

白筋・赤筋中における微量元素の分布

近藤久雄・木村美恵子・糸川嘉則
(京都大学医学部衛生学教室*)

Trace Element Distributions in Red and White Skeletal Muscle

Hisao KONDO, Mieko KIMURA and Yoshinori ITOKAWA
Department of Hygiene, Faculty of Medicine, Kyoto University

To clarify the differences of trace elements distribution in red and white muscles, we analyzed the concentrations of Mn, Cu and Al among other elements (Zn, Fe, Ca, Mg, P and S) in two types of muscle fiber. The extensor digitorum longus muscle (EDL) and soleus muscles (SOL) were taken as the white and red muscles respectively. The Mn and Cu concentrations were determined with a flameless atomic absorption spectrophotometer with a graphite furnace; the Al and other elements concentrations were determined with inductively coupled plasma atomic emission spectrometer. The Mn, Al and Cu concentrations in SOL were significantly different from those in EDL and were two to three times higher than those in EDL. The Mg and P concentrations in SOL were significantly low and the Zn, Fe and S concentrations in SOL were significantly high compared with those in EDL.

筋肉には、タイプ1筋線維を主体とする赤筋とタイプ2筋線維を主体とする白筋があり、解剖学的な違いのみならず、生理学的にも生化学的にも相異なる性質を持つことが知られている¹⁾。また筋肉の発生や萎縮・肥大の過程においても、また、種々の筋原性疾患においても、筋線維のタイプにより異なった経過をたどる事が知られている²⁻⁴⁾。

筋肉のタイプによるミネラルの分布に関する若干の報告⁵⁻⁷⁾があるが、詳細な報告はない。本研究では、タイプ1線維とタイプ2線維がそれぞれ局在している、ラットの、白筋としてはタイプ2筋線維が90%前後を占める Extensor digitorum longus muscle (EDL) を、また赤筋としてはタイプ1筋線維が95%以上を占める Soleus muscle (SOL) を試料とし、微量元素を含む各種ミネラル類の分布の差異について検討を加えた。

*所在地：京都市左京区吉田近衛町（〒606）

実験方法

オリエンタル酵母社製の固形 MF 飼料，並びに脱イオン再蒸留水で飼育した12週齢の Wistar 系雄ラット12匹（平均体重420g）を用いた。ペントバルビタール麻酔下にて大動脈から採血して失血死させ，両下肢から EDL と SOL を採取した。そして腱部分ならびに結合織を除去したものを試料として用いた。

これら試料と MF 飼料は，有害金属測定用硝酸（ナカライテスク製）による湿式灰化を行った。Al のコンタミネーションを防ぐために，ガラス製品は用いず，テフロン試験管などすべて硝酸処理を行ってから使用した。

Al, Fe, Zn, Ca, Mg, S, P の各元素の濃度は，島津製作所製シーケンシャル・プラズマ発光分析装置（ICPS-1000 II）を用いて測定した。Cu, Mn の各元素の濃度は，同じく島津製作所製フレームレス原子吸光度計 AA646 で測定した。またデータの検定は，Paired-t 検定を用いた。

結果と考察

固形 MF 飼料中の各元素の濃度の分析結果を Table 1 に示した。Table 2 に EDL と SOL 中の Al, Mn, Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, S, P の各元素濃度を示した。Al, Mn, Cu, Fe, Zn, S の各濃度は SOL が EDL に比べて有意に高値を示し，逆に Mg, P の各元素は有意に低値を示した。特に SOL 中の Al, Cu, Fe, Zn の各濃度は，EDL 中の濃度の各々約 2 倍から約 4 倍の高値を示した。Ca については有意差はみられないものの，EDL 中に比べて SOL 中の方が低値を示す傾向がみられた。

Chutkow⁵⁾ がラットを用いての筋タイプ別の Mg, Ca の分布を調べた結果でも，本研究と同様，Ca と Mg は白筋線維中において赤筋線維中よりも高い分布を示した。また Cassens⁷⁾ の豚を用いての筋タイプ別の Zn の分布結果では，本研究と同様，Zn は赤筋線維中において白筋線維中よりも高い分布を示した。Al, Mn, Cu の濃度についての，筋肉のタイプにおける差異に関する報告は，他に見あたらない。このように元素の分布の差のみられた原因として，赤筋と白筋中における組織中に残存している血液量に差があることが1つの可能性として考えられるが，しかし筋肉中の残存血液重量は，Hansard⁸⁾ によれば組織重量の1%程に過ぎず，大きな影響を及ぼすとは考えられない。

Fe の濃度が赤筋中で高い濃度を示すのは，ミオグロビン濃度が赤筋において高値を示すことが関係していると考えられる。Zn の濃度に差が認められたのにたいして，Cassens⁷⁾ は収縮蛋白がその差に寄与していると述べているが，亜鉛酵素の LDH などの活性が赤筋の方が高いこともその差に寄与していると思われる。Mg 濃度に差がみられたことについては，クレアチンホスフェイトが関係しているとする者⁵⁾もあるが，はっきりとしたことはわからない。Mn, Cu については，様々な金属結合蛋白が関係していることが推測されるが，現在のところ明確な説明は出来ない。

以上のように，赤筋と白筋において微量元素を含む各種ミネラル類の分布に相違があることが明らかになった。従って，筋肉におけるミネラル類の動態を研究するにあたって，筋肉のタイプ別の検討が必要であると考えられる。

Table 1. Mineral concentrations of diets (MF : Oriental Yeast Co.)

Al	32.04	$\mu\text{g/g}$
Mn	55.83	$\mu\text{g/g}$
Cu	5.84	$\mu\text{g/g}$
Fe	105.27	$\mu\text{g/g}$
Zn	44.25	$\mu\text{g/g}$
Ca	11.14	mg/g
Mg	2.78	mg/g
S	5.20	mg/g
P	11.29	mg/g

Table 2. Mineral concentrations of the white and red muscles

	EDL (white) ($\mu\text{g/g}$)	SOL (red) ($\mu\text{g/g}$)	SOL/EDL
Mn	0.145 ± 0.001	0.242 ± 0.003 [#]	1.69
Al	0.504 ± 0.076	1.361 ± 0.191 [#]	2.70
Cu	1.180 ± 0.035	2.407 ± 0.036 [#]	2.04
Fe	13.63 ± 0.38	24.88 ± 0.68 [#]	1.83
Zn	13.62 ± 0.52	58.51 ± 1.43 [#]	4.30
Ca	52.94 ± 1.50	49.28 ± 2.41	0.93
Mg	297.1 ± 1.3	235.1 ± 2.8 [#]	0.79
S	2720 ± 19	3069 ± 18 [#]	1.13
P	2537 ± 18	2267 ± 25 [#]	0.89

EDL; Extensor Digitorum Longus muscle

SOL; Soleus Muscle

Mean ± S.E. (n = 6)

[#]; significantly different ($p < 0.01$) from EDL by the paired t-test

文 献

1. BEATTY C. H., R. D. PETERSON and R. M. BROCEK (1963) Amer. J. Physiol. 204 : 939
2. ALICE J. C. and K. B. SYAMAL (1987) Exp. Neurol. 95 : 265
3. BERTORINI T. E., S. K. BHATTACHARYA, G. M. A. PALMIERI, C. M. CHESNEY and B. BAKER (1982) Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 187 : 267
4. SMITH N. K., S. S. MORRIS, M. R. REICHTER and I. L. CAMERON (1984) Muscle Nerve 7 : 442
5. CHUTOKOW J. G. (1973) Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 143 : 430
6. DORUP I., K. SKAJAA and T. CLAUSEN (1988) Clin. Sci. 74 : 241
7. CASSENS R. G., W. G. HOEKSTRA, E. C. FALTIN and E. J. BRISKEY (1967) Amer. J. Physiol. 212 : 688
8. HANSARD S. L. (1961) Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 91 : 557