

持久性トレーニングと筋力トレーニングが 圧反射機能に及ぼす影響について

西 村 千 尋
祝 原 豊
上 濱 龍 也

I. 緒 言

仰臥位で腸骨稜以下の下半身を箱に入れて囲み、その中の空気を吸引し圧を減少させる下半身陰圧負荷法 (Lower Body Negative Pressure ; LBNP) は、無重力下における血圧調節系の能力を知るテストとして考案され、最近では起立耐性 (Orthostatic tolerance) 評価の最適な手段として利用されている。すなわち、下半身に陰圧を負荷すると、正常人では胸腔内静脈血の急速な下半身への偏移が生じる。その結果、静脈還流量、1 回拍出量及び分時心拍出量が減少し、動脈圧が低下し、それがトリガーとなって内臓、腎臓及び骨格筋等において血管収縮が起こり、末梢血管抵抗が上昇することが知られている。LBNP 時の血管収縮や心拍数の増加は、動脈及び心肺における圧受容体の反射機構によるものと考えられる。圧受容体による反射には、頸動脈洞圧受容体や大動脈圧受容体など高圧受容器によるものと心肺圧受容体など低圧受容器によるものが特定されている¹⁾が、 -20mmHg 以下の軽度の LBNP 負荷では、主に心肺圧受容体 (Cardio-pulmonary mechanoreceptor) を介した反射と考えられる²⁾。心肺圧受容体は胸腔内に存在する感受体であり、そのほとんどが心臓、大血管

及び肺の壁のような低圧側に存在し、減圧負荷により交感神経を介して心拍数の増大及び皮膚、筋の血管収縮を招来すると考えられている。

ところで、持久性トレーニングは起立耐性を低下させるといわれているが、必ずしも意見が一致していない。すなわち、有酸素能力と起立耐性について数多くの研究がなされている中で、その結果については有酸素能力の高い人は起立耐性が低いという見解^{5,7,8,11,12,13,14)}と有酸素能力と起立耐性とはほとんど関係ないという見解^{3,4,6)}に分かれている。また、静的なウェイトトレーニングは重力負荷に対する耐性を高めることが報告されているため¹²⁾、運動様式の違いが起立耐性に異なる影響を及ぼすことも考えられる。

そこで、本研究では、トレーニングの様式の違いが下半身陰圧負荷時の圧反射機能に及ぼす影響について検討することを目的とした。

II. 方 法

1. 被検者

本研究の被検者は、対照群 (C 群) として運動習慣のない一般男子学生 6 名 (20.1±1.8歳, 172±3cm, 63±5kg), 持久性トレーニング群 (ET 群) として陸上競技部に所属する男子長距離走選手 6 名 (19.7±0.9歳, 172±5cm, 60±5kg), 筋力トレーニング群 (WT 群) として習慣的にウェイトトレーニングを行っている男子学生 6 名 (19.9±1.2歳, 169±3cm, 72±8kg) である。ET 群は 7.5±2.0 年の競技歴を、WT 群は 4.5±1.6 年の競技歴を有する者であった。被検者には実験に先立ち研究目的・実験方法などを詳細に説明し、実験参加の承諾を得た。

2. 実験方法

下半身陰圧負荷 (LBNP) テストは、約 15 分の安静の後、-10mmHg と -40mmHg の 2 種類の条件下において実施した。血圧と心拍数の測定は

日本コーリン社製自動血圧計 STBP-860 を用いた。前腕血流量の測定は Whitney¹⁵⁾ の水銀封入ラバーストレンゲージ法を用い、日本電気三栄社製の歪増幅器を介して記録器に記録された。また、前腕の血管抵抗は平均血圧を前腕血流量で除して求めた。実験室の温度はおよそ24℃であった。

3. 統計処理

各負荷と control の平均値の差の検定には、まず repeated-measures analysis of variance (ANOVA) によって評価した後、対比 (contrast) を用いて比較を行った。危険率5%未満を有意水準とした。

Ⅲ. 結 果

結果を示す図は、それぞれ左側は絶対値で表示し、右側は control の値からの相対変化率で示した。

図1に示すように、LBNP 時における心拍数の変化については、-10 mmHg において有意な上昇はみられなかったが、-40mmHg においては全群が有意な上昇を示した (ET 群: $P < 0.05$, C・WT 群: $P < 0.01$)。収縮

図1 LBNP 時の心拍数の変化

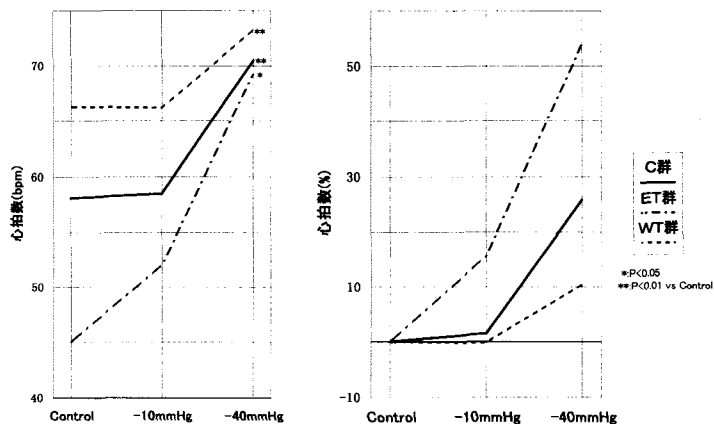


図2 LBNP 時の収縮期血圧の変化

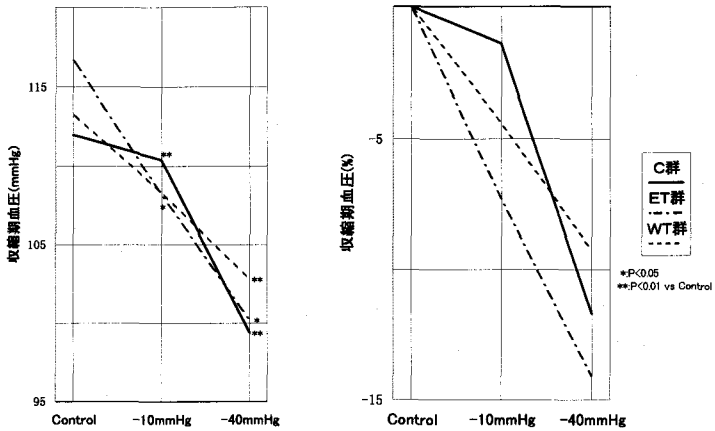
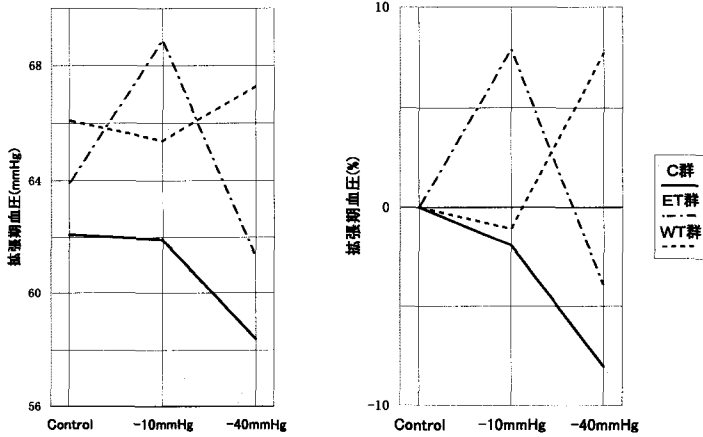


図3 LBNP 時の拡張期血圧の変化



期血圧については (図2), -10mmHg でC群 ($P<0.01$) とWT群 ($P<0.05$) が有意に低下し, -40mmHg では全群が有意な低下を示した (ET群: $P<0.05$, C・WT群: $P<0.01$)。拡張期血圧については, -10mmHg と -40mmHg のいずれにおいても有意な変化はみられなかった (図3)。また, 平均血圧においても有意な変化はみられなかった。前腕血流量の変化を図

図4 LBNP 時の平均血圧の変化

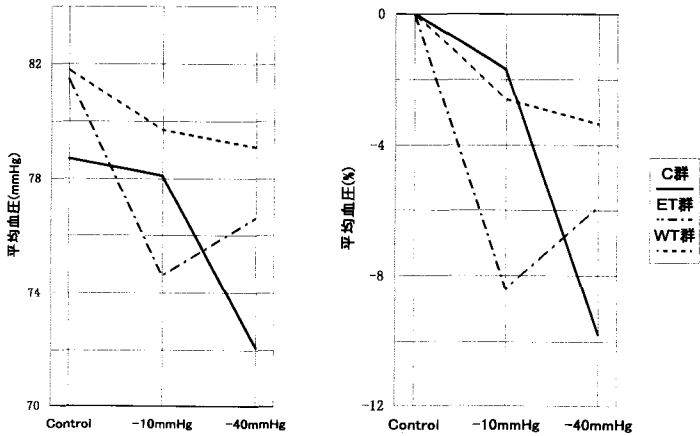
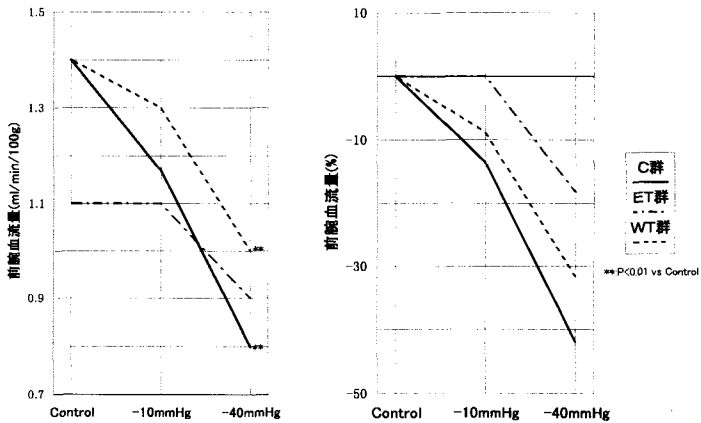
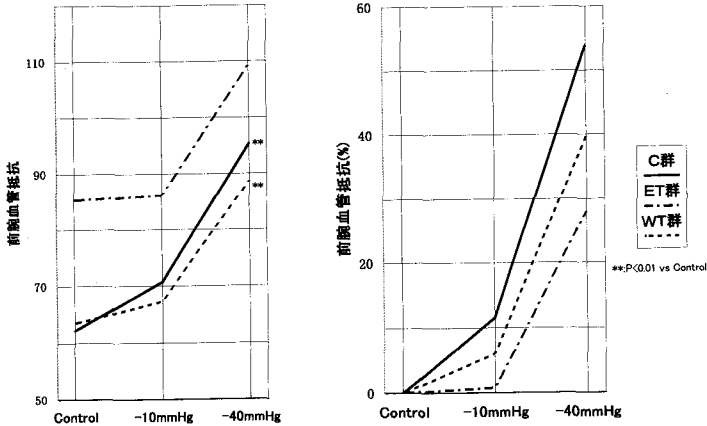


図5 LBNP 時の前腕血流量の変化



5に示した。-10mmHgではいずれの群でも有意な低下はみられなかったが、-40mmHgではC群 ($P<0.01$)とWT群 ($P<0.01$)で有意な低下がみられた。さらに前腕の末梢血管抵抗を算出し比較を行ったところ、-10mmHgでは有意な変化はみられなかったが、-40mmHgではC群 ($P<0.01$)とWT群 ($P<0.01$)で有意な上昇がみられた。

図6 LBNP 時の前腕の血管抵抗の変化



IV. 考 察

下半身に陰圧を負荷すると、血液が下半身に貯留し、循環血液量が減少する。その結果、心拍出量が減少し、末梢では前腕の血流が減少する。そのために、LBNP 負荷により、仰臥位において起立時における循環動態の変化を模擬することが可能である。ただし、LBNP に対する反応には個人差があり、また負荷する陰圧レベルや負荷時間によっても反応の違いはあるものの、一般的には前述したように下肢の血流量は増加し、心拍出量は減少し、さらに前腕での血流量も減少することが知られている。通常、 -40mmHg の LBNP 負荷では、末梢血管抵抗の増加や脈拍の増加などの代償性の反応により血圧は維持される。本研究においても、収縮期血圧を除き、これまでの報告と同様な反応が観察された。

これまで有酸素能力と起立耐性について数多くの研究がなされてきたが、その結果については有酸素能力の高い人は起立耐性が低いという見解^{5,7,8,11,12,13,14} と有酸素能力と起立耐性とはほとんど関係ないという見解^{3,4,6} に分かれている。また、静的なウェイトトレーニングは重力負荷に

対する耐性を高めることが報告されているため¹²⁾、運動様式の違いが起立耐性に異なる影響を及ぼすことも考えられる。

本研究においても、ET 群において、 -40mmHg 負荷時に、起立耐性が低下したと考えられる心拍数増加の高進、前腕血流量減少の抑制及び前腕の末梢血管抵抗上昇の抑制が観察され、結果的には持久性トレーニングが起立耐性を低下させるという前説を支持する結果が得られた。すなわち、持久性トレーニングにより圧受容反射機能が抑制されることが示唆された。これは下肢への体液（主として血液）の過度の貯留⁸⁾、高圧受容器（頸動脈洞圧受容器や大動脈圧受容器）の反射感度の低下^{11,12)}、あるいは低圧受容器（心肺圧受容器）の反射感度の低下^{7,11,14)}などがその原因として考えられる。つまり、持久性能力の高い人は下肢の筋に遅筋線維（Type 1）の割合が多いため⁷⁾に毛細血管密度が高く、したがって静脈系のコンプライアンスが大きくなり、一般健常人と比較してこれら末梢血管に体液が貯留しやすいことがその背景と考えられる。また、持久性トレーニングは LBNP 負荷時の末梢血管抵抗を低下させることも示唆されている¹³⁾。この原因としては、動脈圧受容器の反射感度が低下したために血管収縮の応答性が減弱したと考える説^{9,10)}や -20mmHg 以下の LBNP でも前腕血管反射の減弱が観察されることから、持久性トレーニングによる低圧受容器の反射感度の低下⁷⁾を示唆しているものなどが報告されているが、その詳細は不明である。

一方、WT 群は、C 群と同様な反応を示した。すなわち、ET 群において、 -40mmHg 負荷時においては、LBNP 耐性が低下したと考えられる心拍数増加の高進、前腕血流量減少の抑制及び前腕の末梢血管抵抗上昇の抑制が観察されたのに対し、WT 群は C 群と同様に Control 時に対して前腕血流量の低下と血管抵抗の上昇という有意な変化がみられた。したがって、筋力トレーニングは圧反射機能に変化を及ぼしておらず、起立耐性に影響のないことが示唆された。

以上のことから、本研究においても、持久性トレーニングにより、 -40

mmHg 負荷時において、起立耐性が低下したと考えられる心拍数増加の高進、前腕血流量減少及び前腕の末梢血管抵抗上昇が観察され、持久性トレーニングが起立耐性を低下させることが示唆された。一方、筋力トレーニングでは対照群と同様の反応がみられた。すなわち、持久性トレーニングは圧受容反射機能が抑制されるのに対し、筋力トレーニングではその機能に変化の生じないことが示唆された。したがって、持久性トレーニングは起立負荷時の血圧調節不調の原因となることも考えられる。

V. ま と め

持久性トレーニングは起立耐性を低下させるといわれているが、必ずしも意見が一致していない。また、静的なウェイトトレーニングは重力負荷に対する耐性を高めることが報告されているため、運動様式の違いが起立耐性に異なる影響を及ぼすことも考えられる。そこで、本研究では、トレーニングの様式の違いが下半身陰圧負荷時の圧反射機能に及ぼす影響について検討することを目的とした。

LBNP 時における心拍数の変化については、 -10mmHg において有意な上昇はみられなかったが、 -40mmHg においては全群が有意な上昇を示した (ET 群: $P < 0.05$, C・WT 群: $P < 0.01$)。収縮期血圧については、 -10mmHg で C 群 ($P < 0.01$) と WT 群 ($P < 0.05$) が有意に低下し、 -40mmHg では全群が有意な低下を示した (ET 群: $P < 0.05$, C・WT 群: $P < 0.01$)。拡張期血圧と平均血圧は、 -10mmHg と -40mmHg のいずれにおいても有意な変化はみられなかった。前腕血流量は、 -10mmHg ではいずれの群でも有意な低下はみられなかったが、 -40mmHg では C 群 ($P < 0.01$) と WT 群 ($P < 0.01$) で有意な低下がみられた。さらに前腕の末梢血管抵抗を算出し比較を行ったところ、 -10mmHg で有意な変化はみられなかったが、 -40mmHg で C 群 ($P < 0.01$) と WT 群 ($P < 0.01$) で有意な上昇がみられた。

以上の結果から、持久性トレーニングは圧受容反射機能を抑制するが、筋力トレーニングではその機能に変化が生じないことが示唆された。

参 考 文 献

- 1) 平柳 要・山口喜久・大崎良忠・佐伯周子・岩崎賢一・宮本 晃・谷島一嘉「エアロビック・フィットネスと下半身陰圧負荷 (LBNP) 耐性との関連性」『宇宙航空環境医学』第30巻第4号, 1993年, 159-168頁。
- 2) Convertino V. A., Montgomery L. D. and Greenleaf J. E. "Cardiovascular response during orthostasis: effect of an increase in $\dot{V}O_2$ max" *Aviat. Space Environ. Med.* Vol. 55, 1984, pp. 702-708.
- 3) Fray M. A. B., Mathes K. L. and Hoffler G. W. "Aerobic fitness in women and response to lower body negative pressure" *Aviat. Space Environ. Med.* Vol. 58, 1987, pp. 1149-1152.
- 4) Greenleaf J. E., Dunn E. R., Nesvig C., Keil L. C., Harrison M. H., Geelen G. and Kravik S. E. "Effect of longitudinal physical training and water immersion on orthostatic tolerance in men" *Aviat. Space Environ. Med.* Vol. 59, 1988, pp. 152-159.
- 5) Levine B. D., Buckey J. C., Fritsch J. M., Yancy C. W., Watenpugh D. E., Snell P. G., Lane L. D., Eckberg D. L. and Blomqvist C. G. "Physical fitness and cardiovascular regulation: mechanisms of orthostatic intolerance" *J. Appl. Physiol.* Vol. 70, 1991, pp. 112-122.
- 6) Lightfoot J. T., Claytor R. P., Torok D. J., Journell T. W. and Fortney S. M. "Ten weeks of aerobic training do not affect lower body negative pressure response" *J. Appl. Physiol.* Vol. 67, 1989, pp. 894-901.
- 7) Mack G. W., Shi X., Nose H., Tripathi A. and Nadel E. R.

- “Diminished baroreflex control of forearm vascular resistance in physically fit humans” *J. Appl. Physiol.* Vol. 63, 1987, pp. 105-110.
- 8) Pawelczyk J. A., Kenney W. R. and Kenney P. K. “Cardiovascular response to head-up tilt after an endurance exercise program” *Aviat. Space Environ. Med.* Vol. 59, 1988, pp. 107-112.
- 9) Raven P. B., Rohm-Young D. and Blomqvist C. G. “Physical fitness and cardiovascular response to lower body negative pressure” *J. Appl. Physiol.* Vol. 56, 1984, pp. 138-144.
- 10) Smith M. L., Hudson D. L., Graitzer H. M. and Raven P. B. “Blood pressure regulation during cardiac autonomic blockade: effect of fitness” *J. Appl. Physiol.* Vol. 65, 1988, pp. 1789-1795.
- 11) Smith M. L., Graitzer H. M., Hudson D. L. and Raven P. B. “Baroreflex function in endurance- and static exercise-trained men” *J. Appl. Physiol.* Vol. 64, 1988, pp. 585-591.
- 12) Smith M. L. and Raven P. B. “Cardiovascular response to lower body negative pressure in endurance and static exercise-trained men” *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 18, 1986, pp. 545-550.
- 13) Stevens G. H. J., Foresman B. H., Shi X., Stern S. A. and Raven P. B. “Reduction in LBNP tolerance following prolonged endurance exercise training” *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol. 24, 1992, pp. 1235-1244.
- 14) Vroman N. B., Healy J. A. and Kertzer R. “Cardiovascular response to lower body negative pressure (LBNP) following endurance training” *Aviat. Space Environ. Med.* Vol. 59, 1988, pp. 330-334.
- 15) Whitney R. J. “The measurement of volume change in human limbs” *J. Physiol.* Vol. 121, 1953, pp. 1-27.