

本論文「Influences of acute and subacute exposure to hypoxic environment on physiological responses during exercise (低酸素環境への急性及び亜急性曝露が運動時の生理反応に及ぼす影響)」は、準高地(標高 1300m)を利用した短期間トレーニングが、高地トレーニングとしての効果をもつか否かについて検討するとともに、近年注目を高めている人工的常圧低酸素環境を利用して運動やトレーニングを行った場合の運動生理学的特徴をとらえ、これらの有効利用に関する科学的アプローチを深めることを目的として実施した研究の成果をまとめたものである。

#### 実験 1 <準高地環境における水泳トレーニングの生理的効果>

女子高校水泳選手 8 名を対象に、標高 1,300 m で 5 泊 6 日の水泳トレーニング合宿を行ったところ、合宿実施前と比較し、合宿期間の水泳トレーニング中の心拍数は最初の 3 日間高水準を示し、主観的運動強度(RPE)は全期間を通して高い値を示した。合宿実施後には、実施前と比較して、最大下速度での水泳中の血中乳酸濃度(BLa)が低下した。エリスロポエチンは合宿 2 日目に、網状赤血球は合宿後にそれぞれ増加した。標高 1,300 m のトレーニングで平地より運動負荷は増大し、造血刺激も生じることが示唆された。

#### 実験 2 <常圧低酸素環境への急性曝露がシャトルランテストによる最大酸素摂取量推定に及ぼす影響>

健康な男子大学生 21 名(長距離選手 6 名、ラグビー選手 7 名、一般学生 8 名)を対象に常酸素環境でトレッドミル走による最大酸素摂取量を測定するとともに、2 種類の低酸素環境(15.0% O<sub>2</sub>, 17.5% O<sub>2</sub>)及び常酸素環境(20.93% O<sub>2</sub>)において、マルチステージシャトルランテスト(MSSR)を実施し、最大酸素摂取量の推定値の変化および生理的指標(血中乳酸濃度、心拍数)の変化をとらえた。その結果、常酸素環境と比較して、低酸素環境では酸素濃度が低いほどパフォーマンスの低下がみられ、推定最大酸素摂取量は 17.5% O<sub>2</sub> で 6.4%、15.0% O<sub>2</sub> で 11.9%それぞれ低下した。長距離選手では推定最大酸素摂取量は 17.5% O<sub>2</sub> で 4.6%と低下率がやや小さかった。

#### 実験 3 <常圧低酸素環境への急性曝露が漸増負荷運動中の筋酸素化状態に及ぼす影響>

男子大学運動選手 13 名を対象として、常酸素環境と低酸素環境(15.0% O<sub>2</sub>)で自転車エルゴメータによる漸増負荷運動を実施し、外側広筋の筋酸素化状態を空間分解法近赤外線分光装置(NIRS)を用いてとらえた。低酸素環境では最大酸素摂取量及び乳酸性作業閾値(LAT)がそれぞれ有意に低下した。低酸素環境での安静時 Oxy[Hb+Mb]には大きな変化がみられず、Total[Hb+Mb]が増大したことから、低酸素環境では血管拡張(vasodilation)が生じていることが示唆された。低酸素環境での運動時では Oxy[Hb+Mb]は常酸素環境の場合と比較し、同じ相対運動強度(%V O<sub>2</sub>max)でも常に低値を示したが、Total[Hb+Mb]には差がみられなかった。相対的

運動負荷が同じであっても低酸素環境では筋酸素化レベルが低く、このことが最大酸素摂取量や運動時間の低下の一因となることが示唆された。

実験 4 <常圧低酸素環境への間欠的曝露による短期間持久性トレーニングが血中乳酸濃度に及ぼす効果>

男子大学生 14 名を対象に、常酸素トレーニング群 (7 名) 及び低酸素環境 15% O<sub>2</sub> での低酸素トレーニング群 (7 名) にわけ、連続 5 日間のトレーニングを実施した。トレーニングは 45 分間の自転車駆動トレーニングとし、強度は 65%VO<sub>2</sub>max とした。5 分ごとに測定した血中乳酸濃度は、1 日目では低酸素トレーニング群 (低酸素群) で高く推移し、常酸素トレーニング群 (常酸素群) と有意な差がみられたが、5 日目では両群間で有意な差が見られなかった。常酸素群では 1 日目と 5 日目では差はみられなかった。最大酸素摂取量はトレーニング後で両群とも有意に増加したが、乳酸性作業閾値(LAT)は低酸素群のみ有意に増加した。

実験 5 <常圧低酸素環境への間欠的曝露による短期間持久性トレーニングが生理的順化に及ぼす影響>

男子大学運動選手 20 名を、トレーニング群 10 名と安静対照群 10 名にわけた。トレーニング群は低酸素環境 (14.5% O<sub>2</sub>) で 65%VO<sub>2</sub>max 強度で 45 分間の自転車駆動運動を連続 9 日間実施した。安静対照群は、低酸素環境に 1 日 2 時間、連続 9 日間曝露した。

トレーニング前後に実施した血液検査の結果から造血の可能性は両群ともにみられなかった。トレーニング群では、最大酸素摂取量、最大運動時間、LAT が有意に増加したが、安静対照群ではこれらに変化はみられなかった。トレーニング期間中、初日と比較して 5 日目、9 日目に運動中の動脈血酸素飽和度は有意に高く、血中乳酸濃度、血中グルコース濃度、心拍数は有意に低下した。また 9 日目の血中アンモニア濃度は有意に低値を示した。これらの結果から連続 9 日間の低酸素環境への間欠的曝露を伴うトレーニングは、トレーニング後の常酸素環境での LAT、漸増負荷運動時の運動時間、最大仕事量などを増大させる効果を持つことが明らかとなった。

## 結論

実験 1~5 の研究結果から、①準高地 (標高 1300m) でのトレーニングが高地トレーニングに準じる効果を有すること、②低酸素環境では、パフォーマンスの低下が生じるが、それらは MSSR (シャトルランテスト) の推定最大酸素摂取量によっても評価できること、③低酸素環境での運動では、筋酸素化レベルの低下が生じ、パフォーマンスの低下を導くこと、④短期間 (5 日間) の低酸素環境でのトレーニングでは、乳酸性作業閾値の改善がはかれること、⑤9 日間のトレーニングでは運動選手の持久的生理学的指標の改善がはかれること、などが明らかにされた。

これら一連の研究は、従来考えられていた高地トレーニングの方法をさらに拡大させるとともに、低酸素環境を利用した運動の方法を開拓する上で重要な知見を提示したと考えられ、その意義は大きい。

従って、襦屋光男氏により提出された本論文は、東京大学大学院による学位 (学術) の授与に相応しい内容と判定した。