

尿中窒素排泄量および経皮窒素損失量の変動に及ぼす運動強度の影響

村松成司¹ 山田哲雄² 服部洋児³ 服部祐児⁴ 村松百合子⁵

¹千葉大学 ²関東学院女子短期大学 ³大同工業大学 ⁴筑波大学 ⁵日本体育学会員

Effect of exercise intensity on urinary nitrogen excretion and dermal nitrogen loss in men

Shigeji MURAMATSU¹ Tetsuo YAMADA² Yoji HATTORI³ Yuji HATTORI⁴ Yuriko MURAMATSU⁵

¹ Chiba University ² Kanto Gakuin Women's Junior College ³ Daido Institute of Technology

⁴ Tsukuba University ⁵ A member of Japanese Society of Physical Education

Abstract

The present study was carried out to investigate the effect of exercise intensity on urinary nitrogen excretion and dermal nitrogen loss. The experiment was planned in May to June. The means of room temperature was 24.4-25.5 °C. Experiment consisted of 16 days, in which the latter three days were used as the experimental days. These experimental days were control(C), 60%VO₂max exercise(60%E) and 80%VO₂max exercise(80%E) days. The remarkable decreases of urinary nitrogen excretion were found during exercise both in 60%E and 80%E days. After exercise urinary nitrogen excretion increased. There were no differences between 60%E and 80%E days since 15:00. Urinary nitrogen excretion per day were lower in 60%E and 80%E than in C day. The large amount of dermal nitrogen loss was found in 80%E, compared with that in 60%E. The sum of urinary nitrogen excretion and dermal nitrogen loss were as the order of C>80%E>60%E.

緒言

著者らはこれまで運動負荷時の尿中窒素排泄量および経皮窒素損失量に対するタンパク質摂取量およびエネルギー摂取量の影響に関して検討した。その結果、運動負荷によるエネルギー消費量に相当するエネルギーが供給されている場合には運動負荷により経皮窒素損失量は増加するが尿中窒素排泄量は減少するために結果として生体からの窒素の損失はみられないことを観察した^{1) 2) 3) 4)}。さらにこれら尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量に及ぼす運動負荷の影響については運動強度も関係することが考えられることから、比較的軽い強度の運動(最大酸素摂取量の60%強度)と比較的強い強度の運動(最大酸素摂取量の80%強度)の違いについて検討した。その結果、比較的軽い強度の運動を負荷した場合よりも比較的強い強度の運動を負荷した方が尿中窒素排泄量および経皮窒素損失量が増加する傾向にあることを観察した⁵⁾。これまでも生体にストレスを与えていると考

えられる条件下では尿中窒素排泄量の増加がみられることが報告されており^{7) 8)}、先の実験⁵⁾では最大酸素摂取量の80%強度は60%強度に比べかなりのストレスが被験者にかかっていることが推察された。本実験は先の報告⁵⁾にみられた尿中窒素排泄量および経皮窒素損失量に及ぼす運動強度の影響をさらに確認するために行った。

実験方法

被験者は健康な男子5名である。被験者の年齢、身長、体重および最大酸素摂取量を表1に示した。

Table 1. Characteristics of subjects.

	Age	BH	BW	VO ₂ max	
Sub. (yrs)	(cm)	(kg)	(l/min)	(ml/kg/min)	
A	30	170	65.3	2.513	38.5
B	25	177	75.2	3.487	46.4
C	29	171	61.1	2.917	47.7
D	23	177	65.7	2.553	38.6
E	22	171	71.0	2.957	41.6

実験は16日間で、1日目から13日目までを調整期、14日目を安静対照日（以下対照日）、15日目を最大酸素摂取量の60%強度の運動負荷日（以下60%運動日）そして16日目を最大酸素摂取量の80%強度の運動負荷日（以下80%運動日）とした。今回、窒素摂取量をかなりを低くしたので、生体が低タンパク食摂取に適應するために調整期は長くおくようにした。調整期および対照日は特別な運動を避けた比較的安寧な日常生活を行わせた。60%運動日および80%運動日は自転車エルゴメーターを用いてそれぞれの強度で20分間（60回転/分）の運動を5分間の休息をはさんで9時10分から2回負荷した。

調整期1日目より4日目までは日常食品を材料とし、1日あたりほぼ60mg×6.25×体重のタンパク質を含む食事を与えた。5日目より16日目までは表2に示した実験食を与えた（表中の数値は5名の被験者の平均値を示した）。タンパク質摂取量は平均26.4g/日（62.4mgN/kg/日）、エネルギー摂取量は平均2986kcal/日（44kcal/kg/日）であった。実験食に用いた食品はコーンスターチ、ショ糖、マーガリン、コーンオイル、ショートニング、大豆ソーセージ、醤油、梅干し（ペースト状）である。これら食品中の窒素はケルダール法により実測し、エネルギー量は四訂日本食品成分表⁹⁾に基づいて計算した。60%運動日、80%

運動日には運動負荷によるエネルギー消費量に相当するエネルギー量を添加するために、コーンスターチ、ショ糖、マーガリンの摂取量を増加させ、それぞれエネルギー摂取量を50kcal/kg/日、52kcal/kg/日にした。食事は朝食7時～7時30分、昼食13時～13時30分、夕食19時～19時30分の間にそれぞれ摂取させた。

尿は対照日、60%運動日、80%運動日ともに7時より21時まで2時間毎に採集し、21時以降は翌日7時までプールした。汗は3日間ともに9時より11時と11時から翌日の9時までの2分画にわけ、採集した。汗の採集方法は前報⁵⁾と同じである。尿および汗中の窒素はケルダール法を用いて測定した。また対照日、60%運動日、80%運動日ともに9時、10時、11時、13時そして翌日の9時に採血し、尿素窒素（BUN）を測定した。

実験は5月～6月に行った。実験期間中の平均室温は実験1は24.4～25.5℃であった。

実験結果

7時より2時間毎に採集した尿中の窒素排泄量の変動を図1に示した。値はいずれも運動前の時間帯の7時から9時までの尿中窒素排泄量に対する差で示した。対照日では9時から11時でやや増加の傾向を示したが、60%運動日および80%運動日ともに運動負荷時間帯（9時から11時）で急激に減少し、7時から9時までの値に対して有意差があった。また対照日の同時時間帯の尿中窒素排泄量に対しても有意差がみられた。その後の時間帯では両運動負荷日ともに急速に増加した。13時までの尿でほぼ運動前の状態に戻り、以後3実験日ともにほ

Table 2. Composition of experimental diet.

Meal	Energy (kcal)	Protein (g)	Fat (g)	Carbohydrate (g)
Breakfast	570±5*	8.7±0.7	23.0±0.3	82.4±0.2
Lunch	1208±118	8.9±0.7	30.6±3.3	224.6±21.7
Supper	1208±118	8.9±0.7	30.6±3.3	224.6±21.7
Total	2986±242	26.4±2.0	84.0±6.8	531.7±43.8

* Mean ± Standard deviation for five subjects. Vitamin(0.5g) and mineral (10g) mixtures were given at supper. Vitamin mixture(0.5g) contained following components; B₁-HCl 1.0mg, B₂ 1.4mg, C 50mg, niacin 17mg, Pyridoxine-HCl 3.0mg, Folic acid 0.4mg, B₁₂ 0.003mg, Panthotenate-Ca 10mg. Vitamin A and tochoferol-acetate were further given 5000 Unit/day and 50mg/day, respectively. Mineral mixture(in 10g) contained following components; CaHPO₄·2H₂O 2g, CaCO₃ 0.9g, KH₂PO₄ 2g, KHCO₃ 3.5g, MgO 0.6g, FeSO₄·7H₂O 60mg, MnSO₄·4H₂O 3mg, CuSO₄·5H₂O 8mg, ZnCl₂ 5mg, KI 0.2mg, Na₂MoO₄·2H₂O 0.2mg, Cr₂(SO₄)₃·15H₂O 1mg, AlK(SO₄)₂·12H₂O 30mg, Na₂SeO₃ 0.008mg.

ほぼ同様な傾向を示した。60%運動日と80%運動日とで運動負荷時間帯の尿中窒素排泄量の減少の程度は80%運動日>60%運動日であったが、両運動負荷日の間に有意な差はみられなかった。

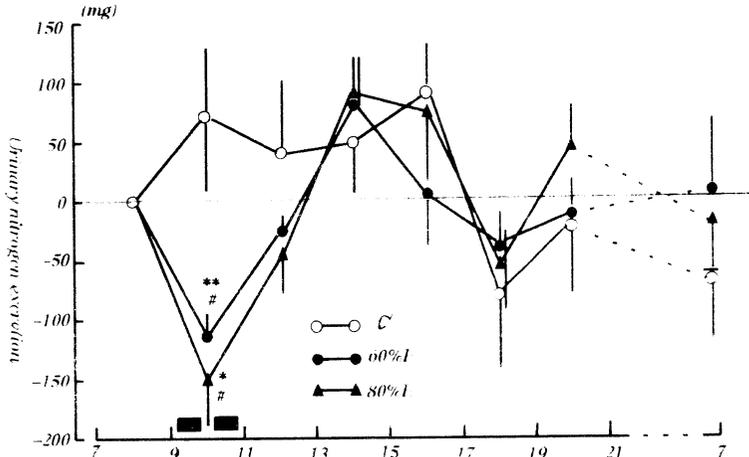


Fig.1. Relative changes of urinary nitrogen excretion compared with that during 2 hours from 7:00 to 9:00 in each experimental period. Significance (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared with that from 7:00 to 9:00 in each period and # $p < 0.05$ compared with C). The data from 21:00 to 7:00 represented per 2 hours urine. (■ Exercise 20 min)

尿中窒素排泄量を9時から11時の運動負荷時間帯、11時から翌日の9時までの回復時間帯およびそれらを合わせた1日の総排泄量に分けて図2に示した。運動負荷時間帯の尿中窒素排泄量は対照日より運動負荷日の方が少なく、両運動日ともに有意であった。回復時間帯では3実験日の間に有意な差はないが、平均値では対照日>80%運動日>60%運動日の順に高い傾向を示した。1日の尿中窒素の総排泄量では回復時間帯とほぼ同じ傾向を示し、対照日に比較して両運動負荷日ともに低い傾向にあったが、個人差が大きく有意な差は得られなかった。

各実験日の経皮窒素損失量を運動負荷時間帯(9時から11時)、回復時間帯(11時から翌日の9時)、それらを合わせた総排泄量(9時から翌日の9時)において

図3に示した。運動負荷時間帯では80%運動日>60%運動日>対照日の順に高く、いずれの間にも有意な差が認められた。回復時間帯では対照日が最も低く、両運動日はほとんど差がみられな

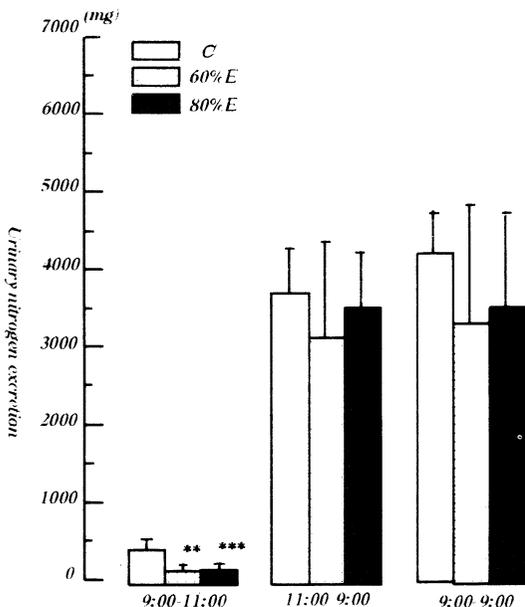


Fig.2. Changes in urinary nitrogen excretion in exercise period(9:00-11:00), recovery period(11:00-9:00) and whole period(9:00-9:00) in each experimental day. Significance(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$ compared with C)

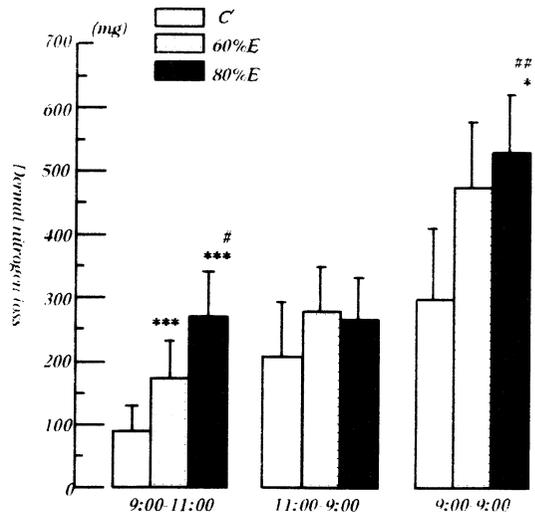


Fig.3. Changes in dermal nitrogen loss in exercise period(9:00-11:00), recovery period(11:00-9:00) and whole period(9:00-9:00) in each experimental day. Significance(* $p < 0.05$, *** $p < 0.005$ compared with C and # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$ compared with 60%E)

かった。1日の経皮窒素損失量でみると両運動日ともに対照日より高かったが、特に80%運動日では対照日、60%運動日の両日に対して有意な差であった。

尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量の和を運動負荷時間帯、回復時間帯およびそれらを合わせた総排泄量とに分けて図4に示した。運動負荷時間帯では両運動日ともに対照日より有意に低い値であった。回復時間帯では有意差はなかったが60%運動日が対照日より低く、80%運動日は60%運動日より高い傾向にあった。1日の総排泄量では回復時間帯と同じ傾向を示した。

血中尿素窒素の結果を図5に示した。値はいずれも運動負荷前の9時の値を基準にしてその差を示した。運動負荷直後は両運動実験日も対照日と同じ増加を示した。その後は対照日はほとんど一定であったのに対し、60%運動日、80%運動日はさらに増加を示し、両運動日ともに対照日の同時間帯の値よりも有意に高かった。翌日の9時における血中尿素窒素は両運動日ともに高い値を維持しており、各運動日の初期値(9時の値)には戻っていなかった。したがって、絶対値での血中尿素窒素は運動強度が高い実験日ほどさらに高いレベルで変動していることが示された。

考察

尿中窒素排泄量の2時間毎の経時的变化では運動負荷時間帯の尿中窒素排泄量が運動負荷前に比べて有意に減少したが、これはすでに先の報告⁵⁾において観察した事実と一致する。運動負荷による尿中窒素排泄量の増加が運動後に遅延して観察されることはすでに Millwardら¹⁰⁾によって報告されており、今回も運動負荷時間帯(9時から11時)の著しい減少の後、速やかに排泄の増加が観察された。しかし、尿中窒素排泄量が運動前のレベルにもどった後の尿中窒素排泄量の変動は60%運動日、80%運動日ともに対照日とほとんど同じ傾向を示し、特別に運動負荷日に増加する傾向は観察されなかった。先の報告⁵⁾では13時から19時の間に80%運動日が対照日、60%

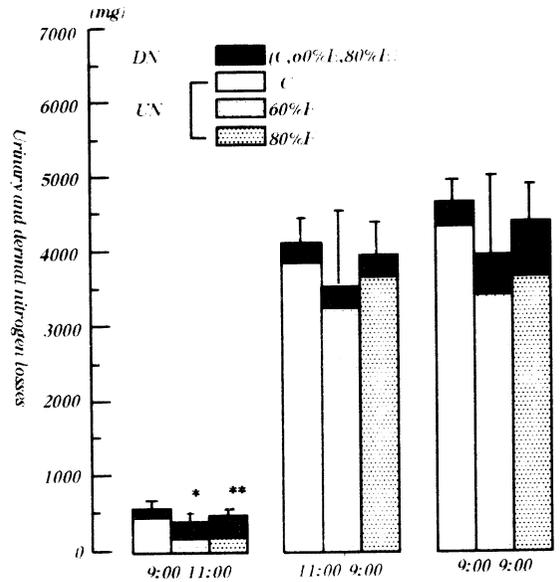


Fig. 4. Changes of sum of urinary nitrogen excretion (UN) and dermal nitrogen loss (DN) in exercise period (9:00-11:00), recovery period (11:00-9:00) and whole period (9:00-9:00) in each experimental day. Significance: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ compared with C)

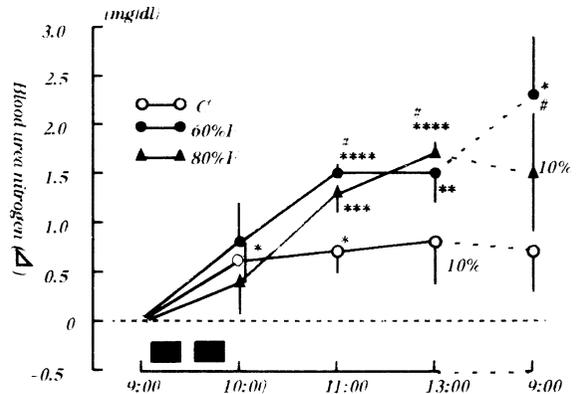


Fig. 5. Changes of urea nitrogen in blood (BU_N). Data presented the mean \pm Standard error for 5 subjects in each experimental day. (■ Exercise 20 min). Significance: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$ compared with the data at 9:00 in each day and # $p < 0.05$)

運動日より高い尿中窒素排泄量を観察した。従来、尿中窒素排泄量は生体がストレス状態にあるときに増加することが報告されている。Consolazioらは85Fおよび100Fの環境温度を設定した人工気候室内で生活させながら1日30分の運動を負荷する実験を行い、1日の尿中窒素排泄量は減少しないことを報告している¹¹⁾。しかしながら、これに対し Ashworth¹²⁾はConsolazioらの実験は被

験者にとってかなりのストレス因子となっており、このことが尿中窒素排泄量を減少させなかった原因と考えると指摘している。これらのことから、今回の実験における運動負荷がConsolazioらの指摘したような極端なストレスにはなっていないと考えられる。

尿中窒素排泄量を1日あたりでみると対照日に対して両運動日ともに低かった。これは先の時間尿で検討したように、運動負荷時間帯における尿中窒素排泄量の減少がその後においても排泄増加によって補われることなく、対照日とほとんど同じ排泄量を示したことが影響したものである。運動負荷日の尿中窒素排泄量の1日量が対照日(運動を負荷しない日)よりも低いことはすでにこれまでの報告で述べてきた結果と同じである。運動負荷強度の違いによる影響を見ると、60%運動日の尿中窒素排泄量よりも80%運動日の方が有意な差ではないが高い傾向にあり、これは運動強度が高くなることによって尿中窒素排泄量が増加する可能性を示唆するものであると思われる。今回は対照日と比較していずれの運動負荷日も低いことから極端なストレスが加わったことは考えられないが、運動負荷日間に見た場合には相対的には運動強度の違いによるストレスの差が現れたものと考えられる。

経皮窒素損失量は運動負荷時間帯では両実験ともに運動強度が高くなるに連れて有意に増加し、1日量をもみても両運動日は両実験ともに対照期よりも高く、運動負荷することにより経皮窒素損失量が増加することは明らかである。このことはこれまでの多くの報告でも認められている事実である。時間帯では運動負荷時間帯に高い損失量が観察されており、発汗に伴い体窒素が損失していることが明らかである。

尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量の和をみると運動負荷による尿中窒素排泄量の減少が大きく、経皮窒素損失量の増加量を合わせても有意差はないが60%運動日は対照日よりも低く、80%運動日は60%運動日より高かったが、対照日より低かった。60%運動日と80%運動日との間

で比較すると80%運動日は60%運動日に対して高い傾向がみられた。また先の実験においても7時から21時までの時間帯であるが60%運動日より80%運動日において尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量の和が増加する傾向を観察している⁵⁾。これらのことは尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量の和は運動強度が強くなることにより増加することを示していると考えられる。

体タンパク質分解の動向を示す指標として血中尿素窒素の変動を測定したが、60%運動日、80%運動日いずれも運動終了直後よりも1時間後、3時間後に大きく増加した。これらの事実は先の報告^{4) 5)}と一致しており、本実験において観察された尿中窒素排泄量の運動後の急速な増加を裏付ける結果であると考えられる。なお、これらは血中尿素窒素の変動に及ぼす運動負荷の影響を経時的に検討したものであるが、絶対値でみると60%運動日の翌朝の9時の値が高いことからも明らかのように、80%運動日は60%運動日に比べさらに高いレベルで変動しており、60%運動日に比べ80%運動日でさらに体タンパク質の分解が高まっていたことが推察される。

尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量における代償作用に関しては、今回の実験では両運動負荷日ともに対照日と比較して1日あたりの経皮窒素損失量は増加し、尿中窒素排泄量は減少したことにより窒素総排泄量(尿中+経皮)には有意な差は見られず、結果として代償作用を認める結果となった。しかしながら、60%運動日と80%運動日と比較した場合にはわずかながら運動負荷強度の高い方が1日の窒素総排泄量が高い傾向にあることから、運動負荷強度の違いによりその傾向が異なる可能性も示唆していると考えられる。したがって今回の実験条件下での運動負荷はAshworth¹²⁾の指摘するような極端な生体ストレスをもたらすことは考えられないが、これに高温な環境条件を加味した場合にはたとえ今回と同じ運動負荷条件であっても運動負荷強度の違いによる影響が顕著に現れる可能性も十分に考えられる。今後、この点に関してさらに検討することが必要である。

要約

健康な男子5名を被験者とし、平均室温が24.4～25.5°Cの環境下で実験を行った。実験は13日間の調整期の後、連続する3日間を用い、それぞれ安静対照日(対照日)、最大酸素摂取量の60%強度の運動負荷日(60%運動日)、最大酸素摂取量の80%強度の運動負荷日(80%運動日)とした。

結果は以下の通りである。

1. 運動負荷時間帯における尿中窒素排泄量は運動負荷前に比べて両運動日ともに有意に減少した。その後はいずれも速やかに回復した。15時以降では60%運動日、80%運動日ともに対照日とほぼ同じ変動を示した。

2. 尿中窒素排泄量の1日量は両運動負荷日ともに対照日よりも低く、両運動日の間では80%運動日が60%運動日よりも高い傾向にあった。

3. 経皮窒素損失量は対照日と比べて両実験ともに運動強度が強くなるに連れて増加する傾向を示した。特に80%運動日は対照日、60%運動日に対して有意であった。

4. 尿中窒素排泄量と経皮窒素損失量の1日量の和は対照日>80%運動日>60%運動日の順に高かった。

以上のことより運動強度の強い方が尿中窒素排泄量および経皮窒素損失量は高くなることが示され、運動負荷は強度の違いが体タンパク質の分解を促進し、尿中窒素排泄量の増加をもたらす可能性が示唆された。

参考文献

1) Takahashi, T., Muramatsu, S. and Suzuki, M.: Effects of season and exercise on dermal nitrogen losses and their relation to urinary nitrogen excretion. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 31, 363-373, 1985

2) 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資源とした場合の窒素出納に及ぼす運動負荷の影響, *日本栄養誌*, 39(1), 9-14, 1986

3) 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, *日本栄養誌*, 39(4), 257-263, 1986

4) 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, *日本栄養誌*, 39(6), 441-447, 1986

5) 村松成司, 山田哲雄, 高橋徹三: 運動時の尿中窒素損失量および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, *日本栄養誌*, 40(3), 171-177, 1987

6) 村松成司, 山田哲雄, 高橋徹三: 短期運動訓練時の体窒素損失および窒素出納に及ぼす運動強度の影響, *日本栄養誌*, 44(6), 517-521, 1992

7) Scrimshaw, N.S., Habicht, J.P., Piche, M.L., Cholakov, B. and Arroyave, G. *Am. J. Clin. Nutr.*, 18, 321, 1966

8) Scrimshaw, N.S., Habicht, J.P., Pellet, P., Piche, M.L. and Cholakov, B., *Am. J. Clin. Nutr.*, 19, 313, 1966

9) 四訂日本食品標準成分表(科学技術庁資源調査会編), 大蔵省印刷局(東京), 1982

10) Millward, D.J., Davies, C.T.M., Halliday, D., Wolman, S.L., Matthews, D. and Rennie, M. *Fed. Proc.* 41, 2686, 1982

11) Consolazio, C.F., Johnson, H.L., Nelson, R.A., Dramise, J.G. and Skala, J.H. *Am. J. Clin. Nutr.*, 28, 29, 1975

12) 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, 833-843, 1967

(平成5年7月30日受付)