

## 低酸素環境下における循環器系の応答：生理学的検討

### Response of cardiovascular systems to hypoxia in conscious rats

竹中敏文, 平川晴久\*, 林田嘉朗\*, 日下部辰三

Toshifumi TAKENAKA, Haruhisa HIRAKAWA\*,  
Yoshiaki HAYASHIDA\* and Tatsumi KUSAKABE

高地(低酸素環境)での運動は平地における運動よりも負荷のかかった激しい運動をしている状況に相応している。このことを応用し、近年体育領域では高地トレーニングが盛んに行なわれている。一方では、そのメカニズムを裏付けるために低酸素環境下(高地)における循環器系応答等の基礎医学的報告も多数報告されているが、一定の結果は得られていない。本研究は意識下のラットを用いて、低酸素環境下の循環器系と自律神経活動を観察し、そのメカニズムについて検討を加えた。

Wistar rat (♂ 400g) を用い、pentobarbital 麻酔下にて頭部を切開し頭蓋骨を露出させデンタルセメントにて電極等設置用のプレートを作成した。右大腿動・静脈よりカテーテルを挿入し、血圧測定と薬物注入用とした。前胸部の皮下には一対のステンレスワイヤを植え込み、心電図測定用とした。左側腹部を切開し腎交感神経を露出し、交感神経記録用電極としてステンレスワイヤをかけ電極と神経をシリコン樹脂で固定した。これらの電極とカテーテルは皮下を通し頭頸部より出し、測定装置へ接続した(図1)。血圧および心拍数が正常レベルに戻り、手術侵襲の影響がなくなる数日後から低酸素暴露を行なった。

術後ラットを意識下(無麻酔、自由行動下)で容積40Lのアクリルボックス内に入れ、血圧測定用、薬物注入用カテーテルならびに心電図、腎交感神経活動記録用の電極は設置したプレートを介して、アクリルボックス天井部から誘導し、血圧、心拍数および腎交感神経活動はコンピューターにてオンライン解析を行なった。低酸素ガス(O<sub>2</sub> 10%)は、空気、窒素ガスおよび炭酸ガスを multi flowmeter で混合してアクリルボックス内に流入した(10L/min)。ボックス内の酸素および炭酸ガス分圧は、呼気ガスモニターでモニターした(図1)。

酸素濃度を下げるとhyperventilation(呼吸数約80/minから約130/min)が起こり血中の炭酸ガスは排出されるので低炭酸ガスとなる。すなわち、hypocapnic hypoxiaとなる。血中低炭酸ガスを補正するために2~3%の炭酸ガスを加えると、炭酸ガス分圧を正常呼吸時の分圧に保つIsocapnic hypoxiaとなり、炭酸ガスを6~7%加えると血中炭酸ガス分圧の高いhypercapnic hypoxiaとなる。このように炭酸ガス分圧を考慮した3つのタイプの低酸素環境下で検討を行なった。

実験は30分のコントロール記録後、低酸素暴露の変化を30分間、回復過程の30分間の記録を行な

国士舘大学体育学部スポーツ医科学科 (Department of Sport and Medical Science, Kokushikan University)

\* 産業医科大学応用生理学 (Department of Systems Physiology, University of Occupational and Environmental Health)

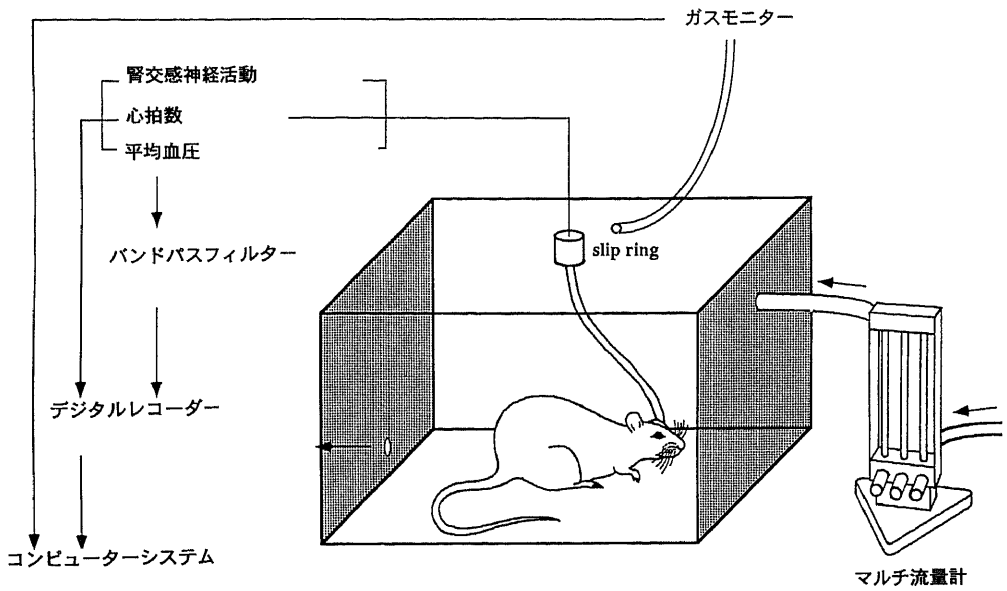


図1 実験装置の模式図

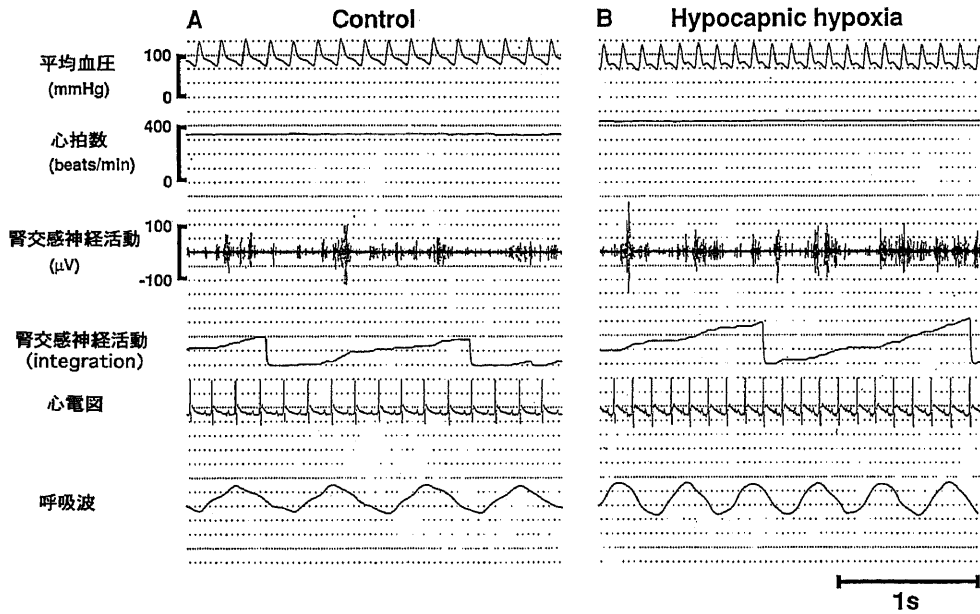


図2 コントロール(A)と低酸素環境下(B)における平均血圧、心拍数、腎交感神経活動、心電図および呼吸波の比較

った。動脈血のガス測定は暴露開始20分後に、血圧、心拍数、腎交感神経活動は暴露開始20分以降の10分間について行なった。これらの実験は7匹のintactラット、atropine sulfateを投与した6匹のatropine-treatedラットについて行なった。

炭酸ガス濃度が低いHypocapnic hypoxia暴露により、血圧は低下し、心拍数、交感神経活動、呼吸数は増加した(図2)。おそらく、hypoxiaが1つの契機となり血圧を下げ、その反射として心拍数を上げるとい方向に、すなわち、交感神経が活性化されると考えられる。Intactラット7匹の反応を加算平均してみると図3のようになる。腎交感神経活動が活性化されていることから明らかである。Isocapnic hypoxiaでは、平均血圧、心拍数ともに大きな変化は認められなかったが、炭酸ガス濃度が高いHypercapnic hypoxiaでは、平均血圧は上がり、心拍数は下がった。これらの場合

には副交感神経活動に着目する必要がある。Atropineを投与し副交感神経を遮断した実験結果から、副交感神経活動は血中炭酸ガス濃度上昇にともない活性化した。Hypercapnic hypoxia暴露時における循環器系は交感・副交感神経の両者の凌ぎあいの結果であると解釈される。

これらの結果を要約すると、交感神経活動はHypocapnic hypoxia、Isocapnic hypoxiaおよびHypercapnic hypoxiaのいずれの低酸素環境下でも亢進されたが、副交感神経活動は血中炭酸ガス濃度の上昇に依存して増加することが明かとなった。これらの循環器系の諸変化は末梢化学受容器を介した応答であることが推測される。

本研究は国士舘大学体育学部体育研究所の平成13年度研究助成により行なわれた。

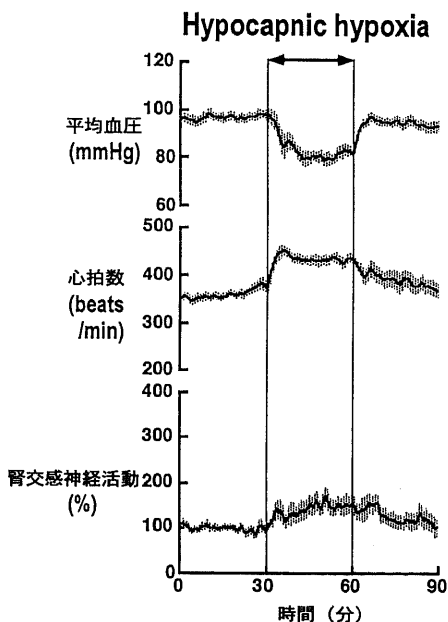


図3 低酸素環境下の平均血圧、心拍数および腎交感神経活動の変化(平均加算値)