件の動脈血酸素飽和度は、対照条件と比較して有意な低値を示した。

図2-1に糖負荷試験中の動脈血酸素飽和度の推移を示した。糖負荷前、糖負荷後30分、120分の動脈血酸素飽和度は3条件間に有意な差が観察されなかった。糖負荷後60分における750m一定条件の動脈血酸素飽和度は、対照条件と比較して有意な低値を示した。糖負荷後90分における1,500m 周期的条件の動脈血酸素飽和度は、対照



○:対照条件, ■:高度換算 750m一定条件, ●:高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素条件
 図2-2 実験2における糖負荷試験中の脈拍数の推移
 # ; p<0.05 vs control

条件と比較して有意な低値を示した。糖負荷試験中の脈拍数の推移を図2-2に示した。糖負荷前、糖負荷後30分、90分、120分の脈拍数は3条件間に有意な差が観察されなかった。しかしながら、糖負荷後60分における1,500m 周期的条件の脈拍数は、対照条件と比較して、有意な低値を示した。図2-3に糖負荷試験中の収縮期および拡張期血圧の推移を示した。糖負荷前、糖負荷後30分、90分、120分の収縮期および拡張期血圧は3条件間に有意な差が観察されなかった。しかしながら、糖負



荷後 60 分における 1,500m 周期的条件の収縮期および拡張期血圧は、対照条件に比較して、有意な低値を示した。図 2-4 に糖負荷試験中の血糖値の推移を示した。糖負荷前、糖負荷後 30 分、60 分、90 分、120 分の血糖値は 3 条件間に有意な差が観察されなかった。

3. 考 察

本研究は、高度換算 1,500m に設定した周期的低圧低酸素環境下において糖負荷試験および運動

を実施し、脈拍数、血圧、動脈血酸素飽和度および血糖値に与える影響を検討した。本研究の主な知見は、糖負荷試験における血糖値が、持久性運動および自重負荷運動において 3 条件間に有意な差は観察されなかったことである。このことは高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境下の安静滞在中に観察された耐糖能の低下が運動を負荷することによって、軽減される可能性を示唆する。また、糖負荷後 60 分、90 分、120 分の脈拍数および血圧に有意な差が観察されたことから、高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境が運動時に上昇した心拍数および収縮期血圧の早期降下に効果的な環境である可能性が考えられる。これらの知見は、高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境が新しい高地トレーニングなどのツールとして有益である可能性を示すものである。

1,500m 周期的条件の動脈血酸素飽和度は低値を示した。このことは、生体内の酸素供給が低下したことを示唆する。先行研究は高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境下滞在中に気圧変化に対応し、動脈血酸素飽和度が増減することを明らかにした^{2,4)}。この応答は安静滞在のみならず自転車漕ぎ運動中にも観察される^{3,6)}。周期的低圧低酸素環境は高度換算 1,500m であり、低圧低酸素環境に関する先行研究に比較して低地であった。このことから、本研究で得られた知見について、1 周期 (6 分間) の低圧低酸素環境曝露の影響は小さいが繰り返し曝露によって低圧低酸素環境曝露の影響が相加的あるいは相乗的に作用した可能性が推測される。高度換算 1,500m は低酸素環境に関する先行研究に示される標高 (2,000m 程度) に比較して低地であることから、周期的低圧低酸素環境は低い標高であっても繰り返し曝露の影響によって設定した高度よりも高い標高に滞在した場合と同様の効果を受ける可能性が考えられる。

糖負荷試験中の持久性運動および自重負荷運動における 1,500m 周期的条件の血糖値は、750m

一定条件および対照条件に比較して、有意な差は観察されなかった。このことは、周期的低圧低酸素環境下の運動による耐糖能が平均高度一定環境および常圧常酸素環境と同程度であることを示唆する。一定気圧の低圧低酸素環境曝露は糖負荷試験中の血糖値を低値で推移させる⁷⁾。一方、高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境下の安静滞在は糖負荷後 90 分の血糖値の降下を抑制させる³⁾。本研究の知見は、周期的低圧低酸素環境下において運動を負荷することによって、安静時滞在中で観察された血糖値の降下抑制を軽減させる可能性を示唆する。高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境下の安静滞在中における耐糖能低下の要因として、低圧低酸素環境の周期的な変化、特に復圧の影響を受ける可能性を指摘した³⁾。運動負荷した本研究は、低圧低酸素環境における運動による糖利用の亢進と周期的低圧低酸素滞在中による耐糖能の低下が相殺されたものと推測する。しかしながら、低圧低酸素環境および糖負荷試験における生理応答は個人差が大きく観察されることが特徴であることから、今後詳細に検討する必要がある。

糖負荷試験中の持久性運動および自重負荷運動における脈拍数、収縮期血圧および拡張期血圧は、3 条件間に有意な差が観察された。周期的低圧低酸素環境下の安静滞在中および自転車運動中に心拍数および収縮期血圧が低値を示し、循環器系の負担を軽減させることを報告した^{3,6)}。この要因として、低圧低酸素環境下滞在中の交感神経系の亢進が抑制される可能性、減圧に伴う酸素運搬能力の亢進および酸素分圧の上昇に伴う酸素分子増加による血液中の酸素濃度上昇が効率的な酸素運搬を引き起こす可能性、低圧低酸素環境における運動中に血流量増加に伴う血管内皮細胞へのずり応力（シアストレス）の増大による血管拡張物質（一酸化炭素）の産生量増加が血管拡張反応を引き起こす可能性などが指摘されている^{3,6)}。本研

究においても同様の応答を示したことから、高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境は運動時の上昇した心拍数および収縮期血圧の早期回復に寄与する可能性が推測される。前述の通り低圧低酸素環境下の生理応答には個人差が大きく観察されることから、自転車漕ぎ運動とスクワット運動後の脈拍数および血圧において応答の差異が生じたものと推測する。

本研究で用いた高度換算 1,500m は一般的に急性高山病が発症する標高 2,500m 以上に比較して低地である。さらに、滞在中や滞在後に頭痛やめまいを訴えた対象者はいなかった。これらのことから、本研究で用いた高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境曝露が生体に及ぼす危険性は低いものと判断できる。さらに、一定気圧の低圧低酸素環境曝露を間欠的に繰り返し、高地順化や高地トレーニングの効果を明らかにした先行研究が報告されている^{2,4,6)}。本研究の知見から、周期的低圧低酸素環境下滞在中の生理応答は、これまでの一定気圧の低圧低酸素環境下における知見と同様な応答および異なる応答が混在する可能性が考えられる。これらの応答の類似点および相違点を詳細に検討することによって、対象者のニーズに沿った低酸素トレーニングや高所への登山前の事前順化などに有益なツールに成り得るものと期待される。

4. まとめ

本研究は、高度換算 1,500m に設定した周期的低圧低酸素環境下において糖負荷試験および運動を実施し、以下の知見を得た。

- (1) 高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境下滞在中の動脈血酸素飽和度は、有意な低値を示す。
- (2) 高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境下滞在中の脈拍数、収縮期血圧および拡張期血圧は、有意な低値を示す。
- (3) 高度換算 1,500m 周期的低圧低酸素環境下

滞在中における持久性運動および自重負荷運動において、糖負荷試験中の血糖値に有意な差は観察されない。

以上の知見から、高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境下の耐糖能は、安静時に観察された血糖値の降下抑制が運動を負荷することによって、軽減させることが明らかになった。さらに、運動後回復期の循環器系応答は、高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境滞在によって早期に回復する可能性が示された。以上のことから、高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境が低酸素トレーニングや高所への登山前の事前順化などのツールとして有益である可能性が期待される。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、多大な御協力を頂きました本研究室の学生諸氏に心より感謝申し上げます。また、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 片山訓博, 大倉三洋, 山崎裕司, 重島晃史, 酒井寿美, 栗山裕司, 稲岡忠勝, 宮崎登美子, 柏智之, 藤本哲也, 藤原孝之. 常圧低酸素および高酸素環

境への急性暴露による運動時の呼吸循環応答の変化. - 理学療法における効果的運動環境を模索して - 理学療法科学: **26**, 365-369, doi: 10.1589/rika.26.365(2011)

- 2) 長崎浩爾, 西村一樹, 坂井学, 村上浩行, 高本登. 周期的低圧低酸素環境下滞在が生理応答に与える急性効果. 登山医学 **35**: 90-96(2015)
- 3) 西村一樹, 長崎浩爾. 周期的低圧低酸素環境を用いた新しい健康増進システムの開発. 第33回若手研究者のための健康科学研究助成成果報告書: 93-102(2018)
- 4) 長崎浩爾, 西村一樹, 坂井学, 村上浩行, 高本登. 周期的低圧低酸素環境曝露が生理応答に与える急性効果の検証 - 高度の差異, 気圧と酸素分圧の周期的変化の影響 - 登山医学 **37**: 69-77(2017)
- 5) 押田芳治, 佐藤祐造, 井口昭久, 植村和正, 岡田節朗, 坂本信夫, 高橋英世, 榊原欣作: 高気圧酸素環境下における糖尿病患者の内分泌・代謝変動に関する研究. 糖尿病: **31**, 109-115(1988)
- 6) 西村一樹, 長崎浩爾, 坂井学, 高本登. 高度換算 1,500m の周期的低圧低酸素環境が持久性運動中および運動後回復期の生理応答に及ぼす影響. 体力科学: **66**, 293-300, doi: 10.7600/jspfsm.66.293(2017)
- 7) Ogita F., Effects of intermittent hypobaric hypoxic exercise on cardiovascular adaptations, *J. Phys. Fitness Sports Med.* **2**: 341-345, doi: 10.7600/jpfsm.2.341(2013)
- 8) 岡崎和伸. 低酸素環境での運動時の生理応答と順化. 体育の科学 **66**: 854-862(2016)