

## 急激な運動による血液成分の変化 II

福永健治, 吉田宗弘, 小野聡子, 中園直樹  
関西医科大学・公衆衛生学教室\*

### Effect of strenuous exercise on blood constituent II

Kenji Fukunaga, Munehiro Yoshida, Toshiko Ono and Naoki Nakazono

*Department of Public Health Kansai Medical University*

The effect of strenuous exercise on blood constituent was examined. Studies were made on healthy 13 members (18 to 27 years) of the canoe club of a medical university who participated in summer training camp for 7 days. Situation of food intake on before and during training camp were also evaluated. Intake of total energy, protein, and carbohydrate during training camp were increased when compared with that of before training camp, but intake of fat as not changed. After training camp, serum total protein, albumin, and total electrolyte ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) were not affected. Serum GOT, GPT, LDH, and CPK activities were significantly increased. RBC, Hb, Ht and serum haptoglobin were significantly decreased and reticulocyte was increased after the camp. Serum Zn level were significantly decreased but Cu and Fe levels were not changed. Serum antioxidative substance (ascorbic acid and  $\alpha$ -tocopherol) levels were significantly decreased, while lipid peroxide level (malondialdehyde) was significantly increased. These data suggest that strenuous exercise can result in a decrease of RBC, Hb, and Ht with oxidative damage.

健康の維持, 増進, 体力向上のため運動が推奨されて久しい。運動は, 年齢, 運動能力, 目的など個別に対応して行われることが望ましいが, 必ずしも適切に行われているとはいいがたい。なかには, 盲目的に能力を超えた運動負荷が行われている場合すらある。我々は先に, ふだん運動習慣をもたないヒトが急激な運動を行った場合の影響について血液成分の変化をもとに検討し, ヘモグロビンの減少, 筋損傷ならびに酸化的障害の惹起を報告した<sup>1)</sup>。本研究では, とくに赤血球の分解と生成に着目し, 食事摂取状況の調査および血液性状の変化をもとに急激な運動負荷の影響について検討を行った。

### 対象および方法

1996年7月17-23日に連続7日間の夏期合宿を行った関西医科大学カヌー部に所属する健常な学生13

\*所在地: 大阪府守口市文園町10-15 (〒570)

名 (男子11名, 女子2名, 年齢:  $21.0 \pm 2.4$ 歳, 身長:  $172.7 \pm 6.8$ cm, 体重:  $60.7 \pm 8.7$ kg) を対象とした。事前に合宿参加者全員に対して研究目的および方法の説明を十分に行い同意を得た。

平常時の食事摂取状況は, 平均的な3日間について, 合宿期間中については, 摂取した全食事について記入法により調査を行い, 栄養指導用ソフトウェア (栄養相談室, オリパス光学株) を用いて各栄養素の1日平均摂取量を算出した。

採血は, 合宿前後の安静時に肘静脈より常法にしたがって行った。血清総タンパク質, アルブミン, 総コレステロール, 血清電解質 ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), 肝機能および筋損傷指標酵素活性 (GOT, GPT および LDH, CPK 活性), ヘモグロビン濃度 (Hb), ヘマトクリット値 (Ht), 総鉄結合能 (TIBC) の測定は自動分析計にて行った。血清 Cu, Zn, Fe は原子吸光法にて測定を行った。また血清抗酸化性成分であるアスコルビン酸 (AsA),  $\alpha$ -トコフェロール ( $\alpha$ -Toc) および酸化障害の指標であるマロンジアルデヒド (MDA) は HPLC 法によって測定した。

### 結果および考察

合宿期間中, 毎日全員が午前中にカヌー走艇1kmのタイム測定を8セット, 午後には走艇練習 (平均10km) およびランニングなどを約4時間にわたり行った。トレーニング中の外気温は連日常時30°C以上であった。トレーニングの運動強度は, 自覚的運動強度 (rate of perceived exertion: RPE)<sup>2)</sup>にもとづき判定すると, 全員が RPE 点数15~18 (強度の感じ方: きつい~非常にきつい), 80~90%  $\text{VO}_{\max}$  に相当する激しい運動であった。合宿期間中に不調あるいは負傷を訴えるものはなく, 全員最終日までトレーニングを続けた。また, 合宿前後における体重の変化は認められなかった。

Table 1 に, 合宿前後における栄養素摂取状況を示した。合宿期間中の総エネルギー摂取量は平常時の1.35倍であった。タンパク質および炭水化物は合宿期間中に摂取の増加がみられたが, 脂肪摂取に有

**Table 1.** Situation of food intake on before and during training camp

		Before training camp	During training camp	During/Before
Total energy	Kcal/day	2382.5±715.0	3209.8±608.1**	1.35
Protein	g/day	82.2± 20.4	116.5± 19.0**	1.41
Fat	g/day	82.1± 25.5	91.6± 15.4	1.12
Carbohydrate	g/day	298.7± 84.0	460.8±110.5**	1.54
NaCl	g/day	10.1± 2.4	11.8± 2.1*	1.15
K	g/day	2.3± 0.7	3.4± 0.7**	1.45
Ca	mg/day	443.0±254.8	666.7±191.8*	1.51
Fe	mg/day	8.9± 2.3	17.0± 7.4**	1.91
Zn	mg/day	6.1± 1.9	6.9± 1.1	1.12
Cu	mg/day	1.0± 0.5	0.9± 0.2	0.93
AsA	mg/day	139.4±143.2	171.7±140.8	1.23
$\alpha$ -Toc	mg/day	8.7± 3.9	7.1± 1.8	0.81

Value are means  $\pm$  SD. n = 13. \*p < 0.05, \*\*p < 0.01

意な差はなかった。電解質およびFeは合宿期間中に摂取の増加がみられたが、ZnおよびCuに有意な差はなかった。また、抗酸化性成分についても摂取量に有意な差はみられなかった。

Table 2に、タンパク質および脂肪摂取状況の指標である血清総タンパク質、アルブミンおよび総コレステロールの合宿前後の変化を示した。血清総コレステロールは合宿後に7%減少したものの血清総タンパク質およびアルブミンは、合宿前後に有意な変化はみられなかった。合宿前後における体重変化がなかったこととあわせて判断すると、この結果は合宿期間中に運動負荷に見合ったエネルギーが摂取されたことを反映すると考えられる。

Table 3に、血清電解質を測定した結果を示した。NaおよびCa濃度には合宿後に有意な増加がみられ、反対にK濃度は有意に減少した。しかし、いずれも正常範囲内であり、血清電解質全体としては、恒常性が維持されていたと判断した。

Table 4には、肝機能および筋損傷指標酵素であるGOT、GPTおよびLDH、CPKの活性を測定した結果を示した。合宿後にはいずれの活性にも有意な上昇がみられ、とくにCPK活性の上昇が著しかった。これらの活性上昇は急激な運動負荷による筋肉組織の損傷を意味するものと考えられる。

**Table 2.** Effect of exercise on serum total protein, albumin, and total cholesterol

		Before exercise	After exercise	After/Before
Total protein	g/dl	7.2± 0.3	7.1± 0.4	0.97
Albumin	g/dl	4.8± 0.2	4.7± 0.2	0.96
Total cholesterol	mg/dl	174.7±29.3	161.7±30.6**	0.93

Value are means ± SD. n =13. \*\*p <0.01

**Table 3.** Effect of exercise on serum Na, K, and Ca levels

		Before exercise	After exercise	After/Before
Na <sup>+</sup>	mEq/l	140.8±1.5	142.0±1.3*	1.01
K <sup>+</sup>	mEq/l	4.3±0.2	4.1±0.3*	0.94
Ca <sup>2+</sup>	mg/dl	9.4±0.3	9.6±0.3**	1.02

Value are means ± SD. n =13. \*p <0.05, \*\* p <0.01

**Table 4.** Effect of exercise on serum GOT, GPT, LDH, and CPK activities

		Before exercise	After exercise	After/Before
GOT	unit/ml	20.0± 6.5	31.6± 8.8**	1.58
GPT	unit/ml	16.8± 5.9	24.6± 8.3**	1.46
LDH	unit/ml	346.4± 56.7	444.0± 80.0**	1.28
CPK	unit/ml	212.2±131.7	567.8±308.0**	2.68

Value are means ± SD. n =13. \*\*p <0.01

Table 5 には、血液中の赤血球数、網状赤血球数、Hb 濃度、Ht 値、血清ハプトグロビン濃度、TIBC および血清 Fe 濃度を測定した結果を示した。合宿後に全員の赤血球数、Hb 濃度および Ht 値の低下がみられた。また、ハプトグロビン濃度の低下が全員にみられた。これらのことは、対象者において、循環血中で溶血が起こり、赤血球数などが低下したことを示している。一方、網状赤血球数は合宿後に増加しており、溶血に対応して代償的な赤血球の合成亢進が起こっていると考えられた。

運動による溶血は、バレーボール、バスケットボールあるいは剣道など足底に強度の負荷（床反力）がかかる競技者について報告されている<sup>3)</sup>。しかし、今回検討した対象者についてはトレーニングメニューから判断して、床反力による強度の物理的衝撃は考えられない。したがって、本研究で得られた結果は、物理的衝撃を伴わない強度の運動負荷によっても赤血球の損傷、すなわち溶血が惹起されることを示すものである。

なお、TIBC および血清 Fe は個人差が大きく、明確な結果を得られなかった。しかし合宿前の段階でトランスフェリン飽和率が30%を下回っており（平均21.2%）、日常的な鉄の摂取量が8.9mg/日であることとあわせると、対象者はほぼ全員が潜在的な鉄欠乏の状態にあるといえる。したがって、ふだんの食事における Fe の摂取に十分注意する必要があるといえる。

血清 Cu、および Zn を測定した結果を Fe とあわせて Table 6 に示した。Cu および Fe は合宿前後において変化がみられなかったが、Zn は合宿後に約26%の低下が認められた。血清 Zn 減少の機序は不

**Table 5.** Effect of exercise on RBC, reticulocyte, Hb, Ht, serum TIBC, and Fe

		Before exercise	After exercise	After/Before
RBC	10/mm <sup>3</sup>	491.5±36.4	475.8±32.6	0.97
Reticulocyte	10/mm <sup>3</sup>	6.9±2.5	13.8±7.7*	1.99
Hb	g/dl	15.4±1.0	14.7±1.0*	0.94
Ht	%	46.5±2.7	43.7±2.4*	0.93
TIBC	μg/dl	351.8±50.8	342.8±51.9	0.96
Fe	μg/dl	97.1±40.9	102.8±36.6	1.06
Haptoglobin type2-1		119.8±22.9	108.6±15.0*	0.91
	mg/dl, n=5			
Haptoglobin type2-2		51.8±21.1	37.8±22.9*	0.72
	mg/dl, n=8			

Value are means ± SD. n = 13. \*p < 0.05

**Table 6.** Effect of exercise on serum trace element levels

		Before exercise	After exercise	After/Before
Cu	μg/dl	121.9±10.7	119.3±7.9	0.97
Zn	μg/dl	91.8±10.3	67.9±11.2**	0.73
Fe	μg/dl	97.1±40.9	102.8±36.6	1.06

Value are means ± SD. n = 13. \*\*p < 0.01

**Table 7.** Effect of exercise on serum antioxidative substance and lipid peroxide levels

		Before exercise	After exercise	After/Before
AsA	mg/dl	0.7±0.1	0.4±0.2**	0.58
α-Toc	mg/dl	0.8±0.2	0.7±0.1*	0.91
MDA	nmol/ml	2.3±0.3	2.8±0.4**	1.23

Value are means ± SD. n =13. \*p <0.05, \*\*p <0.01

明であるが、運動性貧血はZn欠乏により促進されるという報告<sup>4)</sup>があることから、合宿による溶血あるいはHbの減少がZn欠乏によりさらに促進されることも推察される。したがって運動時におけるZn摂取には十分な配慮が必要であろう。

過度の運動負荷は酸化的障害を惹起するという報告があることから<sup>5)6)</sup>、酸化的障害の指標として脂質酸化二次生成物である血清MDA、抗酸化性成分としてとくに重要な血清AsAおよびα-Tocの測定を行った。その結果、Table 7に示したように血清中MDAの増加、AsAおよびα-Tocの減少が認められた。合宿期間中のこれら抗酸化性成分の摂取は日常時と差がみられなかったことから運動による相当な酸化的ストレスの負荷が推察される。したがって今回の対象者では、運動による酸化ストレスの増大が赤血球膜の酸化的損傷を引き起こして溶血にいたったという可能性が大きい。したがって運動時の食物摂取としては、Fe、Znに加えて、運動負荷による酸化的障害を防御するために抗酸化性成分の積極的な摂取が必要であると考ええる。

## 文 献

- 1) 福永健治, 吉田宗弘, 西尾信宏, 中園直樹 (1996) 微量栄養素研究 13:93
- 2) 佐藤祐造, 山之内国男, 押田芳治, 石黒哲也 (1991) 糖尿病運動療法指導の手引き, 南江堂, 東京:43-78
- 3) 櫻田恵右, 武蔵 学, 嶋田文男, 松野一彦 (1997) 臨床検査 41:31
- 4) 西山宗六, 中村俊郎, 井本岳秋, 澤田芳男, 松田一郎 (1995) 微量栄養素研究 12:81
- 5) 大野秀樹, 大石修司, 木崎節子 (1995) 生物と化学 33:520
- 6) Helaine, M. A. and A. H. Goldfarb (1988) J. Appl. Physiol. 64:1333