食餌制限下での運動がラット生体内タンパク質代謝に及ぼす影響

佐藤 智明* 坂元 晃史** 中川 喜直***
井川 正治**** 広田 公一*****

EFFECTS OF EXERCISE UNDER RESTRICTED FOOD INTAKE ON PROTEIN METABOLISM IN RATS

TOMOAKI SATO, TERUFUMI SAKAMOTO, YOSHINAO NAKAGAWA,
SHOJI IGAWA and KOICHI HIROTA

Abstract

Effects of treadmill running and restricted food intake on the metabolism of protein in several tissues were studied in male Wistar rats, aged 5 weeks and weighing about 100 g. Rats were divided into control group under free food intake (C), sedentary group under restricted food intake (Sr), exercise group under restricted food intake (Er). Food intake was restricted approximately to 66% of fed ad libitum for control group. Exercise program consisted of treadmill running for 60 minutes a day at 30 m/min on 6 days a week for 12 weeks.

A. The effects of sedentary under restricted food intake.

When compared with C

- 1) Lowering of body weight and increment in mg tissue/g body weight ratios. (M. Gastrocnemius, Liver, Brain, Testis, M. Soleus, M. Plantaris)
- 2) Significantly low level of protein content in gastrocnemius muscles, liver and kidney.
- 3) Inhibition in incorporation of ^{14}C -amino acid mixture into brain and kidney protein in vivo.

B. The effects of exercise under restricted food intake.

i) compared with C

The effects were the same as those of Sr.

ii) compared with Sr

- 1) Lowering of body weight and increment in mg tissue/g body weight ratios. (Liver, Heart, Kidney, Testis)
- 2) Significantly low level of protein content in gastrocnemius muscles.

From this study it was suggested that, under the food restriction of long duration, the maintenance of protein content in brain in spite of the decrease of protein content in the other tissues indicated the existence of internal mechanism for life conservation in severe environment. And loaded with exercise under food restriction, protein content in gastrocnemius muscles decreased. Therefore, it was conceivable that skeletal muscles protein was consumed as energy for exercise.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1988, 37 : 183~191)

key words : Protein metabolism, Restricted food intake, Exercise

*大阪国際大学経営情報学部体育科
〒573-01 大阪府枚方市杉3-50-1

**昭和大学薬学部生理化学研究室
〒142 東京都品川区旗の台1-5-8

***小樽商科大学商学部体育科
〒047 北海道小樽市緑3-5-21

****日本体育大学健康管理研究室
〒158 東京都世田谷区深沢7-1-1

*****日本体育大学体育生理学研究室
〒158 東京都世田谷区深沢7-1-1

*Department of Sports Sciences, Faculty of Business Management
and Information, Osaka International University*

*Department of Physiological Chemistry, School of Pharmaceutical
Sciences, Showa University*

*Department of Sports Sciences, Faculty of Commercial Sciences,
Otaru University of Commerce*

*Department of Health Administration, Nippon College of Physical
Education*

*Department of Exercise Physiology, Nippon College of Physical
Education*

I. 緒 言

タンパク質は身体の主要な構成成分であり、一般に運動時のエネルギー源としては、殆ど動員されないと考えられている⁵⁾。しかし、栄養状態が悪い場合^{4, 22, 23)}やグリコーゲン潤渇時¹¹⁾、或は長時間運動時^{2, 3, 12)}のような特殊な条件下ではタンパク質がエネルギー源として消費されるとされている。一方、スポーツとの関連からタンパク質代謝を見ると、レスリング、ボクシングなどの階級制競技の選手が急速減量をおこなう際に体タンパクの崩壊が促進される、更に短期間の食事制限において体タンパクの合成が低下すると言う報告²⁰⁾もある。また近年肥満傾向の人や標準体重内にある若い女性においても、シェイプアップと称し、低カロリー食で食事制限をし、それに運動療法を加えて体重を減少させる、ということがもてはやされている。しかしこの様な時、低タンパク条件が加わるようなことがあると、健康に及ぼす影響が大きい。更にこの条件下で運動が負荷された場合の身体への影響、特にタンパク質代謝に及ぼす影響はますます大きくなることが予想されるが、これに関する報告は少ない。そこで本研究は、ラットを用い、1. 2/3制限食、2. 2/3制限食条件下での運動により、生体内のタンパク質代謝にどのような影響がもたらされるかについて検討を試みた。

II. 実験方法

A. 動物及び実験条件

実験動物は、5週齢、平均100gのWistar系雄ラットを使用し、それを3群に分けた。第1群は自由食餌の対照群(Control group, 以後C群とする)、第2群は第1群の食餌量の2/3量を与えた安静群(Sedentary group under restricted food intake, 以後Sr群とする)、第3群は、第2群と同様に食餌量を規制した運動群(Exercise group under restricted food intake, 以後Er群とする)とした。食餌制限群の食餌量を2/3量としたのは、予備実験により2/3量以下の食餌量にすると、12週間の実験期間内で運動群に体重の著しい減少が

あらわれ、遂には運動の遂行も不可能になり、死に至るラットが多く見られたことによる。被験ラット数は、第1群10匹、第2群10匹、第3群15匹の計35匹であった。

飼育条件は、生活リズムを午前9時から午後9時までを暗期、午後9時から午前9時までを明期とする明暗周期とし、室温を20℃とした。ラットは各1匹ずつ、金網代謝ケージ(24×18×18Hcm)にて飼育し、餌はオリエンタル酵母(株)固形飼料MF(100g当り349.8kcal, タンパク質含有率25%)を使用し、飲料水は水道水で自由摂水とした。

運動は小動物用トレッドミル(KN-73, 夏目製作所製)を使用し、毎分30m, 1日60分, 週6日, 12週間の強制運動とした。なお、ラットの体重は、エレクトロニクス・アニマル・バランス(EB 2800 M, 島津製作所製)を用い、毎週月曜日の午前中に測定した。

また測定値の日内変動を考慮して、屠殺の時刻を午後1時から3時の間とした。

B. 組織・器官重量の測定

運動期間が終了したのち、エーテル麻酔下に開腹し、組織内に血液が残らないように腹部大動脈を介し、血液を体内から取り除き屠殺した。その後、腓腹筋、肝臓、心臓、腎臓、脳、副腎、睪丸、ヒラメ筋、足底筋を摘出した。摘出した組織・器官は、それに附着した脂肪組織を除去し、湿重量を直示天秤(NL-200 P, 島津製作所製)にて秤量した。

C. タンパク質含量の定量

腓腹筋、肝臓、心臓、腎臓、脳の各組織・器官から0.5gを切り取り4倍量の0.25 M sucroseを加え、ホモジネートの後 BIO-RAD 社製 Protein assay kit を使用し、分光光度計(100-30型, 日立製)を用いて発色定量を行った²⁴⁾。

D. ¹⁴C-amino acid mixture の取り込み測定

体重100g当り5 μ Ciの¹⁴C-amino acid mixture (Amersham 社製[u-¹⁴C])を腹腔内に注射し、次に腓腹筋、肝臓、心臓、腎臓、脳におけるトレーサの取り込みがピークになる3時間後

Fig. 1. Incorporation of ^{14}C -amino acids into tissue proteins in vivo after intraperitoneal injection.

(図1)に、上記の組織・器官を摘出した。そして、それぞれ0.5gを4倍量の0.25M sucroseでホモジネートした。このホモジネートした溶液に、10% TCA (トリクロール酢酸)を2ml加え一昼夜放置し、生じた沈澱を冷却遠心分離機にて4℃、2500rpmで10分間遠心した。これを3回繰り返して最終沈澱を乾燥させた。そしてこの沈澱物を1NのNaOHで溶解し、液体シンチレーターであるNT-シンチを加え、最後に2NのHClをいれ、この溶液をシンチレーション・カウンターにて測定した⁷⁾。実験結果は比放射能(cpm/mg protein)であらわした¹⁶⁾。なお統計的検定は、Studentのt-testにより行い、何れの場

合においても有意水準は危険率5%以下とした。

III. 実験結果

A. 体重及び食餌量

各群の体重の変化を図2に示す。屠殺直前ににおいてC群 538.5 ± 34.2 g, Sr群 368.1 ± 9.6 g, Er群 349.1 ± 10.8 gであった。発育に伴う体重増加の程度は食餌制限により抑制されており、8週齢以降対照群に比べ食餌制限両群がいずれも有意($p < 0.01$)に低値を示した。また前報の実験²²⁾でみられた運動群の体重増加の抑制は、今回の食餌制限下においても見られ、16週齢以降Er群がSr群に比べ有意($p < 0.01$)に低値を示した。

Fig. 2. Changes of weekly body weight on each group.

Table 1. Tissue weight and ratio to the body weight in each group.

	Control (n=8)	Restricted food intake	
		Sedentary (n=9)	Exercise (n=11)
M. Gastrocnemius	4.82±0.27 [9.00±0.82]	3.97±0.25** [10.78±0.57]**	3.92±0.19** [11.22±0.46]**
Liver	19.35±2.24 [35.97±2.68]	14.52±1.41** [39.45±2.52]*	15.77±1.49** [45.15±3.79]***
Heart	1.43±0.07 [2.68±0.12]	0.99±0.07** [2.68±0.15]	1.10±0.09*** [3.15±0.23]***
Kidney	3.63±0.30 [6.26±0.44]	2.35±0.21** [6.39±0.52]	2.50±0.18** [7.16±0.49]***
Brain	2.02±0.07 [3.75±0.27]	1.95±0.07 [5.30±0.16]**	1.89±0.09 [5.42±0.24]**
Adrenal	0.07±0.01 [0.11±0.04]	0.05±0.01* [0.14±0.03]	0.05±0.01* [0.14±0.03]
Testis	3.71±0.28 [6.89±0.53]	3.29±0.25 [8.93±0.53]**	3.67±0.41 [10.49±1.01]***
M. Soleus	0.47±0.05 [0.90±0.12]	0.40±0.02* [1.09±0.06]**	0.38±0.04* [1.09±0.09]*
M. Plantaris	1.03±0.06 [1.91±0.16]	0.89±0.06** [2.41±0.15]**	0.85±0.07** [2.43±0.14]**

Tissue weight (g)

[/ratio to b. w. (×10)]

Significant difference from Control (* p<0.05, ** p<0.01)

Significant difference from Sedentary of restricted food intake

(* p<0.05, ** p<0.01)

食餌量は屠殺する直前の17週齢において、1日当り対照群 29 g, 食餌制限群 19 g で、カロリー量はそれぞれ 101 kcal, 66 kcal であった。

B. 組織・器官重量

各群の組織・器官重量及び体重当りの各組織・器官重量を表 1 に示す。絶対値においては C 群にくらべ、Sr・Er 群の脳と睪丸を除くほとんどの各組織・器官に有意 ($p < 0.05$) な低値が見られた。しかし Sr 群と Er 群ではほとんど差が見られなかった。体重当りで C 群と Sr 群とを比較すると、摘出した組織・器官の 2/3 にあたる腓腹筋、肝臓、脳、睪丸、ヒラメ筋、足底筋において Sr 群が有意 ($p < 0.05$) に高値を示した。また Sr 群と Er 群との間では肝臓、心臓、腎臓、睪丸の組織で、Er 群が有意 ($p < 0.05$) に高値を示した。

C. タンパク質含量

各組織・器官当りのタンパク質含量を図 3 に示した。一般的傾向として食餌制限両群 (Sr, Er 群) が対照群 (C 群) より低値を示し、特に腓腹筋、

肝臓、腎臓においては有意差 ($p < 0.05$) が認められた。また Sr 群と Er 群の比較、つまり食餌制限下での運動の影響というものは、腓腹筋に於てみられ、有意 ($p < 0.05$) に Er 群 (運動群) が低値を示した。しかしながら脳においてはほとんど三群間に差はみられなかった。

D. ^{14}C -amino acid mixture の取り込み

タンパク質合成の指標となるタンパク質含量 1 mg あたりの ^{14}C -amino acid mixture の取り込みをあらわしたものが図 4 である。安静群に比べ食餌制限両群の腎臓と脳において有意 ($p < 0.05$) に低値を示した。

IV. 考 察

運動が、その効果を得るための至適量を超えているかどうかの判断は難しいとされている。今回の運動負荷は前報¹⁴⁾と同様であることから、高強度・長時間運動に対する生体反応を見るには、十分であったと考えられよう。

Fig. 3. Protein content in organs in each group.

Fig. 4. Incorporation of ^{14}C -amino acid into tissue protein in each group.

ラットの体重の増加量は、運動により低下するといわれており^{1,8,19)}、前回の報告¹⁴⁾でも同様であった。しかし、今回行った食餌制限下での安静群と運動群においては、15週齢までは有意差が得られなかった。このことは、食餌量を通常の2/3量としたことによる体脂肪の余分な蓄積が見られなかったことと、および安静群といえども完全拘束状態にあったわけではなく、このためのエネルギー消費を併せ考えて、Sr群とEr群において体重に変化を来さなかったものと推定された。山岡ら²⁰⁾の、体重が増加する成長期のラットに通常の50%しか餌を与えないと体重が低下するという報告があるが、本研究における60%程度の食餌量は体重が低下を来さぬ限界量に近いものと考えられよう。16週齢以降、運動群に有意な低下が見られたが、長期間の運動によるストレスの増大と消費カロリーの増大がこの時点から強く影響しはじめたものと思われる。

体重当りの組織・器官重量については、自由食餌の対照群であるC群と食餌制限群であるSr

群・Er群を比較して、食餌制限両群が高値を示した。これは食餌制限により体脂肪量が減少し、体重に占める組織・器官の割合が増大したと思われる。また、食餌制限下での運動の影響は、食餌制限の影響が大きいためか、前報¹⁴⁾の自由食餌での運動の影響ほどは、はっきりと表れなかった。

アミノ酸の取り込みは、食餌制限による影響として腎臓、脳に低値が見られたが、他の組織・器官に於ては明らかではなかった。また組織・器官のタンパク質量は食餌制限により、腓腹筋、肝臓、心臓、腎臓で自由食餌に比べ低値が見られ、脳では差が見られなかった。

一般に、尿中の窒素排泄量は、主にタンパク質の代謝終末分解産物であるアミノ酸異化を反映するものであるが、過度の食餌制限により増加することから、タンパク質の異化は亢進するとされている¹³⁾。またWaterlowら¹⁷⁾の食餌制限による筋タンパク質への影響についての報告によると、低栄養状態に於て窒素出納は負に傾くという。そして、

この窒素出納が負になるとときには、体タンパクの分解が変わらずに合成が低下する場合と、分解が増加し合成が変わらない場合が考えられるという。本研究の脳、腎臓を除く、肝臓、腓腹筋、心臓における食餌制限によるタンパク合成の維持及びタンパク質含量の減少からみて、タンパク質の異化が亢進し、負の窒素出納が起こったものと思われる。また、この現象は生命維持に必要なカロリー補給を、主として脂質に求めるべきところを、食餌量制限による体脂肪量の減少に対する代償作用として、積極的に体タンパクの異化が行われ、これをエネルギー源として利用したと推察される。尚、食餌制限下の体脂肪の動向については、改めて検証する必要がある。

食餌制限下での運動 (Er 群) の影響について考察すると、食餌制限の安静群 (Sr 群) と比較して、骨格筋の一つである腓腹筋を除き肝臓、心臓、腎臓、脳において、アミノ酸の取り込み及び組織タンパク含量のいずれにも、殆ど差が見られなかった。腓腹筋に関しては、食餌制限下の安静群 (Sr 群) と比較して、運動によりアミノ酸の取り込みには差がみられなかったが、タンパク含量は有意に運動群が低値を示した。これは長期に亘る食餌制限下では、生命維持のエネルギー源として脳を除く組織・器官のタンパク質を利用、消費しており、これに運動負荷を加えた時、機能維持の必要量を確保する為に他の器官のタンパク質は殆ど使用されず、運動のエネルギー源として、主として骨格筋の組織タンパクが動員されたことによるのであろう。

生体内における代謝制御にホルモンが介在していることは周知の事実である。タンパク質合成を促進するホルモンとしてインシュリン、成長ホルモン、テストステロン等があるが、飢餓時および食餌制限時には、特にインシュリン濃度が低下しタンパク合成の抑制及び分解が促進されると言われている¹⁶⁾。また、インシュリンは、特に骨格筋のタンパク質代謝に大きな影響を及ぼすホルモンとも考えられている¹⁰⁾。このように、食餌制限及び運動でのタンパク質代謝に影響する要因の一つとして、特にホルモン分泌の変化は無視できない

と思われる。そこで以上の知見を踏まえて本研究の結果を推論すると、長期間の食餌制限によりなんらかのストレスを引き起こし、ホルモン分泌のバランスの上で、タンパク質の異化が合成以上に亢進した為に、タンパク質含量が減少したものとも考えられよう。特に食餌制限下での運動において、骨格筋である腓腹筋はインシュリンの作用を受けやすい¹⁰⁾ことから、有意に低下したのではないかという指摘もしておきたい。尚、この点についての実験的な研究を進める必要が痛感されることから、現在準備中である。

脳においては、食餌制限下でアミノ酸の取り込みの低下とタンパク質含量の維持が示された。離乳児を低栄養状態にしてタンパク代謝を見た報告⁶⁾がある。これによると脳のタンパク質含量は他の組織・器官のタンパク質含量よりも通常の状態に近い量が維持されており、他の組織・器官を犠牲にして脳組織のタンパク質を適切な濃度で維持するという代償性作用が働くためではないかと考察している。広田⁹⁾は息こらえの際の末梢血流について報告している。この報告によると、息こらえの際には体内の有限量の O_2 利用にあたって、皮膚や筋肉への O_2 供給の犠牲の下に、脳のような生命に重要な組織への O_2 補給の保全をはかり CO_2 蓄積から、保護する機構が存在すると述べている。周知のように、脳は生命維持のためのもっとも重要な組織である。本研究における長期間の食餌制限下でのタンパク質代謝の面からみても、筋肉などの組織・器官のタンパク質代謝の犠牲において、生命保持に必要なタンパク質含量が維持されるという体内の合目的的な機構の存在が伺えた。

V. 要 約

Wistar 系雄ラット (5 週齢、体重 100 g 前後) に、12 週間の食餌制限及び食餌制限下でトレッドミルを用いて運動負荷を実施し、それが各組織・器官のタンパク質代謝に如何なる影響を及ぼすかについて検討した。食餌制限は対照群の自由食餌量の 2/3 量とし、運動の条件は、毎分 30 m、一日 60 分、週 6 日とした。食餌制限の影響、食餌制限

下での運動の影響について, 次の様な知見を得た.

A. 食餌制限の影響 (対照群との比較)

1. 体重の減少
体重当りの組織・器官重量の増加
2. タンパク質含量の減少—腓腹筋, 肝臓及び腎臓
3. ^{14}C -amino acid mixture の取り込みの抑制—脳, 腎臓

B. 食餌制限下での運動の影響

1. 対照群との比較
 - 1) 体重の減少
体重当りの組織・器官重量の増加
 - 2) タンパク質含量の減少—腓腹筋, 肝臓及び腎臓
 - 3) ^{14}C -amino acid mixture の取り込みの抑制—脳, 腎臓
2. 食餌制限下での安静群との比較
 - 1) 体重の減少
体重当りの組織・器官重量の増加
 - 2) タンパク質含量の減少—腓腹筋

長期間の食餌制限により, 脳以外のタンパク質含量の減少及び脳のタンパク質含量の維持が観察されたことから, 過酷な環境下における生命維持の合目的な体内機構の存在が示唆された. また, この様な食餌制限下で, 運動を負荷すると, 腓腹筋のタンパク質含量が減少したことから, 特に骨格筋のタンパク質が運動のエネルギー源として動員されたものと推察した.

本研究の要旨は, 第42回日本体力医学会(沖縄, 1987年10月)において発表した.

本研究にあたり, 研究のための便益を提供され, かつ研究遂行上, 貴重な御助言を賜った, 筑波大学基礎医学系東彦彦教授, 昭和大学薬学部富田基郎教授に深甚の謝意を表します.

(受付 昭和62年11月2日)

参 考 文 献

- 1) Crews III, E. L., Fuge, K. W., Oscai, L. B., Holloszy, J. O. and Shank. R. E. (1969): Weight, food intake, and body composition: effect of exercise and of protein deficiency. *Am. J. Physiol.* **216**(2), 359-363.
- 2) Dohm, G. L., Beecher, G. R., Warren, R. Q. and Williams, R. T. (1981): Influence of exercise on free amino acid concentrations in rat tissues. *J. Appl. Physiol: Respirat. Environ. Exer. Physiol.* **50**(1), 41-44.
- 3) Escandon, J. C., Cunningham, J. J., Synder, P., Jacomb, R., Huszar, G., Loke, J. and Felig, P. (1984): Influence of exercise on urea, creatine, and 3-methylhistidine excretion in normal human subjects. *Am. J. Physiol.* **246**, 334-338.
- 4) Felig, P., Owen, O. E., Wahren, J. and Cahill, G. F. Jr. (1969): Amino acid metabolism during prolonged starvation. *J. Clin. Invest.* **48**, 584-594.
- 5) Fox, E. L. (1983): *Sports Physiology* (Second Edition). W. B. Saunders Company. **41**.
- 6) Freedman, L. S., Samuels, S., Fish, I., Schwartz, S. A., Lange, B., Katz, M. and Morgano, L. (1980): Sparing of the brain in neonatal undernutrition: amino acid transport and incorporation into brain and muscle. *Science*. **207**, 22 Feb, 902-904.
- 7) Garlick, P. J. and Marshall, I. (1972): A technique for measuring brain protein synthesis. *J. Neurochem.* **19**, 577-583.
- 8) 原田邦彦, 酒井敏夫 (1985): ラットの基礎代謝に及ぼす中等度な強度による持久的反復運動負荷の影響. *日本生理誌*, **47**, 213-218.
- 9) 広田公一 (1955): 息こらえテストの研究 (Ⅱ) 息こらえの際の末梢血流について. *民族衛生*, **22**(2, 3), 56-62.
- 10) 石浦章一 (1983): 筋蛋白の代謝回転とその調節. *生体の科学*, **34**(6), 448-456.
- 11) Lemon, P. W. R. and Mullin, J. P. (1980): The effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J. Appl. Physiol.* **48**, 624-629.
- 12) Lemon, P. W. R. and Nagle, F. J. (1981): Effects of exercise on protein and amino acid metabolism. *Med. Sci. Sports Exer.* **13**, 141-149.
- 13) 西澤直行 (1983): N^{ϵ} -メチルヒスチジン (3-メチルヒスチジン) による骨格筋ミオフィブリルタンパク

- 質の分解速度の測定法の確立とその応用(総説). 日本栄養・食糧学会誌, **36**(6), 409-423.
- 14) 佐藤智明, 坂元晃史, 中川喜直, 諸富嘉男, 広田公一(1987): 高強度および長時間運動が蛋白質代謝に及ぼす影響. 生理人類誌, **6**(4), 223-229.
- 15) Waalkes, T. P. and Udenfriend, S. (1957): A fluorometric method for the estimation of tyrosine in plasma and tissues. *J. Lab. Clin. Med.* **50**, 733-736.
- 16) Wannemacher, R. W. Jr., Barks, W. L. Jr. and Hunter, W. H. (1965): Use of a single tissue extract to determine cellular protein and nucleic acid concentration and rate of amino acid incorporation. *Anal. Biochem.* **11**, 320-326.
- 17) Waterlow, J. C., Golden, M. and Picou, D. (1977): The measurement of rates of protein turnover, synthesis, and breakdown in man and the effects of nutritional status and surgical injury. *Am. J. Clin. Nutr.* **30**, 1333-1339.
- 18) 山本 清(1979): ホルモンと糖質の代謝—物質代謝の液性調節 1—. 共立出版, 221-225.
- 19) 山岡誠一, 蜂須賀弘久, 細野吉治, 森脇泰子, 能勢令子(1964): ラットに対する負荷運動の質と発育に関する研究. 京都学芸大学紀要B, **23**, 57-65.
- 20) 山岡誠一, 森内明美, 寺田光世, 杉本京子, 日比正彦, 池部直二(1984): 幼ラットおよび肥満ラットに対する減食ならびに運動負荷が発育に及ぼす影響について(肥満児対策としての運動処方研究, 1). 京都教育大学紀要B, **43**, 95-102.
- 21) 芳田哲也, 井川正治, 森田恭光, 宮島俊名, 北 博正(1984): 階級制競技の減量が蛋白質代謝に与える影響—大学ボクシング選手について. 生理人類誌, **3**(2), 111-120.
- 22) Young, V. R., Haverberg, L. N., Bilmazes, C. and Munro, H. N. (1973): Potential use of 3-methylhistidine excretion as an index of progressive reduction in muscle protein catabolism during starvation. *Metabolism*. **22**(11), 1429-1436.
- 23) Young, V. R. and Munro, H. N. (1978): N^ε-methylhistidine (3-methylhistidine) and muscle protein turnover: an overview. *Federation Res.* **37**, 2291-2300.