

経皮試料の溶性および不溶性分画中窒素含量に 及ぼす環境温度および運動負荷の影響

村松成司¹、鈴木正敏²、村松百合子³、高橋徹三⁴

¹千葉大学教養部、²九州工業大学、³千葉県体育学会員、⁴東京家政大学

Effects of environmental temperature and exercise on nitrogen content in water-soluble or water-insoluble fraction of integumentary sample

Shigeji MURAMATSU¹, Masatoshi SUZUKI², Yuriko MURAMATSU³
and Tetsuzo TAKAHASHI⁴

¹ The College of Arts and Sciences, Chiba University.

² Department of Physical Education, Kyushu Institute of Technology.

³ A Member of Chiba Society of Physical Education.

⁴ Faculty of Home Economics and Sciences, Tokyo Kasei University.

Summary The present study was designed to estimate the changes of nitrogen contents in water-soluble or water-insoluble fraction of integumentary sample induced by environmental temperature and exercise loading. Six healthy male students served as the subjects. The daily dermal nitrogen losses were 435 ± 189 mg in summer-rest, 785 ± 270 mg in summer-exercise and 219 ± 73 mg in winter-rest, showing that significantly higher dermal nitrogen losses were obtained when environmental temperature was higher and when exercise was loaded compared with rest condition. The large amounts of changes of dermal nitrogen loss mentioned above were observed in water-soluble fraction, showing that water-soluble N-compounds such as urea, ammonia and so on were more affected by environmental temperature and by exercise loading, compared with water-insoluble N-compound.

これまで高温環境下あるいは運動負荷時にはおびただしい発汗とともに経皮窒素損失量が增大することが観察されてきている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾²²⁾。また、我々も環境温度、タンパク質摂取レベル、エネルギー摂取量および運動負荷によって経皮窒素損失量が変動することを観察した¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁹⁾。本来、これらの体表により損失される窒素は汗腺および他の腺の活動によって排泄される溶性化合物由来の窒素と上皮組織の剝離および毛髪等の不溶性化合物由来の窒素が考えられる⁹⁾。本報告は先に観察された経皮窒素損失量の変動が溶性分画によるものかあるいは不溶性分画によるものかを検討するために行った。特に環境温度および運動負荷による影響について検討した。

実験方法

被験者として健康な男子大学生6名を用い、その身体的特性を表1に示した。これら各被験者は体育専攻学生で運動訓練に対しては比較的習熟していると考えられる。

Table 1. Characteristics of subjects.

| Subj. | Age | Height | Weight(kg)* | |
|-------|-------|--------|-------------|--------|
| | (yrs) | (cm) | Summer | Winter |
| A | 21 | 182.0 | 80.6 | 82.8 |
| B | 21 | 174.6 | 63.5 | 64.0 |
| C | 21 | 176.5 | 80.5 | 82.0 |
| D | 21 | 161.0 | 54.5 | 54.0 |
| E | 22 | 174.0 | 64.0 | 65.5 |
| F | 21 | 176.0 | 68.2 | 68.0 |

*Initial body weight in each period.

実験は夏季(8月)および冬季(2月)の2回行った。夏季実験は調整期8日間、安静対照期4日間(以下夏季安静期とする)、運動負荷期2日間(以下夏季運動期とする)の計14日間とした。冬季実験は調整期8日間、安静対照期4日間(冬季安静期とする)の計12日間とした。夏季、冬季いずれも調整期、安静期には特別な運動を避けた比較的安静な日常生活をさせた。夏季実験にお

ける運動負荷期では自転車エルゴメーターを用いて1分間に800kgmの割合で20分間の運動を1日2回(午前午後各1回)行わせた。

夏季、冬季の各期ともに共通の食事を与えた。実験食に用いた食品中に含まれる窒素量はケルダール法にて実測した。平均のタンパク質摂取量は体重1kgあたり1.21±0.04gであった。エネルギー量は食品標準成分表²⁾³⁾から求めた。エネルギー摂取量は体重1kgあたり42kcalを目標に計画したが、結果として42~44kcalとなった。これらタンパク質およびエネルギーの摂取量は日本人の一般的な食生活レベルである。

夏季安静期、夏季運動期は毎日24時間単位で、冬季安静期は4日間プールして経皮窒素損失量を測定した。

経皮損失窒素の採集法についてはアームバック法、局部採集法(スポットサンプリング法)、全身採集法などが報告されているが⁸⁾、アームバック法、局部採取法などのように局部的に採取された試料中の窒素量から全身より損失される窒素量を推測することには問題があることがこれまで指摘されている⁶⁾²⁰⁾。そこで今回は全身採集法を用いた。まず、経皮窒素採集のために作成したシャワー装置内で市販の石鹼を用いて身体を十分に洗浄し、更に蒸留水で全身をすすいだ。そして予め洗剤および蒸留水にて洗濯すすぎ処理をし乾燥させたタオルでよく水を拭き取った。ついで、同様に洗浄処理をした下着類(長袖のシャツ、ステテコ、靴下)を身に付けさせた。また顔および手よりにじみ出る汗を拭うために洗浄処理をしたタオルを携行させた。一定の期間終了後、同時刻に同じシャワー装置にて蒸留水を用いて身体の表面を十分にこすりながら洗いがした。身に付けた衣類およびタオルは蒸留水に24時間浸した後更にその中で十分にもみ洗いをした。このようにして得られた経皮試料を定量用濾紙に通し、濾紙に付着した不溶性分画と濾紙を通過した溶性分画とに分離し、それぞれの分画中の窒素量をケルダール

法により測定した。溶性分画試料は量的に多くなることから試料中より一定量（約1リットリ前後）をとり、分解ビン中で濃縮させながら、最終的に硫酸分解し、測定した。

実験室は日中エアコンディショナーで調整されていたが、室外の日中（正午）の平均気温は夏季24.5℃、冬季5.5℃であった

結 果

夏季および冬季実験における経皮窒素損失量の結果を表2に示した。夏季安静期は4日間の平均

Table 2. Changes of dermal nitrogen loss induced by environmental temperature and exercise loading(mg/day)

| Subj. | Summer | | Winter |
|-------------|------------|------------|-----------|
| | Rest | Exercise | Rest |
| A | 303 | 673 | 272 |
| B | 193 | 522 | 157 |
| C | 716 | 1306 | 335 |
| D | 349 | 777 | 142 |
| E | 531 | 687 | 190 |
| F | 516 | 738 | 215 |
| Mean ±SD | 435 189 | 785 270 | 219 73 |

値を、夏季運動期は2日間の平均値を示し、冬季安静期は4日間プールして得られた値の1日量を示した。各期の平均値は夏季安静期435±189

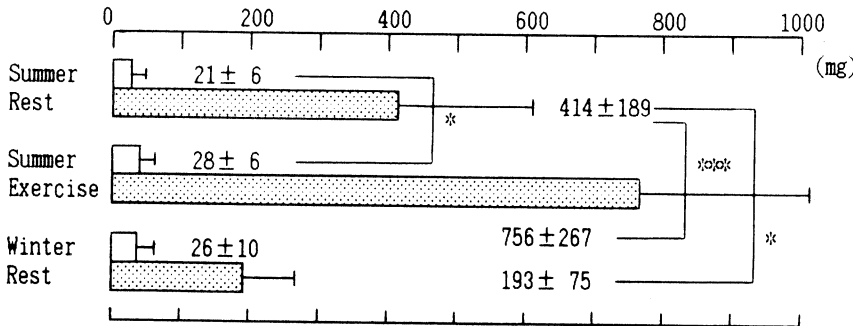


Fig.1. Changes of nitrogen contents in water-soluble fraction and in insoluble fraction of integumentary sample(mg/day). (Significance * $p < 0.05$, ** $p < 0.005$)

□ Insoluble fraction ■ Soluble fraction

mg/日、夏季運動期785±270mg/日、冬季安静期219±73mg/日となり、経皮窒素損失量は安静期よりも運動期に有意に高く($p < 0.005$)、また冬季よりも夏季において有意に高かった($p < 0.05$)。

夏季安静期、夏季運動期および冬季安静期の経皮窒素損失量をそれぞれ溶性分画と不溶性分画に分け、図1に示した。夏季安静期、夏季運動期、冬季安静期の不溶性分画中の窒素量はそれぞれ21.6±6mg、28±6mg、26±10mgであり、夏季安静期と夏季運動期の間に有意な差がみられた($p < 0.05$)。一方、溶性分画中の窒素量はそれぞれ414±189mg、756±267mg、193±75mgであり、夏季運動期は夏季安静期よりも有意に高く($p < 0.005$)、また夏季安静期は冬季安静期よりも有意に高かった($p < 0.05$)。

考 察

今回、経皮窒素損失量は夏季安静期よりも夏季運動期において有意に高く、また、冬季安静期よりも夏季安静期において有意に高くなることを観察した。これらは運動負荷することによりあるいはより高温条件下において経皮窒素損失量が増加することを示しており、これまでの多くの報告⁴⁾⁵⁾⁷⁾¹⁰⁾と一致する結果である。

全身より採集された経皮試料の各分画の窒素量は運動負荷することにより不溶性分画、溶性分画いずれも有意に増加したがその増加量は平均値で不溶性分画7mg、溶性分画342mgであり、運動負荷による経皮窒素損失量の増加の97.9%が可溶性分画中の窒素量の増加によるものであった。また、環境温度の影響をみると不溶性分画では夏季安静期よりも冬季安静期が平均値で高くなる傾向にあっ

たが有意な差はなく、溶性分画では夏季安静期よりも冬季安静期が平均値で216mg低くなった。このことから冬季安静期にみられた経皮窒素損失量の減少は溶性分画中の窒素量の減少によるものであることが明らかである。

先にDark⁹⁾は皮膚からの窒素化合物の損失について全損失量は254mgであったが、そのうち水溶性化合物由来の窒素量は201mgで、不溶性化合物由来の窒素量は53mgであると報告している。また、同時に水溶性化合物のほとんどは尿素窒素およびアンモニア性窒素であることを観察している。さらにVoit²⁰⁾は汗をかかない被験者の経皮窒素損失量は24時間で333mgであったが、このうち122mgはケラチンで211mgが水溶あるいはアルコール溶の窒素化合物であったとしている。これらの報告からも経皮損失窒素のレベルは測定者により差はみられるが、経皮損失窒素の多くは汗中の尿素、アンモニアなど水溶性化合物由来の窒素によるものであることが推察できる。したがって本実験においてみられた運動負荷および環境温度による経皮窒素損失量の変動もその多くは溶性化合物由来の窒素の変動によるものであると考えられる。今回、溶性分画中に含まれる化合物の分析は行わなかったが、その多くは尿素窒素あるいはアンモニア性窒素であると思われる。これまでも血中尿素窒素(BUN)と経皮窒素損失量はかなり高い相関関係にあることが報告されているが⁵⁾¹²⁾¹⁷⁾¹⁸⁾、これらの報告は経皮窒素損失量の多くが汗腺等を通して排泄される内因性の窒素化合物によってなされた可能性を示唆している。

また、不溶性分画中の窒素量は運動負荷によって有意な増加がみられたものの溶性分画による増加に比べ著明に少なく、また、環境温度の影響も顕著でないことから、不溶性分画中の窒素量はこれら実験条件下においても比較的一定であると考えられる。これらのことから、運動負荷および環境温度によってもたらされた経皮窒素損失量の変動に対する皮膚の剝離、毛髪、爪等の不溶性化

合物由来の窒素の影響は少ないものと考えられる。

要 約

経皮試料の溶性および不溶性分画中の窒素含量に及ぼす環境温度および運動負荷の影響について検討した。6名の健康な男子大学生を被験者とした。夏季調整期(8日間)、安静対照期(4日間)、運動負荷期(2日間)および冬季調整期(8日間)、安静対照期(4日間)を設け、調整期をのぞく各期の経皮窒素損失量を測定した。その際、定量用濾紙にて濾過し、水溶性分画と不溶性分画に分けて定量した。結果は以下の通りである。

1. 経皮窒素損失量は夏季安静対照期 0.44 ± 0.19 g/日、運動負荷期 0.79 ± 0.19 g/日、冬季安静対照期 0.22 ± 0.07 g/日 (3.10 ± 0.58 mg/kg/日)となり、冬季よりも夏季に有意に増加し、また運動負荷することにより有意に増加した。
2. 夏季安静対照期に比べ夏季運動負荷期は水溶性分画中および水溶性分画中の窒素量ともに有意に増加したが、その増加量は水溶性分画中の方が著明に大きかった。冬季安静対照期は夏季安静対照期に比べ不溶性分画中の窒素量は有意な差はみられなかったが、水溶性分画中の窒素は有意に減少した。

以上の結果から、経皮窒素損失量は環境温度および運動負荷の影響により有意に変動するが、それは主に尿素、アンモニア等の水溶性窒素化合物の変動によってなされたものであることが示された。

参考文献

- 1) Ashworth, A. and Harrower, A. D.: Protein requirements in tropical countries; nitrogen losses in sweat and their relation to nitrogen balance. Brit. J. Nutr., 21. 833(1967)
- 2) Bost, R. W. and Borgstrom, P.: Cutaneous excretion of nitrogenous materials in New

- Olians. *Am. J. Physiol.*, 79, 242 (1926)
- 3) Calloway, D. H., Odell, A. C. F. and Margen, S.: Sweat and miscellaneous nitrogen losses in human balance studies. *J. Nutr.* 101, 775 (1971)
- 4) Consolazio, C. F., Nelson, R. A., Matoush, L. O., Harding, R. S. and Canham, J. E.: Nitrogen excretion in sweat and its relation to nitrogen balance requirements. *J. Nutr.* 79, 399 (1963)
- 5) Consolazio, C. F., Matoush, L. O., Nelson, R. A., Harding, R. S. and Canham, J. E.: Excretion of sodium, potassium, magnesium and iron in human sweat and the relation of each to balance and requirements. *J. Nutr.* 79, 407 (1963)
- 6) Consolazio, C. F., Matoush, L. O., Nelson, R. A., Issac, G. J. and Canham, L. E.: Comparisons of nitrogen, calcium and iodine excretion in arm and total body sweat. *Am. J. Clin. Nutr.* 18, 443 (1966)
- 7) Consolazio, C. F., Nelson, R. A., Dramise, J. G. and Skala, J. H.: Protein metabolism during intensive physical training in the young adult. *Am. J. Clin. Nutr.* 28, 29 (1975)
- 8) Costa, F., Calloway, D. H. and Margen, S.: Regional and total body sweat composition of men fed controlled diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 22, 52 (1969)
- 9) Dark, S. J.: The cutaneous loss of nitrogen compounds in African adults. *Brit. J. Nutr.* 14, 115 (1960)
- 10) Huang, P. C., Chong, H. C. and Rand, W. M.: Obligatory urinary and fecal nitrogen losses in Chinese men. *J. Nutr.* 102, 1605 (1972)
- 11) Huang, P. C., Lo, C. C. and Ho, W. T.: Protein requirements of men in a hot climate; decreased urinary nitrogen losses concomitant with increased sweat nitrogen losses during exposure to high environmental temperature. *Am. J. Clin. Nutr.* 28, 494 (1975)
- 12) Komives, G. K., Robinson, S. and Roberts, J. T.: Urea transfer across the sweat glands. *J. Appl. Physiol.* 21, 1681 (1966)
- 13) 村松成司、鈴木正敏、高橋徹三: 米・大豆タンパク質をタンパク源とした場合の窒素出納に及ぼす運動負荷の影響、*日本栄食誌*、39(1), 9 (1986)
- 14) 村松成司、高橋徹三: 運動時の尿中窒素排泄量、経皮窒素損失量の変動に及ぼすエネルギー供給条件の影響、*日本栄食誌*、39(4), 257 (1986)
- 15) 村松成司、高橋徹三: 運動時の尿中窒素排泄量、経皮窒素損失量および窒素出納値に及ぼすタンパク質およびエネルギー摂取レベルの影響、*日本栄食誌*、39(6), 441 (1986)
- 16) 村松成司、山田哲雄、高橋徹三: 運動時の尿中窒素排泄量、経皮窒素損失量の一過性の変動に及ぼす運動強度の影響、*日本栄食誌*、40(3), 171 (1987)
- 17) Schwartz, J. L., Thyson, J. H. and Dole, V. P.: Urea excretion in human sweat as a tracer for movement of water within the secreting gland. *J. Exptl. Med.* 97, 429 (1953)
- 18) Sirbu, E. R., Margen, S. and Calloway, D. H.: Effect of reduced protein intake on the nitrogen loss from the human integument. *Am. J. Clin. Nutr.* 20, 1158 (1967)
- 19) Takahashi, T., Muramatsu, S. and Suzuki, M.: Effect of season and exercise on dermal nitrogen losses and their relation to urinary nitrogen excretion. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 31, 363 (1985)
- 20) van Heyningen, R. and Weiner, J. S.: A comparison of arm-bag sweat and body sweat. *J. Physiol.* 116, 395 (1952)
- 21) Voit, E.: The amount of renewal of the hu-

man integument; III, The Epidermis. Z. Biol.
90,549(1930)
22) Weiner, J. S., Willson, J. O., Nell, H. R. and
Wheeler, E. F.: The effect of work level and

dietary intakes on sweat nitrogen losses
in a hot climate. Brit. J. Nutr. 27,543(1972)
23) 四訂日本食品標準成分表 (科学技術庁資源調
査会篇) (1982) 大蔵省印刷局 (東京)