

原 著

## 運動後の疲労回復に対する 大気中負イオンの生理学的効果

琉子 友男<sup>1)</sup> 北 一郎<sup>1)</sup> 桜井 智野風<sup>1)</sup>  
安松 幹展<sup>1)</sup> 相原 康二<sup>1)</sup>

1) 東京都立大学理学部身体生理情報講座

## Physiological effects of negative air ions on the recovery of fatigue after exercise

Tomoo Ryushi<sup>1)</sup> Ichiro Kita<sup>1)</sup> Tomonobu Sakurai<sup>1)</sup>  
Mikinobu Yasumatsu<sup>1)</sup> Yasutugu Aihara<sup>1)</sup>

1) Department of Somato-physiological Informatics, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

### 要約

本研究の目的は、中等度の持久的運動後の負イオン暴露が自律神経系、内分泌系および心臓血管系の機能回復に対してどのような効果をもたらすかを明らかにすることであった。実験室(22℃-23℃、30%-35%、負イオン $2-4 \cdot 10^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ )で10人の健康成人男子に各人の最大酸素摂取量の約50%の負荷で自転車エルゴメーター漕ぎ運動を1時間行わせた後、負イオン発生装置付き環境制御室を用いて、負イオン豊富な環境(25℃、50%； $8-10 \cdot 10^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )と負イオンの少ない環境(25℃、50%； $2-4 \cdot 10^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ )で1時間の回復を行わせた。その結果、負イオンの豊富な環境では、そうでない環境に比較して、心拍変動のパワースペクトルの高周波帯(0.15-1.0Hz)の増加、拡張期血圧の低下( $p < 0.05$ )、また、セロトニンやドーパミンの低下( $p < 0.05$ )などが認められた。以上の結果から、運動後の負イオン暴露は、自律神経系や心臓血管系および内分泌系に何らかの影響を及ぼし、恒常性機能を高める作用があることが明らかとなった。  
(臨床環境6：34~40,1997)

### Abstract

10 healthy adult men volunteered as subjects for investigating the changes of the human autonomic nervous, endocrinological and cardiovascular systems during recovery period in the presence (25℃, 50%; 8,000-10,000 negative air ions·cm<sup>3</sup>) or in the absence (25℃, 50%; 200-400 negative air ions·cm<sup>3</sup>) of negative air ions after exercise (60 min) at 50-60% load of the maximal oxygen uptake, which was determined by a bicycle ergometer in the unmodified environment (22℃-23℃, 30%-35%; 200-400 negative air ions·cm<sup>3</sup>). High-frequency (0.15-1.0Hz) areas of power spectra in the heart rate variability tended to be increased by the exposure to negative air ions during recovery period. Diastolic blood pressure during recovery period was significantly lower in the presence than that in the absence of negative air ions ( $p < 0.05$ ). The plasma levels of serotonin and dopamine were significantly lower in the presence than those in the absence of negative ions ( $p < 0.05$ ). These results suggested that the autonomic nervous, cardiovascular systems and neurohormone were influenced by the exposure to negative air ions in the process of recovery after submaximal endurance exercise. (Jpn J Clin Ecol 6:34~40,1997)

《Key words》 negative air ions, blood pressure, autonomic nervous system, serotonin, dopamine

受付：平成8年12月4日 採用：平成9年2月5日

別刷請求宛先：琉子 友男 〒192-03 八王子市南大沢1-1 東京都立大学理学部身体生理情報

Received: December 4, 1996 Accepted: February 5, 1997

Reprint Requests to: Tomoo Ryushi, Department of Somato-physiological Informatics, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University, 1-1, Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-03 Japan

## I. 緒言

20世紀の始めから行われてきた大気中のイオンに関する研究は、その多くがコロナ放電法によるものであり、負イオンあるいは正イオンと生体との関係が多く研究者によって研究されてきている<sup>1)</sup>。KruegerとReedは<sup>2)</sup>、フェーン現象やシェラフなどの気候変化が生ずる前に大気中の正イオン濃度が高くなることを発見し、これが天候に敏感な人々 (weather-sensitive individuals) の病気の原因になることを指摘している。また、シェラフ病の患者を臨床的、生化学的に検討した結果、正イオンに暴露されると、中脳においてセロトニン (5-HT) の生産量が増加すること、尿に異常に多量の5-HTの排出がおこること、その症状の改善には大量の負イオン暴露と5-HT遮断薬が有効であったことなどが報告されている<sup>2)</sup>。さらに、5-HTの変化は一般的には睡眠、ムード、活動レベル、痛み、不安、日内リズムの変化や身体の不調などに関係があると言われており、5-HT値の増加は生体にあまり良い影響を及ぼさないことが示唆されている<sup>1)</sup>。

生理学および心理学の観点からの研究によれば、負イオン暴露によって、作業効率の改善が認められたという報告<sup>3)</sup>や精神状態の改善が認められたという報告<sup>4)</sup>がある。しかしながら、それらの報告とは対照的に、コロナ放電法による大量の負イオン暴露 (>300000ions/cc) がスーパーオキシドイオン (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) を生成し、モルモットやウサギの組織に傷害を与えたという報告<sup>1)</sup>や活性酸素が発生するという報告<sup>5)</sup>もあり、生体に対して有害な影響を及ぼすことも示唆されている。

最近開発されたイオン発生装置 [ジオクト(株)製] は、水を物理的に細かい水滴と大きな水滴に分裂させ、負に帯電した細かい水滴だけを噴霧する構造になっており、高い防塵能力や除菌効果が認められている。この装置を用いた負イオンサウナ浴の研究によれば、負イオンによって皮膚温の上昇や発汗量の増加が認められ、負イオンが自律神経系に何らかの作用を及ぼしていることが示唆されている<sup>6)</sup>。

運動時には、自律神経が心臓血管系、呼吸器系、内分泌系、および体温調節系などの機能を調節す

ることによって、心拍数の増加、血圧の上昇、呼吸の促進、発汗の増加を促し、運動ストレスに適応している。運動後の回復過程においても同様のことが可逆的に生じ、安静時の状態に戻す働きをしている。従来の報告から、我々は負イオンがヒトの運動後の自律神経系や内分泌系および心臓血管系の回復作用に何らかの良い影響を及ぼすのではないかと推測した。

そこで、本研究の目的は、ヒトの運動後の自律神経系、内分泌系および心臓血管系の機能回復に負イオン暴露がどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることであった。

## II. 方法

被験者は日常、定期的に運動を行っていない成人男子10名であった。彼らの年齢、身長、体重および最大酸素摂取量の平均値と標準偏差は、それぞれ20.9±1.3歳、172.1±3.3cm、64.4±6.3kg、39.7±5.2ml/kg/minであった。

測定に際しては、被験者に対し研究の目的、意義、内容およびそれに伴う苦痛と危険性、強制ではない旨の説明を行い、同意書 (informed consent) を得て行われた。

1回目の実験では各被験者の最大酸素摂取量を測定し、自転車漕ぐ運動の負荷 (最大酸素摂取量の50~60%) を決定する作業が行われた。最大酸素摂取量は被験者に30分間の安静をとらせた後、自転車エルゴメーター (aerobike,75XL,COMBI Co.,Ltd.) の負荷を1分ごとに20ワットずつ疲労困憊に至るまで増加させる方法を用いて測定した。なお、自転車の回転速度は1分間に50回転とした (50rpm)。

2回目の実験は真気発生装置 (type TMU,GEOCHT Co.,Ltd.) およびイオンテスター (KST-900,KOUBE DENPA Co.,Ltd.) を用いて、負イオン暴露の環境 (恒温恒湿室; 25℃、50%、負イオン数; 8000~10000個/cc) で30分間安静をとらせた後、通常的环境 (22℃~23℃、30%~35%、負イオン数; 200~400個/cc) で最大酸素摂取量の50~60%の負荷で1時間、自転車エルゴメーターを漕ぐ運動を行わせた。その後、さらに1時間、

負イオン暴露の環境で、安静時と同様の方法を用いて回復過程を観察した。

3回目の実験は、非暴露の環境（恒温恒湿室；25℃、50%、負イオン数；200~400個/cc）を設定し、2回目と同様の手順で測定した（図1）。

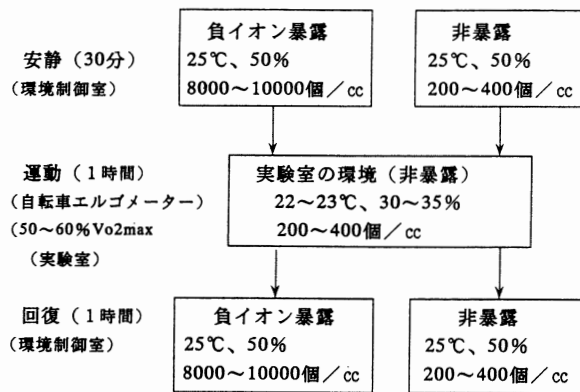


図1 実験手順

被験者はすべて日内リズムの観点から、1回目から3回目まで少なくとも5日間の間隔をおいて同時刻に測定された。また、結果に対する測定慣れの影響を防ぐため、10人の被験者のうち、ランダムに抽出された5人が実験2回目に、残りの5人は実験3回目にイオン暴露の環境で測定が行なわれた。イオン暴露時の測定は先行研究<sup>2)</sup>の指摘どおり、被験者の肩からアースをとりながら測定した。さらに、被験者は短パンのみの着用ですべての測定を行った。なお、2回目と3回目の測定は、2重盲検法で行われた。

酸素摂取量および換気量はaeromonitor(AE-280,MINATO MEDICAL SCIENCE CO.,LTD.)を用いて、breath by breath法により測定した。

心電図は胸部双極誘導（CM5）により導出し、Life Scope 6(NIHON KOHDEN Co.,Ltd.)を用いてモニターした。その際の心電図はCASSETTE DATA RECORDER(XR-50,TEAC CORPORATION)に記録し、その後の心拍変動のスペクトル解析に使用された。心拍変動は、安静時、運動時、回復時において、10分ごとに90秒間のR-R間隔のデータを高速フーリエ変換法を用いてスペクトル解析を行った。スペクトル解析によって求められたパワー

スペクトルのうち、低周波帯、0.05~0.15Hz（P1）および高周波帯、0.15~1.0Hz（Ph）の区間のパワーを積算し、各々のパワーを算出した。そして先行研究<sup>7,8)</sup>と同様にPhを迷走神経活動の指標、P1/Phを交感神経活動の指標として用いた。

収縮期および拡張期血圧は全自動血圧計（automatic hemodynamometer, P-680, STBP-680, NIPON COLIN）を用いて、安静時、運動時、回復時の10分毎に測定した。

血液は安静終了時（1本目）、運動終了時（2本目）、回復30分後（3本目）、回復1時間後（4本目）に肘静脈より採取した。ドーパミン（DA）、アドレナリン（Ad）、ノルアドレナリン（NA）およびセロトニン（5-HT）はHPLC(high performance liquid chromatography)を用いて測定した。

平均値、標準偏差および標準誤差は、標準的な統計方法を用いて計算された。また、負イオン暴露時と非暴露時の平均値の差の検定には、対応のあるデータに対するStudent's t-testが用いられた。

### Ⅲ. 結果

図2は、負イオン暴露時と非暴露時の安静時、運動中、および回復時のR-R間隔データを高速フーリエ変換法を用いてスペクトル解析をしたものの結果である。その結果、統計的に有意ではなかったが、回復時の前半は迷走神経系促進、後半は交感神経系抑制という傾向が認められた（矢印）。

図3は、負イオン暴露時と非暴露時の安静時、運動中、および回復時の収縮期血圧および拡張期血圧の相対値の変化を示したものである。その結果、回復時の拡張期血圧においてのみ、負イオン暴露時と非暴露時との間に統計的に有意な差が認められた（ $p < 0.05$ ）。

図4は、負イオン暴露時と非暴露時の安静時、運動中、および回復時の5-HTの相対値を示したものである。本研究の結果では、回復過程においてのみ、マイナスイオン暴露時の5-HTレベルが非暴露時に比較して低い傾向が認められた（ $p < 0.05-0.01$ ）。

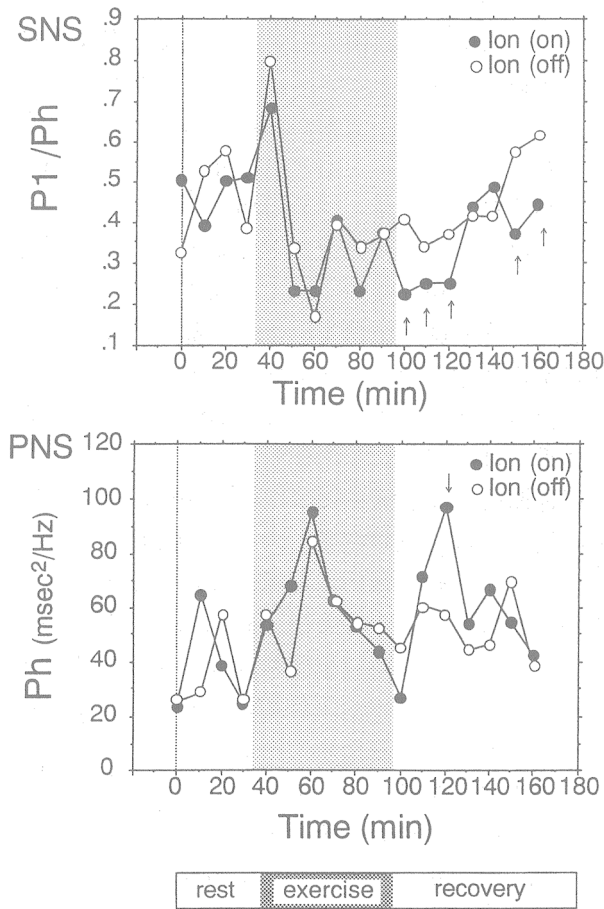


図2 心拍変動 (R-R間隔) スペクトル解析結果の推移

SNS (P1/Ph) は交感神経系、PNS (Ph) は副交感神経系活動の指標。  
●印は負イオン暴露時、○印は非暴露時の平均値。  
矢印は両環境で大きな差の傾向が認められた箇所。

図5は、負イオン暴露時と非暴露時の安静時、運動中、および回復時のDAの相対値を示したものである。その結果、回復時のDAの減少パターンはマイナスイオン暴露時の方が非暴露時に比較して、有意な低下傾向を示した ( $p < 0.05$ )。本研究では、DAの他にAd、NAも測定しているが、これらは両環境において有意な差は認められなかった。

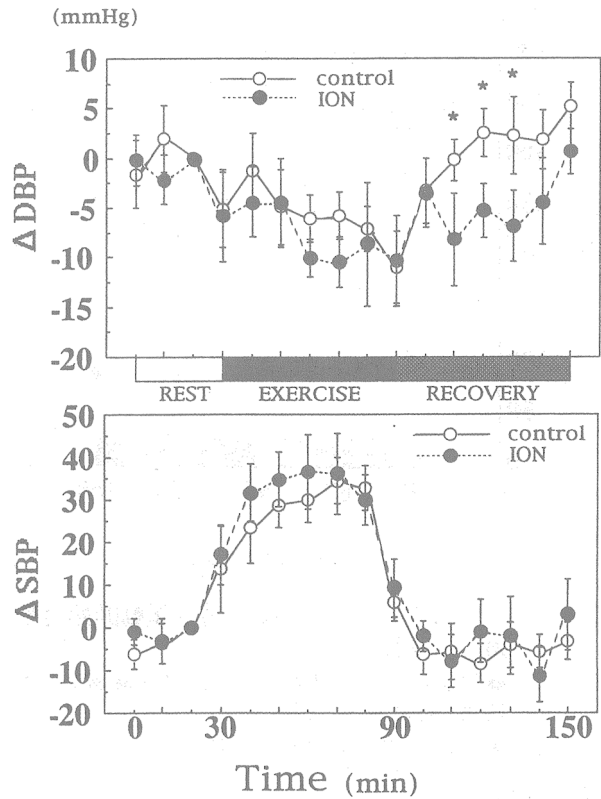


図3 拡張期血圧 (上) と収縮期血圧 (下) の推移  
運動開始時を0としてそれからの差を示した。  
●印は負イオン暴露時、○印は非暴露時の平均値と標準誤差 (SE)。  
★印は  $p < 0.05$  (paired t-test)。

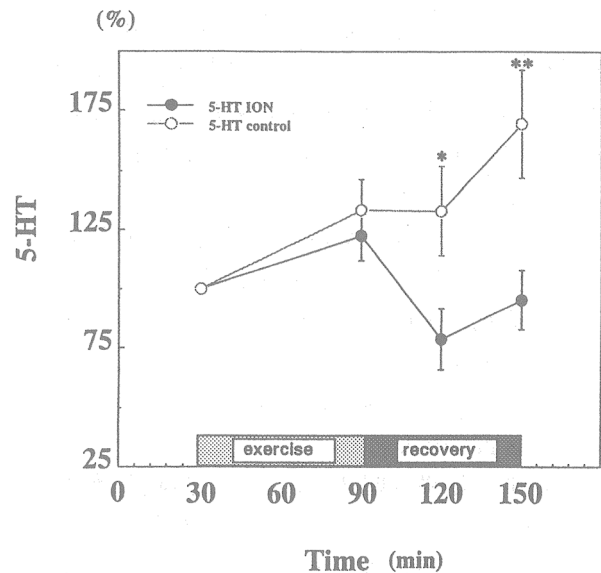


図4 セロトニン (5-HT) の相対値 (運動開始時を100) の推移  
●印は負イオン暴露時、○印は非暴露時の平均値と標準誤差 (SE)。  
★;  $p < 0.05$ 、★★;  $p < 0.01$  (paired t-test)。

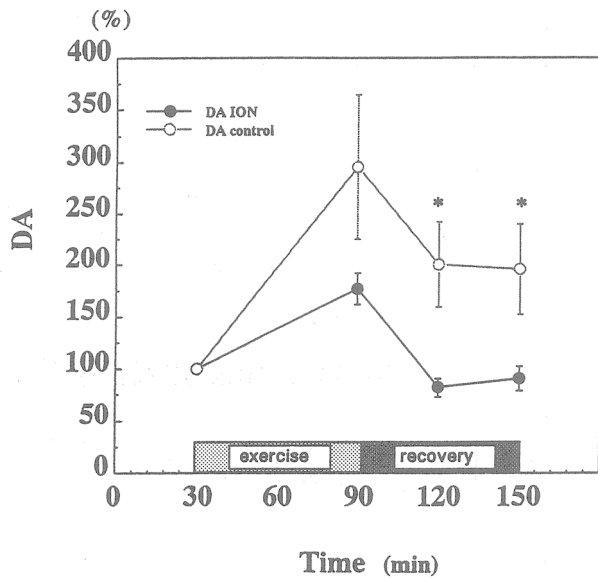


図5 ドーパミン (DA) の相対値 (運動開始時を100) の推移

●印は負イオン暴露時、○印は非暴露時の平均値と標準誤差 (SE)。

★;  $p < 0.05$  (paired t-test)。

#### IV. 考按

心筋の洞房結節のリズム (心拍変動) の解析による神経性循環調節機能の分析は、冠動脈疾患、不整脈、高血圧症などの心臓・血管系疾患の病態に対する新しい方法として注目を集めている。また、心臓副交感神経機能の非侵襲的評価が可能な心拍変動スペクトルにより、副交感神経機能低下が冠状動脈性疾患や突然死の重要な危険因子であることが明らかにされている。先行研究によれば、低周波帯 (P1) と高周波帯 (Ph) の比が交感神経系、高周波帯 (Ph) が迷走神経系の活動を反映していることが明らかにされている<sup>7,8)</sup>。さらに、ホルター心電図を用いた24時間の心拍変動スペクトル解析結果によれば、夜間になると高周波帯のパワー値が増大し、副交感神経の活動が活発になることが報告されている<sup>9)</sup>。

本研究の結果 (図2) から、安静時と運動時には両環境間で大きな差は認められなかったが、回復時においてのみ負イオン暴露の方が非暴露と比較して、P1/Phが全般にわたり低下傾向を示すことが明らかとなった。いっぽう、Phは負イオン暴露時の回復30分まで増加する傾向が認められたが、

後半は非暴露時とほとんど同様の傾向を示した。これらの結果は、回復時の負イオン暴露が交感神経の活動を抑制するという点、また回復30分目までは副交感神経の活動が促進されていたことを示すものである。負イオン暴露時のP1/PhとPhが回復30分目で非暴露と同様の傾向を示したが、これは回復時30分目の血液採取作業と何らかの関係があるのかも知れない。以上の結果から、運動後の負イオン暴露は交感神経系の活動を抑制、迷走神経系の活動を促進させる傾向があることが明らかとなったが、外乱によって影響を受けやすいので慎重な再検討が望まれる。

収縮期血圧は心臓が収縮した時の動脈の血圧を、拡張期血圧は心臓が拡張したときの血圧を示すものである。運動に伴い、収縮期血圧は上昇し、拡張期血圧は低下することは一般的に知られていることである。運動時に拡張期血圧が下降する原因のひとつには、筋ポンプ作用によって、血液が心臓へ戻りやすくなるためであると言われている<sup>10)</sup>。図3にも示したように、回復時において負イオン暴露時の拡張期血圧の方が非暴露時に比較して有意に低い値を示した。このことは副交感神経の影響 (図2) により末梢の血管が拡張し、心臓に血液が戻りやすくなったことによるものかも知れない。しかしながら、この結果は負イオンサウナ浴の実験において、両環境間で血圧に有意な差が認められなかったとする渡部ら<sup>6)</sup>の結果とは一致しない。この一致しなかった理由は、サウナと運動とは生体に対する負荷量が異なること、また、本研究では運動時に負イオンを暴露していないことなどによるものと思われる。

5-HTは多くの組織、なかでも血小板、消化管壁、脳に存在する神経伝達物質の一つである。脳において、5-HTは意識、気分、抑鬱、不安などの心理状態に関与すると言われている。また、5-HTは血中にも存在し、きわめて強力な平滑筋収縮作用を持つことから、高血圧に関係するとも言われている<sup>11)</sup>。

イオンと5-HT代謝に対する動物実験の結果によると、負イオンはマウスやウサギの気管に通常存在する5-HTを減少させるが、正イオンはそれとは

逆に増加させること<sup>12)</sup>、負イオン暴露によって、モルモットの尿に5-ヒドロキシインドール酢酸(5-HTの最終代謝産物で不活性)の量が増加していること<sup>2)</sup>、また負イオン暴露によってラットの頭頂皮質のcyclic APMや5-HT値が減少することなどが報告されている<sup>13)</sup>。さらに、Talら<sup>14)</sup>は、シリコン処理したヒトの血液(in vitro)に負イオンを10分間暴露することによって、全血の5-HT量が30%、血漿中の5-HT量が42.5%も減少することを報告している。これらの報告は、負イオンが脳や血中の5-HT量を減少させることを示唆するものであり、回復過程における5-HT値が負イオン暴露によって、非暴露に比較して有意に低下した本研究の結果(図4)を支持するものである。また、この結果は回復時に負イオンを暴露することによって、交感神経系の活動が抑制、副交感神経系の活動が促進される傾向が認められた結果(図2)および拡張期血圧が低下した結果(図3)と符合するものである。

血管の収縮や拡張を調節するのは自律神経系であり、また、それに刺激されて分泌される神経伝達物質(neurotransmitter)である。神経伝達物質であるmonoamineには、Ad、NA、DAおよび5-HTなどがある。AdやNAは交感神経系に関係し、情動やからだのarousal responseの調節に関与している。また、一般にDAは内分泌系の調節に関与すること、運動の調節に関係があること、および認識と情動に重要であることが知られている<sup>15)</sup>。

図5は、負イオン暴露と非暴露時のドーパミン(DA)の時間的推移をみたものである。その結果、回復過程における、NA、Adに関しては両環境間に有意な差は認められなかったが、DAは負イオン暴露時の方が非暴露時に比較して、有意な低下傾向を示した。このことは、負イオンが5-HT同様、DAにも影響を及ぼすことを示唆するものである。また、DAの過剰な分泌は精神分裂病(schizophrenia)、欠如はパーキンソン病(Parkinson's disease)にみられるshakingやuncontrolled movementsを引き起こすことが知られている<sup>15)</sup>が、負イオンが運動中に多く分泌されたDAを安静値に戻す働きを促進させた可能性も考え

られる。

しかしながら、Ad、NA、DAなどのカテコラミン(CA)は5-HT同様、turn overが速いので、確たる結論を得るためには今後さらにCAの代謝産物であるnormetanephrine,3-methoxy-4-hydroxymandelic acidおよびmetanephrineや5-HTの最終代謝産物である5-hydroxyindoleacetic acidなどの測定を行う必要があるものと考えられる。

以上の結果から、運動後の回復期における大量の負イオン暴露は、自律神経に支配されている血管や心筋の洞房結節などに何らかの影響を及ぼし、安静状態にすばやく機能回復させる働きがあることが明らかとなった。さらに、それらの現象に対して、セロトニンやドーパミンが関係しているのではないかとと思われる。

謝辞：本研究は、ジオクト(株)よりの平成7年度、受託研究費によって行われました。ジオクト(株)の研究開発部長の浜光太郎氏に深く感謝申し上げます。また、測定補助員として協力頂きました大学院の長谷川博、熊谷賢哉の両君に感謝します。

## 文献

- 1) Yates A, Gray FB et al : Air ions : Past problems and future directions. *Environment International* 12:99-108, 1986
- 2) Krueger AP, Reed EJ : Biological impact of small air ions. *Science* 193 : 1209 -1213, 1976
- 3) Hawkins LH, Barker T : Air ions and human performance. *Ergonomics* 21 : 273-278, 1978
- 4) Tom G, Poole MF et al : The influence of negative air ions on human performance and mood. *Human Factors* 23 : 633-636, 1981
- 5) Goldstein NI, Goldstein RN et al : Negative air ions as a source of superoxide. *Int J Biometeorol* 36 : 118-122, 1992
- 6) 渡部一郎、野呂浩史、他：負イオンサウナ浴がヒトの循環動態に与える影響、*臨環境* 5 : 12-17, 1996
- 7) Arai Y, Saul JP, et al : Modulation of cardiac autonomic activity during and immediately after exercise. *Am J Physiol* 256 : H132-H141, 1989

- 8) Yamamoto Y, Hughson RL, et al : Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol* 71 : 1136-1142, 1991
- 9) 加藤貴雄、斎藤寛和 : 不整脈と自律神経—トリガーとしての自律神経、呼と循44 : 19-25, 1996
- 10) Astrand PO, Rodahl K : Textbook of work physiology. McGraw-Hill, New York, 1970, pp. 135-183
- 11) Society for Neuroscience : Brain facts : A primer on the brain and nervous system. The Society for Neuroscience in the United States, Washington D. C. 1990
- 12) Krueger AP, Smith RF : The biological mechanisms of air ion action : Negative air ion effects on the concentration and metabolism of 5-hydroxytryptamine in the mammalian respiratory tract. *J Gen Physiol* 44 : 269-276, 1960
- 13) Diamond MC, Conner JR, et al : Environmental influences on serotonin and cyclic nucleotides in rat cerebral cortex. *Science* 210 : 652-654, 1980
- 14) Tal E, Pfeifer Y, et al : Effect of air ionization on blood serotonin in vitro. *Experientia* 32 : 326-327, 1976
- 15) Moffet D, Moffet S : Human physiology. Mosby-Year, St. Louis, 1993, pp 203-353