トリ胸肉抽出物(CBEXTM)長期摂取が骨格筋中カルノシン濃度と 短時間高強度運動パフォーマンスに及ぼす影響

佐藤三佳子¹⁾ 鈴木康弘¹⁾ 森松文毅¹⁾ 高松 薫²⁾

EFFECT OF CARNOSINE CONCENTRATION IN MUSCLE AND IMPROVEMENT OF EXERCISE PERFORMANCES DUE TO LONG-TERM INTAKE OF CHICKEN BREAST EXTRACT

MIKAKO SATO, YASUHIRO SUZUKI, FUMIKI MORIMATSU and KAORU TAKAMATSU

Abstract

The present study examined the effect of the long-term intake of chicken breast extract (CBEX), which contains carnosine and anserine, on carnosine content in skeletal muscles of humans and on short-period exercise performance with high intensity.

Before and after CBEX was orally given to 13 healthy male subjects for 30 days, pieces of their muscle (*M. vastus lateralis*) were excised and carnosine concentration in the muscle was measured. Before and after the test period, the subjects' exercise performance (mean and peak power/body weight) was determined by pedaling for 30 sec. On the basis of baseline concentrations of carnosine, the subjects were classified into two groups: low (n=8) and high (n=5) carnosine-baseline groups. In the former group, intake of CBEX increased carnosine concentration in the muscle ($p < 0.05$), resulting in significant correlation between increased rate of carnosine concentration and mean power. These results suggest that exercise performance depends on carnosine concentration in the muscle, and that taking carnosine-containing foods may improve exercise performance.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52: 255~264)

key word: carnosine, anserine, chicken breast extract (CBEX), exercise performance, human

I. 緒 言

カルノシン(β -アラニル-L-ヒスチジン)およびアンセリン(β -アラニル-L-メチル-L-ヒスチジン)は動物の脳, 心臓, 肝臓, 腎臓, 神経系や骨格筋中に広く存在するヒスチジン含有ジペプチド^{1,2)}である。特に骨格筋中に高レベル(1~20 mM)に存在することから運動との関連が古くから示唆されてきた。これらのジペプチドはその分子構造から緩衝作用を有しており^{3~5)}, 高強度運動時の乳酸生成による pH 低下がもたらす筋活動の低下, すなわち筋疲労を低減させる可能性が示唆されている⁶⁾。ヒトにおいて骨格筋中カルノ

シン濃度と運動パフォーマンスとの関連を研究した例は少ないが, 800 m ランナーの骨格筋中にはマラソンランナーや非鍛錬者と比べてカルノシンが高濃度に存在するという報告があり, 骨格筋中カルノシン濃度と無酸素性スピードテストの持続時間との間に密接な関係があることが示唆されている⁷⁾。さらに, Suzuki らは一般成人男子における骨格筋中カルノシン濃度と30秒間全力ペダリングにおける平均パワーとの間に有意な正の相関関係があることを報告している⁸⁾。したがって, 骨格筋中カルノシンおよびアンセリン濃度を増加させることにより筋の緩衝作用が増強し, その結果として短時間高強度運動パフォーマンスが向上

¹⁾ 日本ハム㈱中央研究所
〒300-2646 茨城県つくば市緑ヶ原3-3

²⁾ 筑波大学 体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

R & D Center, Nippon Meat Packers, Inc., 3-3 Midorigahara, Tsukuba, Ibaraki 300-2646, JAPAN

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

する可能性があると考えられる。

これまでに、われわれは骨格筋中カルノシン濃度を食事因子によって変化させたときの運動パフォーマンスへの影響を検討するため、マウスにカルノシン・アンセリンを豊富に含むトリ胸肉より抽出したエキス (Chicken Breast Extract, 「CBEX」) を経口摂取させ、骨格筋中カルノシン・アンセリン濃度の変化、および遊泳持久力の変化を調べた。その結果、CBEX の摂取により、マウス骨格筋中カルノシン・アンセリン濃度と遊泳持久力が有意に増加した⁹⁾。そこで本研究では、ヒトを対象として CBEX を長期摂取させたときの骨格筋中カルノシン濃度の変化と短時間高強度運動パフォーマンスの変化について、これらの相関関係に着目し調査することを目的とした。

II. 実験方法

A. トリ胸肉エキス (CBEX) の調製と試験スープの製造

トリ胸肉を原料として、カルノシンとアンセリンを豊富に含む抽出物 (CBEX) を得た。CBEX は独特の強いうまみと香りを有しており、そのまま摂取させるのは困難であったため、1 缶 (190 g) に約 40 g の CBEX を配合したコンソメスープを製造し試験スープとした。CBEX 以外の成分による影響をできる限り排除するため、他の動物性エキスを使用せず、砂糖の使用を控え甘味料を用いるなどの工夫を凝らした。試験スープの成分を表 1 に示した。

B. CBEX 長期投与試験

1. 被験者

被験者には定期的なトレーニングを行っていない健康な男子大学生 13 名 (年齢 22.9 ± 2.6 歳, 身長 174 ± 0.05 cm, 体重 67.5 ± 9.3 kg) を用いた。被験者にはあらかじめ試験の目的, 方法, 危険性について詳細に説明し参加の同意を得た。なお, 本研究は日本ハム (株) ヒト試験に関する倫理委員会の審議を受け, 承認を得た上で実施した。

被験者は, BMI および口頭で調査した運動履歴が均一になるように 2 群に分け, 試験スープを

Table 1. Nutrients of the test soup containing CBEX.

Nutrient	Content
Moisture (%)	95.0
Protein (%)	3.5
Lipid (%)	0
Ash (%)	1.2
Saccharide (%)	0.3
Crude fiber (%)	0.0
Carnosine (%)	0.2
Anserine (%)	0.6
Taurine (%)	0.01
Creatine (%)	0.06
Creatinine (%)	0.24
Calories (kcal/100g)	15.0
Sodium (mg/100g)	199.0

1 日 1 缶摂取する群 (1 缶群, $n=7$) と 1 日 3 缶摂取する群 (3 缶群, $n=6$) とした。

本試験においては、筋サンプル採取という大きな負担を被験者に与えることから、コントロール群を設定せず、被験者各人の摂取前後の比較により試験食摂取の影響を検討することにした。

2. 試験スケジュール

試験スケジュールを図 1 に示した。

はじめに運動パフォーマンスの初期値を測定し、1 週間後にカルノシン濃度の初期値を測定するために筋サンプルを採取した。試験スープ摂取は筋サンプル採取の翌日より開始させ、1 缶群は夕食時に、3 缶群は毎食時に 1 缶ずつ摂取させた。摂取開始 30 日後に再び筋サンプルを採取し、その 1 週間後に 2 回目の運動パフォーマンス測定を実施した。なお、この 1 週間は継続して試験スープを摂取させた。

3. 骨格筋中カルノシン濃度の測定

骨格筋中カルノシン濃度を測定するために、30 日間の摂取期間前後にニードルバイオプシー法¹⁰⁾によって、右大腿部外側広筋より筋サンプルを採取した。採取した筋サンプルは直ちに液体窒素により凍結し、分析まで -80°C 以下にて凍結保存した。これをはじめに凍結乾燥し、Harris らの方法¹¹⁾に改良を加えた以下の方法で処理した。乾燥重量の約 30 倍量の氷冷した 1.15% 塩化カ

Figure 1. Test schedule.

All subjects had daily drunk the test soup containing CBEX for 37 days. Their exercise performances were determined by ergometers before and after the test period. Pieces of their muscle (M.vastus lateralis) were excised as indicated in the figure and examined for carnosine concentrations.

リウム水溶液中でホモジナイズし、このホモジネートを遠心分離(700×g, 15分間)し、その上清に1/9量の3M過塩素酸溶液を加えてタンパク質を沈殿させた。再度遠心分離(18,000×g, 5分間)し、上清に4.25%量の3M水酸化カリウムを加え生じた過塩素酸カリウムを遠心(18,000×g, 5分間)により除去した。この上清を4倍量のクエン酸リチウム緩衝液で希釈し、アミノ酸分析機(日本電子JLC-500)によりカルノシン濃度を分析した。

4. 短時間高強度運動パフォーマンスの測定

CBEXの長期摂取が短時間高強度運動パフォーマンスに与える影響を検討するため、Bar-Or¹²⁾の方法を参考として、トルク制御が任意に設定できるハイパワー自転車エルゴメーター(TKK 1254 a, 竹井機器社製)を用いて、30秒間全力ペダリングを体重の7.5%の負荷で行わせた。自転車運動時のパワーは1秒ごとにコンピューターに取り込み、それをもとに体重当たりの最高パワーおよび平均パワー、5秒間ごとに6区間(0～5秒, 6～10秒, 11～15秒, 16～20秒, 21～25秒, 26～30秒)に分けた際の区間パワー(5-s section power)を算出した。

5. 食事調査

試験期間中の食事は、試験食を摂取する以外ではできる限り普段の食生活を変えないように指示した。また、試験スープ摂取前、中、後の各期間のうち、連続した3日間の食事内容を自己記入方式により調査した。記入された食事内容から市販ソ

フト(栄養相談室, OLYMPUS社製)を用いて栄養成分摂取量を解析した。

6. 統計処理

各測定値は、平均値±標準偏差で表した。

有意差検定は、市販ソフトStatView Ver5.0 (SAS Institute Inc.)を用い、群間比較はStudent's unpaired t testにより、摂取期間前後での比較はStudent's paired t testにより検定した。また、骨格筋中カルノシン濃度増加率とパフォーマンス変化率との間の相関関係はPearson's correlations coefficient testにより検定した。栄養成分摂取量の試験スープ摂取期間前、中、後の変化は、Repeated measure one-way ANOVAにより分散分析し、次いでFisher's PLSDにより有意差検定を行った。いずれも、 $p < 0.05$ をもって統計的に有意とした。

Ⅲ. 結 果

A. 骨格筋中カルノシン濃度の変化

試験スープ摂取期間(30日間)前後の骨格筋中カルノシン濃度の変化を表2に示した。1缶群と3缶群のいずれにおいても、有意差は認められなかったもののカルノシン濃度は増加する傾向を示した。全被験者($n=13$)においては、摂取前が21.22 mmol/kg dry muscleであるのに対し、摂取後は27.20 mmol/kg dry muscleにまで増加する傾向を示した($p=0.0523$)。

また、試験スープ摂取前の骨格筋中カルノシン濃度(初期値)に非常に大きな個人差(9.0～42.5

Table 2. Carnosine concentrations in muscles of the subjects.

Group	Carnosine concentration (mmol/kg dry muscle)	
	pre - supplementation	post - supplementation
1- can group (n=7)	21.37 $\pm$ 3.29	24.51 $\pm$ 8.52
3 - can group (n=6)	21.05 $\pm$ 11.52	30.34 $\pm$ 3.58
All subjects (n=13)	21.22 $\pm$ 7.79	27.20 $\pm$ 7.12
Low carnosine group (n=8)	17.13 $\pm$ 3.96	26.37 $\pm$ 8.08 *
High carnosine group (n=5)	27.77 $\pm$ 8.23	28.53 $\pm$ 5.86

Carnosine concentrations were determined before and after 30-day test period as indicated in Figure 1.

Values are means $\pm$ S. D.

* : Significant difference from the pre-supplementation ($p < 0.05$)

mmol/kg dry muscle)が認められたため, 全被験者の平均値(21.2 mmol/kg dry muscle)を基準とし, 低カルノシン群(n=8), 高カルノシン群(n=5)に分類し解析したところ, 低カルノシン群において有意な増加が認められた(表2, $p < 0.05$). 一方, 高カルノシン群では有意な変化は認められなかった. なお以降の解析はすべて低カルノシン群, 高カルノシン群に分類して行った.

B. 短時間高強度運動パフォーマンスの変化

試験スープ摂取期間前後の30秒間全力ペダリングによる最高パワー, 平均パワー, および30秒間全力ペダリングを5秒ごとに6区間(0~5秒, 6~10秒, 11~15秒, 16~20秒, 21~25秒, 26~30秒)に分類した際の区間パワーは, 低カルノシン群, 高カルノシン群のいずれにおいても摂取期間前後で有意な変化は認められなかった.

C. 骨格筋中カルノシン濃度と運動パフォーマンスとの関係

試験スープ摂取前後の骨格筋中カルノシン濃度と30秒間全力ペダリングにおける平均パワーとの間には有意な相関関係は認められなかった. しかし, 摂取前後の骨格筋中カルノシン濃度増加率と平均パワー増加率との間に有意な相関関係が認め

Figure 2. Correlations between rates of change in exercise performance mean power/BW and carnosine concentration of the subjects.

The open (○) and closed (●) symbols represent low and high carnosine-baseline subjects, respectively. Δ Mean power, Δ Peak power and Δ Carnosine were calculated by an equation $(y - x) / x \times 100$ (%), where x and y are values before and after the test period, respectively. Continuous line (—) and broken line (-----) represented regression line of all subjects and low carnosine group, respectively.

Figure 3. Correlations between rate of change of exercise performance (5-s section power/body weight) and that of carnosine concentrations of the all subjects. Δ 5-s section power and Δ Carnosine were calculated by an equation $(y - x) / x \times 100 (\%)$, where x and y are values before and after the test period, respectively. Continuous line (—) represented regression line.

られた(図2:全被験者: $r = 0.832$, $p < 0.001$, 低カルノシン群: $r = 0.867$, $p < 0.01$)。これをさらに詳しく検討するため、骨格筋中カルノシン濃度増加率と区間パワー増加率との関係を調べたところ、全被験者および低カルノシン群のいずれにおいても、運動開始時(0～5秒)以外のすべての区間において有意な正の相関関係が認められた(図3)。

一方、最高パワーはいずれの群においても有意な相関関係は認められなかった。

D. 食事調査

被験者の自己申告による食事内容をもとに、摂取した栄養成分を解析した(表3)。その結果、低カルノシン群において、試験スープ摂取期間前と比較して摂取期間中の塩分摂取量が有意に少なかった($p < 0.05$)。

Ⅳ. 考 察

本研究の第一の目的は、ヒトにおいて生体内で

の緩衝作用の一端を担う骨格筋中カルノシン濃度が食事因子により変動するかどうかを検討することであった。動物においては、骨格筋中カルノシン濃度が食事因子により変動することが明らかにされており、カルノシンの投与、ヒスチジンおよび β -アラニンの過剰・欠乏によって骨格筋中カルノシン濃度が変動することが報告されている^{9, 13, 14}。しかし、ヒトにおいて食事因子が骨格筋中カルノシン濃度に及ぼす影響について検討した研究は見あたらない。そこで、本研究ではカルノシンの長期摂取がヒトの骨格筋中カルノシン濃度に及ぼす影響について検討した。カルノシンの供給源としては、カルノシンおよびその関連ペプチドであるアンセリンを他の食肉と比較して豊富に含む¹⁾トリ胸肉に着目し、そこからトリ胸肉エキス(CBEX)を調製し実験に使用した。なお、アンセリンは、カルノシンにメチル基が付加された分子構造を有し、動物骨格筋中にカルノシンと同様広く存在しており、カルノシンと同様の機能を有しているとされているが、ヒトの組織中にはほと

Table 3. Daily nutrient intake during test period.

	pre-supplementation		supplementation period		post-supplementation	
Energy (kcal)						
All subject	1754 ±	581	1549 ±	403	1586 ±	492
Low carnosine	1821 ±	621	1506 ±	323	1562 ±	532
High carnosine	1647 ±	513	1635 ±	534	1643 ±	403
Protein (g)						
All subject	59.7 ±	25.9	52.2 ±	15.2	54.8 ±	22.0
Low carnosine	62.1 ±	28.6	51.7 ±	12.2	54.3 ±	23.6
High carnosine	55.7 ±	21.4	53.1 ±	20.5	56.1 ±	19.0
Lipid (g)						
All subject	63.3 ±	29.4	51.9 ±	18.1	53.1 ±	22.5
Low carnosine	66.2 ±	32.8	50.1 ±	14.1	51.0 ±	24.6
High carnosine	58.6 ±	23.3	55.5 ±	24.7	57.9 ±	16.8
Carbohydrate (g)						
All subject	221.8 ±	73.9	194.5 ±	54.8	197.7 ±	55.7
Low carnosine	228.3 ±	75.0	189.1 ±	47.0	195.6 ±	60.4
High carnosine	211.4 ±	73.5	205.1 ±	68.8	202.7 ±	45.6
Salt (g)						
All subject	8.6 ±	3.8	7.0 ±	2.3	7.2 ±	3.4
Low carnosine	9.2 ±	4.1	7.1 ±	2.4 *	7.3 ±	3.7
High carnosine	7.7 ±	3.2	6.7 ±	2.2	7.0 ±	2.6

Dietary intake was recorded on consecutive three days during each period, and a nutrient composition intake was analyzed on basis of them.

Values are means ± S. D.

* : Significant difference from the pre-supplementation period ($p < 0.05$)

んど検出されない¹⁵⁾.

CBEX を含有する試験スープを長期摂取したときの骨格筋中カルノシン濃度の変化とパフォーマンスの変化について調査した。試験スープ摂取前の骨格筋中カルノシン濃度初期値は、平均値21.2 mmol/kg dry muscle, 最小値 9.0 mmol/kg dry muscle, 最大値 42.5 mmol/kg dry muscle であり, 個人差が大きいことが確認された。30日間の試験スープ摂取後の骨格筋中カルノシン濃度は1 缶群と3 缶群のいずれも増加する傾向はあったが有意差は認められなかった。しかし1 缶群, 3 缶群をまとめて全被験者($n = 13$)として解析したところ, 摂取前 21.2 mmol/kg dry tissue, 摂取後 27.2 mmol/kg dry tissue であり, 明らかな増加傾向を示した($p = 0.0523$)。さらに骨格筋中カルノシン濃度初期値に大きな個人差が見られたことより, この初期値の違いがCBEX 摂取による骨格筋中カルノシン濃度増加に影響を与えるのではないかと考え, 全被験者の平均値を基準として低カルノ

シン群, 高カルノシン群の2 群に分類し解析した。その結果, 低カルノシン群において骨格筋中カルノシン濃度が有意($p < 0.05$)に増加したことが確認された(表2)。一方, 高カルノシン群においては, 摂取期間前後に変化は認められなかった。また, 低カルノシン群における摂取期間後のカルノシン濃度は高カルノシン群の値と同レベルに近づいていた。これらの結果は, カルノシン濃度は, 一定の濃度水準に制御されており, 初期値がその水準に達していない場合は食事負荷によりカルノシン濃度を増加させることができることを示唆するものである。なお, 食事調査の結果, 摂取期間前と比較して塩分摂取量の低下が認められたが, これは骨格筋中カルノシン濃度に影響を与えるものではないと考えられる。従って, 摂取期間後の骨格筋中カルノシン濃度上昇作用は, 他の食事因子によるものではなくCBEX の摂取によるものであると思われる。

ヒトでのカルノシン投与試験例は少ないため本

研究と同様の報告は見られないが、すでに詳細な検討が進められているクレアチン投与に関する先行研究では、被験者の骨格筋中クレアチンリン酸初期値の違いにより増加率に違いが生じること¹⁶⁾、また、クレアチン投与で到達する骨格筋中クレアチンリン酸量に飽和水準があること¹⁷⁾が示されている。カルノシンについても同様の調節機構の存在が推察される。

先行研究によれば、摂取したカルノシンは小腸で一部分解されるが大部分はジペプチドのまま吸収され¹⁸⁾、血清カルノシナーゼもしくは組織カルノシナーゼにより β -アラニンとヒスチジンに分解される^{2, 19, 20)}。我々が実施した予備試験においても、試験スープ摂取後に血液中にカルノシンはほとんど検出されず、アンセリンもわずかに検出されただけであった(data not shown.)。従って、長期投与試験において骨格筋中に蓄積したカルノシンは、摂取後に一度アミノ酸に分解され、骨格筋中で再合成されたものである^{21, 22)}と考えられる。また本来ヒトの組織中には認められないアンセリン¹⁵⁾については、摂取前後のいずれにおいても骨格筋中に検出されなかったが、カルノシンと同様に摂取後構成アミノ酸に分解され、それがカルノシン合成に利用されたと考えられる。

本試験の第2の目的は、骨格筋中カルノシン濃度増加によって短時間高強度運動パフォーマンスが向上するか否かを検討することであった。一般に、高強度運動時の疲労の原因として乳酸生成に伴う筋 pH の低下が示唆されている²³⁾。カルノシンは緩衝作用を有することが示唆されており、骨格筋中カルノシン濃度増加は、乳酸生成を伴うような短時間高強度運動時において筋 pH 低下を抑制し、その結果として高い運動パフォーマンスをもたらすものと考えられる。そこで、摂取期間前後における骨格筋中カルノシン濃度の変化率と30秒間全力ペダリングの平均パワーとの相関関係に着目したところ、これらの間に有意な強い正の相関関係が認められた(図2, $r=0.832$, $p<0.001$)。この相関関係は、低カルノシン群においては同様に認められるが($r=0.867$, $p<0.01$)、高カルノシン群においては全く認められなかった

($r=0.047$)。この結果は、骨格筋中カルノシン濃度を増加させることにより短時間高強度運動パフォーマンスが向上すること、特にカルノシン濃度初期値の低い人においてはCBEXの摂取により骨格筋中カルノシン濃度を増加させることが有効であることを示唆するものである。

また、Suzukiらは、一般成人男子11名の骨格筋中カルノシン濃度と30秒間全力ペダリングを5秒間ずつ6区間に分けた際の運動後半2区間の区間パワーとの間に有意な正の相関関係を認めており、骨格筋中カルノシン濃度が高いものほど特に運動後半における筋 pH の低下を抑制することができ、その結果として高いパワーを発揮できた可能性がある⁸⁾と考察している。本研究においても、骨格筋中カルノシン濃度の増加率と区間パワーの増加率は運動開始時(0~5秒)以外のいずれの区間においても有意な正の相関関係が認められ、その回帰直線の傾きは運動後半ほど大きいことが認められた(図3-b~f)。このことは、骨格筋中カルノシンは短時間高強度運動全般に寄与しているが、特に運動後半において寄与率が高いことを示すものであり、前述のSuzukiらの知見を支持するものである。本研究においては、CBEXの摂取により骨格筋中カルノシン濃度が増加したもののほど、短時間高強度運動の特に後半におけるパワーの低下が抑制されるという結果がもたらされた。

本研究において、30秒間全力ペダリングにおける平均パワーおよび区間パワーは摂取前と比較して試験期間後に増加する傾向を示したが、有意差は認められなかった。しかし、低カルノシン群においては、CBEXの摂取が骨格筋中カルノシン濃度の増加をもたらすこと、この増加率と平均パワー増加率・区間パワー増加率との間に有意な相関関係が認められたことから、CBEX含有スープの摂取が、パフォーマンスの増大に有効であったことが示唆される。CBEXには、カルノシン・アンセリンの他にもクレアチンをはじめとする畜肉由来成分が含有されており、これらの関与も否定できないが、少なくとも平均パワーおよび区間パワーの増大の一部は、骨格筋中カルノシン濃度の増加、すなわちCBEX中のカルノシン・アンセ

リンの摂取に起因することが示唆される。

一方, 最高パワーは, 低カルノシン群と高カルノシン群のいずれの群においても増加する傾向を示したが有意差は認められなかった。しかし, 骨格筋中カルノシン濃度増加率と最高パワー増加率との間に有意な相関関係は認められなかったため, カルノシンとの関連は無いものと思われる。

まとめとして, 本研究から, 骨格筋中カルノシン濃度は短時間高強度運動パフォーマンスを規定する要因のひとつであり, その濃度の増加が運動パフォーマンスの増加をもたらすこと, カルノシンの供給源として CBEX が有効であることが示唆された。

本研究では, 骨格筋中カルノシン濃度と骨格筋の緩衝能との関係を直接明らかにしていない。今後はこの点を明確にするとともに, 他の因子特にトレーニングによる骨格筋中カルノシン濃度の変化を緩衝能の変化, パフォーマンスの変化と関連付けて検討する必要がある。また, 同時にトレーニングによって骨格筋中カルノシンの水準濃度を高めることができるか否かについて検討することも必要であろう。

(受理日 平成15年3月24日)

文 献

- Crush, KG. Carnosine and related substances in animal tissues. *Comp. Biochem. Physiol.*, (1970), **34**, 3-30.
- Chan, WKM., Decker, EA., Chow, CK., Boissonneault GA. Effect of dietary carnosine on plasma and tissue antioxidant concentrations and on lipid oxidation in rat skeletal muscle. *Lipids*, (1994), **29**, 461-66.
- Davey, CL. The effects of carnosine and anserine on glycolytic reactions in skeletal muscle. *Arch. Biochem. Biophys.*, (1960), **89**, 296-302.
- Davey, CL. The significance of carnosine and anserine in striated skeletal muscle. *Arch. Biochem. Biophys.*, (1960), **89**, 303-8.
- Meshkova, NP., Karyavkina, OE. Participation of carnosine and anserine in the glycolytic and oxidative processes in muscle tissue. *Biokhimiia*, (1964), **50**, 74-9.
- Abe, H., Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry (Moscow)*, (2000), **65**, 757-65.
- Parkhouse, WS., McKenzie DC. Possible contribution of skeletal muscle buffers to enhance anaerobic performance: a brief review. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, (1984), **16**, 328-38.
- Suzuki, Y., Ito, O., Mukai, N., Takahashi, H., Takamatsu, K. High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half of exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Jpn. J. Physiol.*, (2002), **52**, 199-205.
- 原田理恵, 田口靖希, 浦島浩司, 佐藤三佳子, 大森 丘, 森松文毅, トリ胸肉抽出物(チキンエキス)のマウス遊泳持久力に対する効果, 日本栄養・食糧学会誌, (2002), **55**, 73-78.
- Bergström, J. Muscle electrolytes in man determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens. A study on normal subjects, kidney patients and patients with chronic diarrhea. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, (1962), **14**, 1-110.
- Harris, RC., Hultman E., Nordesjö LO. Glycogen, glycolytic intermediates and high-energy phosphates determined in biopsy samples of musculus quadriceps femoris of man at rest. Methods and variance of values. *Scand J Clin Lab Invest.*, (1974), **33**, 109-120
- Bar-Or, O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports. Med.*, (1987), **4**, 381-94.
- Tamaki, N., Tsunemori, F., Wakabayashi, M., Hama, T. Effect of histidine-free and -excess diets on anserine and carnosine contents in rat gastrocnemius muscle. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, (1977), **23**, 331-40.
- Tamaki, N., Funatsuka, A., Fujimoto, S., Hama, T. The utilization of carnosine in rats fed on a histidine-free diet and its effect on the levels of tissue histidine and carnosine. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, (1984), **30**, 541-51.
- Mannion, AF., Jakeman, PM., Dunnet, M., Harris, RC., Willan, LT. Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1992), **64**, 47-50.
- Greenhaff, PD., Bodin, K., Soderlund, K., Hultman, E. Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am. J. Physiol.*, (1994), **266**, E725-30.
- Casey, A., Constantin-Teodosiu, D., Howell, S., Hultman, E., Greenhaff, PL. Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *Am. J. Physiol.*, (1996), **271**, E31-7.
- Hama, T., Tamaki, N., Miyamoto, F., Kita, M., Tsunemori, F. Intestinal absorption of β -alanine, anserine and carnosine in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, (1976), **22**, 147-57.
- 古田 盛, 外山誠司, 三輪昌弘, 佐野 廣, ラッ

- トおよびヒトにおけるL-カルノシンの代謝, 薬物動態, (1993), **8**, 1057-63.
- 20) Maynard, LM., Boissoneault, GA., Chow, CK., Bruckner, GG. High levels of dietary carnosine are associated with increased concentrations of carnosine and histidine in rat soleus muscle. *J. Nutr.*, (2001), **131**, 287-90.
- 21) Bauer, K., Schultz, M. Biosynthesis of carnosine and related peptides by skeletal muscle cells in primary culture. *Eur. J. Biochem.*, (1994), **219**, 43-7.
- 22) Bakardjiev, A., Bauer, K. Transport of β -alanine and biosynthesis of carnosine by skeletal muscle cells in primary culture. *Eur. J. Biochem.*, (1994), **225**, 617-23.
- 23) Hultman, E., Canale, SD., Sjöholm, H. Effect of induced metabolic acidosis on intracellular pH, buffer capacity and contraction force of human skeletal muscle. *Clin. Sci.*, (1985), **69**, 505-10.