

Red Muscle 과 White Muscle 의 근섬유간 지방질의 조성 비교

양 융·김기태·신완철*

연세대학교 공과대학 식품공학과, *울산대학교 자연과학대학 식품영양학과

Comparison of Intramuscular Fat Composition of Red Muscle and White Muscle

Ryung Yang, Kee-Tae Kim and Wan-Chul Shin*

Department of Food Engineering, Yon Sei University, Seoul,

*Department of Food and Nutrition, University of Ulsan, Ulsan

Abstract

Red muscle and white muscle were separated from bovine, porcine and poultry skeletal muscles, respectively. Intramuscular lipids were extracted and fractionated to neutral-, glyco- and phospho-lipid by silica gel chromatography and then fatty acid composition were analyzed with gas chromatography. The results obtained were as follows: Total lipid content of red muscle was higher than that of white muscle in case of beef and chicken. In pork, however, total lipid content of white muscle was higher than red muscle. The content ratio of neutral lipid to phospholipid revealed a number of distinctions between red and white muscle among animals. There were noteworthy differences in respect of polyunsaturated fatty acid. The intramuscular fat of pork had the higher content of highly polyunsaturated fatty acid such as arachidonic acid in contrast to beef.

Key words: white muscle and red muscle, intramuscular lipids

서 론

육제품의 주요재료인 골격근은 red fiber 와 white fiber 의 조성비에 따라 다시 white muscle 과 red muscle 로 분류되며 이 두 type 은 근세포를 이루고 있는 성분의 조성 뿐만 아니라 생화학적으로 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다⁽¹⁻⁶⁾.

즉, 섬유의 직경에 있어서 white muscle 이 굵고 글리코겐 creatine phosphate 의 함량과 이에 관련된 효소들의 활성이 높은 반면 red muscle 에서는 myoglobin 과 지질의 함량이 높고 혈류량에 따른 산소 공급량이 많아 TCA cycle 과 같은 호기성 대사에 적합하게 되어 있다⁽¹⁻³⁾.

또한 근육의 aging 에 있어서도 myofibril 의 Z-line 은 white muscle 에서 더 빨리 붕괴되는 것으로 보고되고 있다⁽⁴⁾.

기능적으로 볼 때 가장 중요한 ATPase 의 활성에

있어서도 근육사이의 차이를 볼 수 있는데 소의 경우 red muscle 에서 미오신 및 악토미오신의 활성이 높은 것으로 보고한 바 있다^(5,6).

이러한 사실은 동물의 종에 따라서도 그 차이가 뚜렷이 나타나는데, 양 등⁽⁷⁻⁹⁾에 의하면 포유류인 소와 조류인 닭의 경우 white muscle 및 red muscle 의 myosin ATPase 활성과 트립신 처리에 있어서의 효과가 각각 다르게 나타났다고 하였다.

이상과 같이, red muscle 과 white muscle 은 세포구성성분과 물질대사 속도에 차이가 있는 것으로 알려져 있으므로, 본 연구에서는 근세포간 지방질 및 근세포내 지방질의 함량과 지방산 조성을 분석하므로써 red muscle 과 white muscle 의 생화학적 차이를 규명함은 물론 육제품 재료로서의 지질산화 속도의 차이를 규명하기 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

실험재료 및 방법

실험재료

실험재료는 소, 돼지 및 닭의 골격근을 취하였으며

Corresponding Author: Ryung Yang, Department of Food Engineering, Yon Sei University, Shinchon-dong 134, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749

돼지의 경우에는 longissimus dorsi muscle 을, 닭의 경우에는 pectoralis 근육을 white muscle 로 하였다.

Red muscle 로는 소의 경우에는 sartorius 근과 인접근을, 돼지의 경우에는 soleus 근육 선별하였으며, 닭의 경우에는 다리근육 중의 gastrocnemius, semimembranosus, peroneus longus 등을 제거한 나머지 부분을 red muscle 로 취하였다.

본 연구는 근섬유내 및 근섬유간의 지방을 분석하는 것이므로 시료 전처리에 있어서는 근상막부위의 지방층은 최대한으로 제거시켜 신속하게 chopping 하여 냉장하였다.

실험방법

지방의 추출 및 정량

지방질 성분의 분석을 위한 시료는 Folch⁽¹⁰⁾에 의한 방법에 따라 실시하였다.

즉, chopping 된 시료에 20배의 chloroform : methanol (2 : 1 v/v)의 용액을 넣고 mixer 로 균질화하였다.

이를 분별 깔때기에 옮기고 저온실에서 하룻밤 방치하여 층이 분리되면 chloroform 층을 회수하고 무수 Na₂SO₄를 소량 가하여 용매를 탈수시켰다.

이 용액을 여과지로 여과하여 진공농축한 다음 나타나는 지방의 무게를 측정하여 정량하였다. 다만 Folch 법에 기술되어 있는 조작 중 묽은 염용액에 의한 세척은 정량상의 필요성에 따라 실시하지 않았다.

중성지질, 당지질, 인지질의 분리 및 정량

추출된 총지방질을 Rouser 등⁽¹¹⁾의 방법에 따라 silicic acid column chromatography 를 이용하여 분리하였다.

즉, glass column (2 cm dia × 50 cm length)에 silicic acid 를 충전시킨 다음 지방의 추출 및 정량의 시료 1g 을 chloroform 2ml 정도에 녹여 붓고 용출용매를 ethyl ether, acetone, methanol 로 하여 3 ml/min 의 속도로 순차적으로 용출시켜 각각 250 ml 정도씩 받아 중성지질, 당지질, 인지질로 획분하였다.

각 획분된 지방질 용매는 진공회전 증발기로 제거한 후 이들의 함량을 정량하였다.

지방산 분석의 전처리(Methylation)

중성지질, 당지질, 인지질의 분리 및 정량을 획분하여 제조된 지방질을 각각 700 mg 정도씩 취하여 250 ml flask 에 넣고 0.5 N NaOH 의 에탄올 용액 8 ml 를 넣어 20분간 90°C 수욕에서 refluxing 시키면서

완전히 용해시켰다.

여기에 BF₃ methanol 용액 9 ml 를 가하고 2분 동안 끓인 후에 5 ml 의 heptane 을 넣었다.

다시 1분 정도 계속 끓이고 실온으로 냉각시킨 다음 포화식염수를 flask 의 목덜 부분까지 가만히 붓고 분리되는 상부의 heptane 층을 다른 cab tube 에 취하였다.

이 heptane 용매에 무수 Na₂SO₄를 소량 넣어 충분히 휘저어 탈수시킨 다음 GC 시료로 하였다.

GC 분석

지방산 분석은 Varian Aerograph 를 사용하였으며 그 조건은 다음과 같이 하였다.

Column : 10% DEGS on Chromosorb W
(6 ft × 1/8, Stainless steel column)

Column temperature : 170°C
Detector temperature : 210°C
Injector temperature : 205°C
Carrier Flow Rate : N₂, 30 ml/min
Hydrogen Flow Rate : 0.75 ml/sec
Air Flow Rate : 3 ml/sec
Injection Volume : 0.2 μl
Chart Speed : 0.5 cm/min. atte. 8

결과 및 고찰

총지방질 추출 및 정량

Beecher 등⁽¹⁾과 Allen 등⁽¹²⁾에 의하면 근육내 지방 함량은 white muscle 보다 red muscle 에서 월등히 높다고 보고하였고 특히 Beecher 등⁽¹⁾은 red muscle 인 trapezius 에서의 지방 함량이 white muscle 인 longissimus 보다 약 2배 정도 높다고 하였다.

따라서 본 연구는 muscle 의 형태에 따른 근세포간의 차이는 물론 동물의 종류에 따른 차이를 비교하기 위하여 소, 돼지 및 닭에서 채취된 red muscle 및 white muscle 로부터 Folch 법에 의하여 지방을 추출하여 각각의 함량을 분석한 결과 Table 1과 같이 나타

Table 1. Contents of total lipid in beef, pork and chicken (Unit: % wet basis)

	Beef		Pork		Chicken	
	White	Red	White	Red	White	Red
Total Lipid	1.85	3.71	2.54	1.74	1.20	2.55

났다.

Table 1에 나타난 바와 같이, 소와 닭의 red muscle은 white muscle보다 높은 지방 함량을 보여 Beecher 등의 결과와 일치하였으나 돼지에 있어서는 오히려 white muscle에서 지방 함량이 높게 나타나고 있다.

Ogata 등⁽¹³⁾에 의하면 white muscle에서 glyco-gen 함량이 높고 glycolysis의 속도가 빠르다고 하였고 Bocek 등⁽¹⁴⁾과 Beaty 등⁽¹⁵⁾은 근육 내의 산화적 대사가 red muscle에서 더욱 활발히 일어난다고 하였다.

일반적으로 red muscle은 혈류량이 많고 따라서 산소공급량이 많아 산화적 대사에 적합하며, 지방대사량 및 대사속도도 큰 것으로 알려지고 있으나^(20,21) 같은 포유동물이라 할지라도 동물의 종류에 따라 위의 일반론은 해당될 수 없음을 Table 1의 결과는 나타내고 있다.

이 결과는 특히 돼지근육이 대표적인 육가공재료라는 점에서 주목할 만하다고 생각되는데 Wilson 등⁽¹⁶⁾도 돼지의 경우에는 white muscle이 red muscle보다 지방 함량이 높다고 보고한 바 있다.

중성지질, 당지질, 인지질의 분리 및 정량

근세포간의 지방 함량은 red muscle과 white muscle에서 뿐만 아니라 동물의 종류에 따라서도 큰 차이가 있었으므로 (Table 1) 중성지질과 극성지질의 함량을 분석하여 비교하였다.

Table 2에서 보는 바와 같이 각 지질의 조성을 보면 중성지질이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 극성지질과의 조성비는 동물의 종 및 근육의 종류에 따라 차이를 갖고 있는 것으로 나타났다.

또한 Sreter 등⁽¹⁹⁾과 Rubinstein 등⁽²⁰⁾에 의하면 인지질은 red muscle보다 white muscle에서 비교적 높다고 하였으며, 이것은 인지질이 미토콘드리아나

Table 2. Contents of neutral, glyco- and phospho-lipid in beef, pork and chicken (Unit: %)

	Beef		Pork		Chicken	
	White	Red	White	Red	White	Red
Neutral Lipid	56.72	71.57	71.30	69.75	66.55	59.20
Glyco Lipid	2.52	2.57	2.30	2.82	2.48	2.14
Phospho Lipid	40.76	25.86	26.40	27.43	30.97	38.66

sarcoplasmic reticulum 등의 생체막의 주요 구성원으로서 white muscle에서 sarcoplasmic reticulum이 잘 발달되어 있기 때문인 것으로 알려져 있으나 본 연구결과에서는 예상과는 달리 동물의 종과 muscle type에 따라서도 다르게 나타나 근육내의 lipid metabolism에 관여하는 여러가지의 효소의 활성도 각기 차이가 있음을 시사하는 것으로 해석되었다.

중성지질, 당지질 및 인지질에서의 지방산 조성

소, 돼지 및 닭의 muscle type에 따른 지방산 조성을 알아보기 위해 각 시료를 methylation한 후 GC로 분석하여 각각을 Table 3~5에 나타내었고 그림에서는 GC graph의 한 예로서 돼지 근육에서 인지질의 지방산 조성을 비교하여 보았다.

Lawrie⁽²⁰⁾에 의하면 psoas와 같은 red muscle이 logissimus와 같은 white muscle보다 옥도가 높다고 하였고 Allen 등은 myristic, oleic, linoleic acid를 비교하여 볼 때 psoas muscle이 longissimus muscle보다 그 함량이 높다고 보고하여 불포화도는 red muscle에서 높다는 것을 시사하였다⁽¹²⁾.

그러나 Table 3에서 보는 바와 같이 불포화 지방산

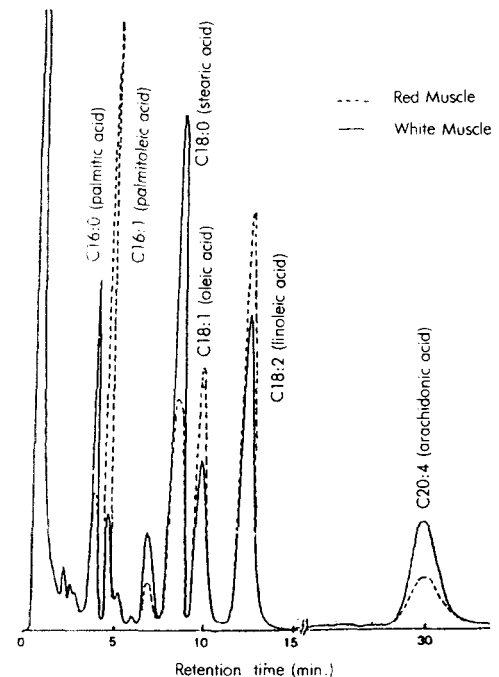


Fig. 1. Gas chromatogram of methyl ester of phospho-lipid in porcine muscle.

Table 3. Percentage of fatty acids in neutral, glyco- and phospho-lipid fraction in bovine muscle

	White Muscle				Red Muscle			
	Total	Neu.	Gly.	Phos.	Total	Nue.	Gly.	Phos.
C 10:1	—	—	1.42	—	—	—	—	—
C 12	—	—	1.66	—	—	—	—	—
C 13	—	—	1.15	—	—	—	—	—
C 13:1	—	—	0.22	0.14	—	—	—	—
C 14	1.58	2.08	2.46	0.33	1.78	2.49	2.15	0.27
C 14:1	0.45	0.64	0.64	—	0.44	1.12	0.57	—
C 15	0.17	0.19	0.64	0.19	0.20	0.85	0.26	0.16
C 15:1	2.63	0.49	0.89	8.28	1.75	0.59	0.22	8.71
C 16	20.86	23.20	16.23	15.64	22.96	24.61	24.25	17.14
C 16:1	3.63	4.49	2.11	1.40	2.78	2.71	3.18	1.32
C 17	0.52	0.76	0.31	0.20	0.59	0.51	0.76	0.22
C 17:1	3.80	1.97	2.50	8.12	2.48	0.89	0.90	9.63
C 18	15.44	15.23	18.79	17.23	20.08	20.66	21.27	16.19
C 18:1	39.41	47.39	24.07	19.10	36.83	42.31	43.15	13.19
C 18:2	10.26	2.89	25.76	28.40	9.08	2.29	2.29	32.06
C 18:3	0.87	0.36	0.64	0.70	0.65	0.52	0.53	0.77
C 20:1	0.21	0.27	—	0.13	0.20	0.28	0.23	0.12

Table 4. Percentage of fatty acids in neutral, glyco- and phospho-lipid fraction in porcine muscle

	White Muscle				Red Muscle			
	Total	Neu.	Gly.	Phos.	Total	Neu.	Gly.	Phos.
C 10:1	0.06	0.08	0.10	—	0.06	0.08	—	—
C 12	—	—	0.05	—	—	—	—	—
C 13	0.05	0.07	0.08	—	0.04	0.06	—	—
?	0.53	—	—	2.02	0.44	—	—	1.60
C 14	1.66	1.70	1.81	1.55	1.70	1.36	—	2.74
C 14:1	0.54	—	—	2.04	—	—	—	—
C 15	—	—	—	—	—	—	—	—
C 15:1	2.85	0.04	0.04	10.67	1.58	—	—	5.77
C 16	18.70	23.71	24.03	4.71	24.49	24.04	73.72	20.57
C 16:1	3.97	3.89	3.98	4.19	2.90	3.25	3.97	1.91
C 17	0.76	0.46	0.42	1.61	0.55	0.19	1.32	1.38
C 17:1	1.90	0.47	0.41	5.88	1.10	0.12	4.94	3.19
C 18	16.09	11.75	11.59	28.20	13.48	14.09	6.62	12.67
C 18:1	37.30	47.57	47.80	8.63	38.29	48.32	3.88	16.31
C 18:2	10.34	7.56	8.46	18.01	12.69	6.83	5.55	28.34
C 18:3	1.62	2.24	0.82	—	1.0	1.47	—	—
C 20:1	0.34	0.46	0.41	—	0.13	0.19	—	—
C 20:4	3.30	—	—	12.49	1.51	—	—	5.52

의 함량비가 소인 경우는 white muscle에서, 닭인 경우는 red muscle에서 높게 나와 동물의 종류에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다.

또한 각 지방산의 총 함량으로 볼 때 oleic acid (C18:1)가 소인 경우 35~45%, 닭에서는 30% 내외

인 반면 linoleic acid(C18:2)는 각각 10%와 20%로서 닭인 경우가 약 2배 높게 나왔다.

특히 돼지 골격근의 지방산 조성에서 arachidonic acid로 예상되는 고도의 불포화 지방산의 함량이 다른 동물에 비하여 특히 높다는 결과와 red muscle과

Table 5. Percentage of fatty acids in neutral, glyco- and phospho- lipid fraction in chicken muscle

	White Muscle				Red Muscel			
	Total	Neu.	Gly.	Phos.	Total	Neu.	Gly.	Phos.
C 10:1	—	—	1.70	—	—	—	0.70	—
C 12	—	—	1.45	—	—	—	0.79	—
C 13	—	—	1.22	—	—	—	0.60	—
C 13:1	0.13	0.11	—	0.12	—	—	—	0.14
?	—	—	0.77	—	—	—	0.32	—
C 14	0.75	0.89	2.01	0.42	0.86	1.00	1.05	—
C 14:1	—	0.11	—	—	0.52	0.26	—	0.33
C 15	—	0.13	0.44	0.10	0.53	0.08	—	0.15
C 15:1	5.65	5.57	0.59	5.78	3.53	1.03	0.63	4.92
C 16	23.82	25.85	11.40	28.70	22.77	22.48	9.08	23.35
C 16:1	2.87	7.07	1.03	1.34	6.16	7.73	7.73	0.84
C 17	0.15	—	—	0.16	0.14	0.13	—	0.26
C 17:1	1.84	2.18	—	1.03	0.71	0.63	—	0.92
C 18	13.56	7.93	24.48	16.22	9.76	5.52	17.16	24.28
C 18:1	29.34	33.05	24.39	24.40	33.33	38.90	14.06	21.98
C 18:2	20.99	16.03	30.53	21.18	20.26	20.19	44.22	22.04
C 18:3	0.44	0.56	—	0.21	0.79	1.31	—	0.33
?	—	—	—	—	—	0.56	—	—
C 20:1	0.27	0.46	—	0.27	0.42	0.42	2.07	0.23

white muscle 사이에 차이가 크다는 결과 (Table 4)는 동물의 종류에 따른 지방대사의 차이를 시사함은 물론 육제품 재료의 산패속도에도 차이가 있을 것을 예상시키는 것으로 주목되었고 이와 유사한 결과는 Allen⁽¹²⁾ 등과 Moody 등⁽¹⁷⁾의 연구로부터도 얻어지고 있다.

George 등⁽¹⁸⁾에 의하면 lipase 활성이 red fiber 보다 white fiber 에서 더 높다고 하였으며 Allen 등⁽¹²⁾은 longissimus muscle 에 지방이 축적되는 이유를 지방의 산화적 대사에 관여하는 esterase 와 β -hydroxybutylyc dehydrogenase 의 함량이 적기 때문이라고 추정하고 있다.

따라서 이러한 지방산 차이의 규명을 위해서는 일차적으로 muscle type 에 따른 지질대사에 관여하는 여러 효소들의 활성 및 인자 등을 비교 조사하여보고 또한 이와 관련된 해당이나 TCA 회로에 관여되는 효소들에 대해서도 폭넓게 연구가 진행되어야 할 것으로 생각되었으며, red muscle 과 white muscle 의 지방산 조성에서의 차이와 산화촉진제인 Fe 의 함량(myoglobin 의 함량)의 차이로 산패속도에도 차이가 있을 것으로 예상되었다.

요 약

1. 섬유간 지방질 함량은 소와 닭의 근섬유의 경우에는 white muscle 보다 red muscle 에서 높게 나타났으나 돼지 근섬유의 경우에는 white muscle 쪽이 높았다.
2. 근섬유간 지질의 분포를 살펴보면 중성지질이 가장 많이 차지하고 극성지질과의 조성비에 있어서는 동물의 종 및 muscle type 에 따라 다르게 나타났다.
3. 지방산의 조성에 있어서는 불포화 지방산의 함량비가 두 muscle type 사이에서 다르게 나타났으며 특히 돼지의 근섬유간 지방질에는 고도불포화지방산 함량이 높은 특징을 보였다.

감사의 글

본 연구는 건조육제품 개발을 위한 기초연구의 제 1 보로 미원문화재단부설 한국음식문화연구원의 연구비로 수행된 것이다. 저자들은 연구비를 지원하여 준 미원문화재단부설 한국음식문화연구원에 심심한 사의를 표하는 바이다.

문 헌

1. Beecher, G.R., Cassens, R.G., Hoekstra, W.G. and Briskey E.J.: Red and White Fiber Content and Associated Post-Mortem Properties of Seven Porcine Muscles. *J. Food Sci.*, **30**, 969(1965)
2. Gautier, G.F., Burke, R.E., Lowey, S. and Hobbs, A.W.: Myosin Isozymes in Normal and Cross-Reinnervated Cat Skeletal Muscle Fiber. *J. Cell Biol.*, **97**, 756(1983)
3. Owen, J.A. and Lawrie, R.A.: The Effect of an Artificially Induced High pH on the Susceptibility of Minced Procine Muscle to Undergo Oxidative Rancidity Under Frozen Storage. *J. Food Tech.*, **10**, 169(1975)
4. Goll, D.E., Stromer, M.H. and Robson, R.M.: Tryptic Digestion of Muscle Components Stimulates Many of the Changes Caused by Post-Mortem Storage. *J. Anim. Sci.*, **33**, 963(1971)
5. Bendall, J.R.: Cold Contracture and ATP-Turnover in the Red and White Musclature of the Pig, Post-Mortem. *J. Sci. Food Agr.*, **25**, 55(1975)
6. 양 용, 신완철, 오두환, 진홍승, 김기태: Red Muscle과 White Muscle의 근원섬유단백질의 특성의 비교. *식품과학회지*, **18**(3), 173(1986)
7. 양 용: 근육에 있어서의 화학에너지의 기계에너지로의 변환속도에 관한 비교연구. *산업기술연구소 논문집*(연세대), **17**(1), 147(1985)
8. 양 용, 박현주, 김영호, 진홍승, 신완철: Porcine Myofibrillar Protein에 대한 비교 생화학적 연구. *식품과학회지*, **18**(6), 443(1986)
9. 양 용, 신완철, 오두환, 진홍승, 김기태: Red Muscle과 White Muscle의 근원섬유단백질의 안정성. *식품과학회지*, **18**(3), 226(1986)
10. Folch, J., Less, M. and Sloane, G.H.: A Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497(1957)
11. Rouser, G., Kritichesvsky, G., Simon, G. and Nelson, G.J. *Lipids*, **2**, 37(1967)
12. Allen, E., Cassens, R.G. and Bray, R.W.: Comparative Lipid Composition of Three Porcine Muscles. *J. Anim. Sci.*, **26**, 36(1967)
13. Ogata, T.: The Differences in Some Labile Constituents and Some Enzymatic Activities Between the Red and the White Muscle. *J. Biochem.*, **47**, 726(1960)
14. Bocek, R.M. and Peterson R.D.: Glycogen Metabolism in Red and White Muscle. *Am. J. Physiol.*, **210**, 1101(1966)
15. Beaty, C.H. and Bocek, R.M.: Physiology and Biochemistry of Muscles as a Food. 2, Univ. of Wisconsin Press, Medison, Wisconsin, 155(1970).
16. Wlison, B.R., Pearson, A.M. and Shorland, F.B.: Effect of Total Lipids and Phospholipids on Warm-up Flavor in Red and White Muscle from Several Species as Measured by Thiobarbituric Acid Analysis. *J. Agri. Food Chem.*, **24**(1), 7(1966)
17. Moody, W.G., Kauffman, R.G. and Cassens, R.G.: Histochemical and Biochemical Observations on Muscle from Fasted-Refed Pigs. *J. Anim. Sci.*, **28**, 746(1969)
18. George, J.C. and Scaria, K.S.: Histochemical Demonstration of Lipase Activity in the Pectoralis Major Muscle of the Pigeon. *Nature*, **181**, 783(1958)
19. Sreter, F.A.: Temperature, pH and Seasonal Dependence of Ca-Uptake and ATPase Activity of White and Red Muscle Microsomes. *Arch. Biochem. Biophys.*, **134**, 25(1969)
20. Lawrie, R.A.: Factors Reflected in Specialized Muscle Function and Constitution. *In Muscle Science*, Pergamon Press, Oxford, 98(1979)
21. Rubinstein, N.A. and Kelly, A.M.: Myogenic and Neurogenic Contributions to the Development of Fast and Slow Twitch Muscles in Rat. *Dev. Bio.*, **62**, 473(1978)

(1989년 4월 24일 접수)