

## 原 著

# 中年男性ランナーにおける1週間の 高濃度茶カテキン飲料摂取が有酸素性運動中の エネルギー代謝に及ぼす影響

宮崎 亮<sup>\*1,2</sup>、綾部 誠也<sup>\*3,4</sup>、和氣坂 卓也<sup>\*5</sup>、竹下 尚男<sup>\*5</sup>、片嶋 充弘<sup>\*5</sup>  
山内 武<sup>\*6</sup>、木下 藤寿<sup>\*7</sup>、高石 鉄雄<sup>\*8</sup>、米井 嘉一<sup>\*1</sup>、石井 好二郎<sup>\*2,9</sup>

<sup>\*1</sup>同志社大学大学院 生命医科学研究科、<sup>\*2</sup>同志社大学 健康体力科学研究センター、  
<sup>\*3</sup>独立行政法人国立病院機構 京都医療センター 臨床研究センター、  
<sup>\*4</sup>岡山県立大学 情報工学部スポーツシステム工学科、<sup>\*5</sup>花王株式会社 ヘルスケア食品研究所 健康機能評価室、  
<sup>\*6</sup>大阪学院大学 経済学部、<sup>\*7</sup>財団法人和歌山健康センター、  
<sup>\*8</sup>名古屋市立大学大学院 システム自然科学研究科、<sup>\*9</sup>同志社大学 スポーツ健康科学部

## 抄 録

## 目 的

ランニング愛好中年男性ランナーを対象に、高濃度茶カテキン飲料(GTC)摂取が低強度有酸素性運動中のエネルギー代謝に及ぼす影響を検討した。

## 方 法

中年男性ランナー 10 名(平均 52.1 ± 6.2 歳)を対象に、GTC または対照飲料(CON)のクロスオーバー試験を行った。被験者には本実験 6 日前より指定飲料(緑茶カテキン 630.5mg/500mL/日)または対照飲料を毎日摂取させた。被験者は本実験日の前夜夕食以降水分摂取を除く絶食状態で来室し、30 分以上の安静後、指定飲料 500ml を 1 時間で飲み切るよう 4 度にわけ(15分毎)摂取させた。その後、被験者は換気性作業閾値(VT)強度時の酸素摂取量の 40% (40% $\dot{V}O_2$ @VT)ならびに 70% (70% $\dot{V}O_2$ @VT)に相当する強度での自転車運動を 30 分間ずつ、合計 60 分間実施した。被験者の酸素摂取量ならびに二酸化炭素排出量はダグラスバッグ法により採取した(安静時、飲料摂取 15 分後、運動開始 28-30 分後および 58-60 分後)。

## 結 果

GTC における呼吸交換比は CON と比較し、40% $\dot{V}O_2$ @VT 時、70% $\dot{V}O_2$ @VT 時の両条件で有意に低く ( $p < 0.05$ )、エネルギー消費量は 40% $\dot{V}O_2$ @VT 時に CON と比べて有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

## 結 論

1 週間高濃度茶カテキン飲料摂取は、中年男性ランナーの散歩から軽いジョギング程度の運動強度時に脂質酸化量を増加させ、散歩レベルの低強度の身体活動時にはエネルギー消費量を亢進させることを示唆する。

**キーワード** 有酸素性運動、カテキン、サプリメント、脂質酸化、エネルギー消費量

## 緒 言

植物ポリフェノールであるカテキンには抗肥満効果、脂質代謝改善効果、抗酸化能などが示されている<sup>1)</sup>。カテキン摂取の効果は、交感神経亢進<sup>2)</sup>や食因性脂質酸化亢進<sup>3)</sup>などが知られており、ヒト対象の研究においても、24 時間エネルギー消

費量ならびに脂質酸化量増加をもたらすことが多くの研究ですでに報告されている<sup>4,5)</sup>。これまで我々は、メタボリックシンドロームあるいはその予備軍を対象とし、高濃度茶カテキン(green tea catechins; GTC)飲料摂取と歩行運動の組み合わせによって、抗肥満効果、脂質代謝改善効果が得ら

れることを明らかにしてきた<sup>6)</sup>。また、健康な高齢者に対して、歩行を中心とした運動と長期間の高濃度茶カテキン飲料摂取との組合せを行い、それらが脂質代謝に及ぼす効果についても報告している。<sup>7)</sup>

一方、笹川スポーツ財団<sup>8)</sup>の調査によれば、この1年間に実施した運動・スポーツ種目で、最も実施率が高いのは散歩(ぶらぶら歩き)の34.9%で推計人口3,629万人、続いて、ウォーキング(25.0%、同2,599万人)となっている。また、同調査では成人のジョギング・ランニングの年1回以上の実施者が1998年の調査開始以来、初めて1,000万人を超えたことを報告している<sup>8)</sup>。散歩、ウォーキング、およびジョギング・ランニングを実施する目的の上位に「体力や健康の維持・増進」「体型の維持・改善」があり、身体的健康を目的として実施している人々の多いことが伺える<sup>8)</sup>。さらに、週2日以上、散歩ならびにウォーキングを実施している年代は50歳以上の中高年に多く<sup>8)</sup>、近年のジョギング・ランニング実施者の増加の背景には、男性での顕著な増加傾向、中でも40歳代、50歳代の増加がここ数年顕著であることが貢献しているとの報告もある<sup>9)</sup>。すなわち、健康志向の中高年男性が、散歩、ウォーキング、およびジョギング・ランニングの実施率を押し上げている状況が推察される。

カテキン摂取により若年男性の持久運動時(60% $\dot{V}O_2$ peak)の呼吸交換比(respiratory exchange ratio; RER)が低下したことが報告されている<sup>10)</sup>。しかしながら、十分にトレーニングされていないランナーでは、約50% $\dot{V}O_2$ peak強度での走行がフルマラソン走行速度に相当する<sup>11)</sup>。したがって、60% $\dot{V}O_2$ peakは健康志向の中高年男性を対象とした場合、一般的な運動・スポーツ種目の強度としては高強度であると判断される。すなわち、現状では最も散歩、ウォーキング、およびジョギング・ランニングの実施率を押し上げている、健康志向の中高年男性の運動時における高濃度茶カテキン飲料摂取の効果の情報が欠如していることになる。

そこで本研究は、ランニングを愛好する中年男性ランナーを対象とし、高濃度茶カテキン飲料の

摂取が、日常的な運動・スポーツ種目強度の時の脂質代謝やエネルギー消費などに、効率的な影響を及ぼしているのかを明らかにすることを目的とした。

## 方 法

### 1. 被験者

本研究は、週に1~2回程度のジョギング・ランニングを行っている健常中年男性10名を被験者とした。被験者は、非喫煙者で、重篤な疾患に罹患していない者であり、年齢 $52.1 \pm 6.2$ 歳(44~60歳)、身長 $171.4 \pm 4.4$ cm、体重 $68.2 \pm 6.7$ kg、BMI $23.2 \pm 2.3$ kg/m<sup>2</sup>であった。全ての被験者に対しては、研究の意義、内容、目的に加えて、予想される効果及び危険性についての説明も行い、試験参加の同意を文書で得た。なお本実験は同志社大学倫理審査委員会の承認を得て行われた。

### 2. 研究デザイン

二重盲検化ランダム化クロスオーバー法(高濃度茶カテキン飲料摂取先行および対照飲料摂取先行)にて実施した。本研究は、6日間の事前飲用介入期間と本実験(1日)の計7日間で構成され、それを14日間以上のウォッシュアウト期間を挟んで、2度繰り返し実施された。なお、高濃度茶カテキン飲料摂取条件をGTC、対照飲料摂取条件をCONとした。

### 3. 試験飲料

試験飲料として、高濃度茶カテキン飲料(カテキン630.5mg/500mL/日)または対照飲料(カテキン0mg/500mL/日)を用いた。被験者にはそれぞれ実験7日前より、指定飲料を1日1本摂取するよう指示した。飲用タイミングは各被験者に任せ、普段通りの生活を送るよう指示した。また、飲み忘れを防ぐ目的で、参加者に飲用記録表を配布し、指示量を飲み切らなかった日があった場合は記録させた。カテキン、対照両飲料の組成を表1に示す。両飲料はいずれも500mLあたり15kcalの熱量であった。

### 4. 運動強度の決定

全身持久力へのトレーニング効果については、

換気性作業閾値(ventilation threshold; VT)や乳酸性作業閾値(lactate threshold; LT)などを基準に検討されていることが多い<sup>12,13)</sup>。最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\text{max}$ )の相対値( $\% \dot{V}O_2\text{max}$ )によるVTおよびLTの出現ポイントであるが、LTでは健常成人と持久競技選手の差が大きい(52%対73%)のに対し、VTは59%対67%と比較的小さい<sup>12)</sup>。したがって、本研究では被験者のトレーニングレベルの差が実験結果に及ぼす影響を考慮し、VTを基準に実験の運動強度を設定した。なお、VTは本実験の1~2ヶ月前にV-Slope法<sup>14)</sup>に基づいて決定した。

実験の運動強度に対しては、換気性作業閾値強度時の酸素摂取量の40% ( $40\% \dot{V}O_2@VT$ )ならびに70% ( $70\% \dot{V}O_2@VT$ )に相当する強度とした。なお、この運動強度の根拠であるが、健常成人男性

表1 試験飲料組成

	GTC	CON
	(mg/500mL)	
総カテキン	630.5	0
ガロカテキン	50.0	0
エピガロカテキン	220.0	0
カテキン	18.0	0
エピカテキン	59.5	0
エピガロカテキンガレート	203.5	0
ガロカテキンガレート	15.0	0
エピカテキンガレート	58.5	0
カテキンガレート	6.0	0
無水カフェイン	14.5	14.5
タンパク質	0	0
脂肪	0	0
炭水化物(エリスリトールを含む)	8000	8000
エリスリトール	3900	3600
クエン酸	1050	1050
ナトリウム	168.5	169
カルシウム	1.0-4.0	1.0-4.0
マグネシウム	0.3-1.1	0.3-1.1
	(kcal/500mL)	
エネルギー	15.0	15.0

の最大酸素摂取量は約40~50ml/kg/minであり、 $40\% \dot{V}O_2@VT$ は散歩から歩行、 $70\% \dot{V}O_2@VT$ はジョギング程度の強度になると想定したものである。事前の運動負荷試験により、 $40\% \dot{V}O_2@VT$ は平均で約8.5ml/kg/min、 $70\% \dot{V}O_2@VT$ は平均18ml/kg/min 弱の酸素摂取量がそれぞれ得られた。すなわち、 $40\% \dot{V}O_2@VT$ は約2.5METsで散歩に、 $70\% \dot{V}O_2@VT$ は5METs強となり早めの速歩~軽いジョギングにそれぞれ相当し<sup>15)</sup>、我々の想定とほぼ同じ強度となった。

## 5. 本実験

試験当日のタイムスケジュールを図1に示した。被験者には実験日前日の激しい運動を禁じた。また、夕食を21時までに済ますよう指示し、それ以降は水以外の摂取を禁止した。なお、食事の影響をできるだけ取り除くために、実験前日の食事は二度ともほぼ同様の内容とするよう依頼した。さらに、実験期間中の運動実施状況と食事摂取状況は、日誌に記録させ、各実験最終日に回収しその内容を確認した。

被験者は午前9時に集合した。来室後、座位安静を30分間以上維持させた後、試験飲料500mlを4回に分け15分毎に摂取させた。その後、電磁ブレーキ式自転車エルゴメータ(エアロバイクXL II、コンビ)にて $40\% \dot{V}O_2@VT$  (60rpm)を30分間、引き続いて $70\% \dot{V}O_2@VT$  (60rpm)を30分間実施させた。運動中の水分補給は試験飲料のみ許可した。なお、本実験のタイムスケジュールは、先行研究において、カテキンは空腹時において最も吸収されやすく、また血中カテキン濃度は摂取約30分~1時間後で増加する<sup>16)</sup>との報告を元に決定された。

来室後の座位安静を30分間以上維持させた後、試験飲料摂取前の安静時代謝を5分間、試験飲料摂取15分後の5分間に摂取後の安静時代謝を、運動開始後28~30分(3分間)ならびに58~60分(3分間)には運動時代謝を、それぞれダグラスバッグ法を用いて採気し、呼気ガス分析器(AR-1、アルコシステム)により、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、呼吸交換比(respiratory exchange ratio; RER)の値をそれぞれ分析した。また、RERの値から酸

素消費量 1 l あたりの炭水化物、脂肪の酸化基質量およびエネルギー消費量の値を算出した。エネルギー消費量への換算は Weir の間接熱量測定式を用いた<sup>17)</sup>。脂質酸化量への換算は、Jéquier の式を用いた<sup>18)</sup>。また、心拍数は各呼気ガス採取時の最後の 1 分間をハートレートモニター (RS100、Polar Electro、Finland) を用いて測定した。主観的運動強度 (rating of perceived exertion ; RPE) は運動開始 30 分後ならびに 60 分後に測定した。

## 6. データ解析

統計量は、平均値±標準偏差で示した。各時点での群間比較には、対応のある t 検定を用いた。統計解析には SPSS for Windows Ver.19.0 を用い、有意水準は 5%未満とした。

## 結 果

### 1. 呼気ガス

酸素摂取量、RER、脂質酸化量、エネルギー消費

量の結果を表 2 に示す。GTC における RER は CON と比較し、40% $\dot{V}O_2$ @VT 時 (運動開始 28-30 分後)、70% $\dot{V}O_2$ @VT 時 (運動開始 58-60 分後) の両方で有意に低かった ( $p < 0.05$ )。また、脂質酸化量も GTC において両運動強度共に CON より高値を示した ( $p < 0.05$ )。加えて、GTC の 40% $\dot{V}O_2$ @VT 時 (運動開始 28-30 分後) におけるエネルギー消費量は CON と比べ高かった ( $p < 0.05$ )。

### 2. 心拍数および RPE

GTC における RPE は CON と比較し、70% $\dot{V}O_2$ @VT 時 (運動開始 58-60 分後) で有意に低かった。心拍数は GTC と CON との間で差を認めなかった ( $p < 0.05$ 、表 2)。

## 考 察

本研究の仮説は、ランニングを愛好する中年男性ランナーを対象とし、1 週間の高濃度茶カテキン飲料の摂取により、日常的な運動・スポーツ種

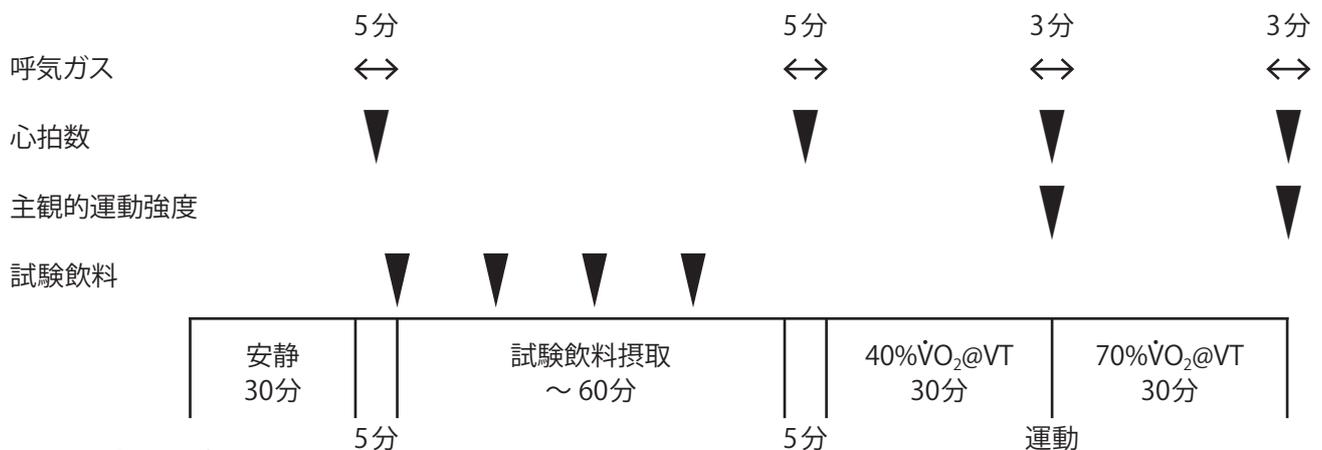


図1 研究スケジュール

表2 カテキン飲料 (GTC) および対照飲料 (CON) 摂取時における心拍数、主観的運動強度およびエネルギー代謝指標

	GTC				CON			
	安静時	摂取後	40% $\dot{V}O_2$ @VT	70% $\dot{V}O_2$ @VT	安静時	摂取後	40% $\dot{V}O_2$ @VT	70% $\dot{V}O_2$ @VT
心拍数 (拍/分)	54.1 ± 7.3	51.3 ± 9.7	67.8 ± 11.4	98.0 ± 20.0	54.7 ± 6.2	50.8 ± 7.2	66.9 ± 9.2	101.0 ± 16.2
主観的運動強度	-	-	8.8 ± 1.5	12.2 ± 1.4*	-	-	9.0 ± 1.6	13.1 ± 0.9
酸素摂取量 (ml/分)	214.6 ± 33.7	229.5 ± 36.1	599.4 ± 85.6	1226.8 ± 212.5	210.0 ± 30.4	219.5 ± 27.4	568.5 ± 91.1	1201.5 ± 201.5
二酸化炭素排出量 (ml/分)	163.5 ± 28.6	175.9 ± 29.3	494.2 ± 74.6	1075.7 ± 188.2	165.8 ± 28.2	171.6 ± 27.0	487.9 ± 88.7	1088.0 ± 189.0
呼吸交換比	0.76 ± 0.04	0.77 ± 0.03	0.82 ± 0.03*	0.88 ± 0.04*	0.79 ± 0.03	0.78 ± 0.05	0.86 ± 0.05	0.91 ± 0.05
脂質酸化量 (g/分)	0.08 ± 0.02	0.09 ± 0.02	0.18 ± 0.04*	0.27 ± 0.09*	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.02	0.14 ± 0.05	0.20 ± 0.11
エネルギー消費量 (kcal/分)	1.0 ± 0.2	1.1 ± 0.2	2.9 ± 0.4*	6.0 ± 1.0	1.0 ± 0.2	1.0 ± 0.1	2.8 ± 0.5	5.9 ± 1.0

\*対照飲料 (CON) 摂取時と有意差あり ( $p < 0.05$ )

目強度の時の脂質代謝やエネルギー消費などに、効率的な影響を及ぼしているであろうか、ということであった。本研究結果では、高濃度茶カテキン摂取によって、脂質酸化量は  $40\% \dot{V}O_2@VT$  時ならびに  $70\% \dot{V}O_2@VT$  時に、エネルギー消費量は  $40\% \dot{V}O_2@VT$  時に、それぞれ有意な高値を示した。

高濃度茶カテキン摂取により血中カテキン濃度は上昇し、肝細胞まで到達することが報告されている<sup>19,20)</sup>。また、肥満モデル動物を用いた研究では、高濃度茶カテキン摂取時には肝臓での脂肪燃焼酵素である  $\beta$ 酸化関連酵素(acyl-CoA oxidase; ACO, medium-chain acyl-CoA dehydrogenase; MCAD)の遺伝子発現量が  $40\%$  近く増加し、さらに脂質の  $\beta$ 酸化活性が約  $3$  倍に上昇していることが報告されている<sup>21)</sup>。すなわち、高濃度茶カテキンの摂取は肝臓での脂質代謝を亢進させることを示唆する。さらに、定期的な運動と高濃度茶カテキンの継続摂取を併用することで、運動単独に比べ遊離脂肪酸の増加、RER 低下、骨格筋内の  $\beta$ 酸化増加ならびに malonyl-CoA 減少が報告されている<sup>22,23)</sup>。したがって、本研究の GTC において  $40\% \dot{V}O_2@VT$  時ならびに  $70\% \dot{V}O_2@VT$  時に脂質酸化量が CON より有意に高値を示したのは、上記のようなメカニズムが影響しているのかもしれない。

一方、ヒトの高濃度茶カテキン摂取(カフェイン混合)がエネルギー消費量に及ぼす影響については、効果は無いとする研究も見られる<sup>24)</sup>。しかし、メタアナリシスによる検討では、高濃度茶カテキン摂取によってヒトのエネルギー消費量は有意に増加すると結論づけている<sup>5)</sup>。この矛盾は、ヒトの高濃度茶カテキン摂取の効果をエネルギー消費量から検討する際には、様々な条件が影響を及ぼすことを示唆する<sup>5)</sup>。本研究においても  $40\% \dot{V}O_2@VT$  時にのみ GTC によるエネルギー消費量増加が認められた。本研究のデザインはメカニズムを明らかにするものではないので、その機序については言及することができない。先行研究においては、カテキンがドーパミン、アドレナリンおよびノルアドレナリンなどのカテコールアミン類を分解する酵素の一つであるカテコ-

ル-O-メチルトランスフェラーゼ(catechol-O-methyltransferase; COMT)を、カフェインがホスホジエステラーゼ(Phosphodiesterase; PDE)を阻害し、その結果、ノルアドレナリンと cAMP (cyclic AMP)のレベルが増加し、熱産生と脂質酸化が亢進することが報告されている<sup>4)</sup>。これまで、高濃度茶カテキン摂取が運動中のエネルギー消費量に及ぼす影響については、明確な効果が示されていないが、それらの先行研究は本研究よりも運動強度が強い<sup>25,26)</sup>。前述したように、 $40\% \dot{V}O_2@VT$  は約  $2.5$  METs で散歩に相当し、運動によってノルアドレナリンが上昇するような強度ではない。したがって、低強度の運動であったが故に、GTC が CON と比較して高いエネルギー消費量を示した可能性がある。

本研究の結果は、対象者が男性中年者であることを考えると有益である。中年者になると、体脂肪が増加し始め、またメタボリックシンドロームの有病率も  $40$  歳を境に急激に増加する<sup>27)</sup>。内臓脂肪減少には生活活動に加えて、週  $10$  METs・時の運動が推奨されている<sup>28)</sup>。また本年、策定し公表された「健康づくりのための身体活動基準 2013」<sup>28)</sup>では、身体活動(生活活動および運動)全体に着目することの重要性から、運動基準から身体活動基準に名称を改められている。高濃度茶カテキン飲料摂取は中年者の散歩から軽いジョギング程度といった幅広い身体活動時の脂質代謝を亢進させ、加えて低強度での身体活動ではエネルギー消費量をもわずかながらではあるが上昇させることが示唆された。すなわち、高濃度茶カテキン飲料摂取により、中高年の身体活動による健康づくりを、より効果的にすることが期待される。

## 結 論

1 週間高濃度茶カテキン飲料摂取は、中年男性ランナーの散歩から軽いジョギング時の脂肪燃焼量やエネルギー消費量を増加させることを示唆する。しかしながら詳細な機序は不明であり、今後とも検討が必要である。

## 謝 辞

本研究の実施にあたり、独立行政法人国立健康・栄養研究所基礎栄養研究部 田中茂穂先生より、機器の借用を始め多大なご指導・ご助力をいただきました。ここに感謝いたします。また、本研究に参加されました被験者の皆様に心より感謝申し上げます。

## &lt; 文 献 &gt;

- 1) Babu PV, Liu D: Green tea catechins and cardiovascular health: an update, *Curr Med Chem.*, 15, 1840-1850 (2008)
- 2) Borchardt RT, Huber JA: Catechol O-methyltransferase. 5. Structure-activity relationships for inhibition by flavonoids, *J Med Chem*, 18, 120-122 (1975)
- 3) Friedrich M, Petzke KJ, Raederstorff D, et al: Acute effects of epigallocatechin gallate from green tea on oxidation and tissue incorporation of dietary lipids in mice fed a high-fat diet, *Int J Obes (Lond)*, 36, 735-743 (2012)
- 4) Dulloo AG, Duret C, Rohrer D, et al: Efficacy of a green tea extract rich in catechin polyphenols and caffeine in increasing 24-h energy expenditure and fat oxidation in humans, *Am J Clin Nutr*, 70, 1040-1045 (1999)
- 5) Hursel R, Viechtbauer W, Westerterp-Plantenga MS: The effects of green tea on weight loss and weight maintenance: a meta-analysis, *Int J Obes (Lond)*, 33, 956-961 (2009)
- 6) 宮崎亮, 高瀬秀人, 原田潮, 他: 長期間の歩行運動・高濃度茶カテキン飲料摂取併用中における歩数変化量が, メタボリックシンドロームおよびその予備群の特定健康診査項目等に及ぼす影響, *肥満研究*, 16, 74-81 (2010)
- 7) Miyazaki R, Kotani K, Ayabe M, et al: Minor effects of green tea catechin supplementation on cardiovascular risk markers in active older people: a randomized-controlled trial, *Geriatr Gerontol Int*, 13, 622-629 (2013)
- 8) 笹川スポーツ財団: スポーツライフ・データ 2012 - スポーツライフに関する調査報告書, (2012) 笹川スポーツ財団, 東京
- 9) 笹川スポーツ財団: ジョギング・ランニング実施率推移(1998-2012): 性別×年代別, [http://www.ssf.or.jp/research/sldata/data\\_population\\_02.html](http://www.ssf.or.jp/research/sldata/data_population_02.html) (2013年7月4日)
- 10) Ichinose T, Nomura S, Someya Y, et al: Effect of endurance training supplemented with green tea extract on substrate metabolism during exercise in humans, *Scand J Med Sci Sports*, 21, 598-605 (2011)
- 11) 山地啓司: マラソンの科学. pp 1-298 (1983), 大修館書店, 東京
- 12) 中村好男, 山本義春: AT その変遷と新しい理解, pp 1-100 (1993), ブックハウスHD, 東京
- 13) 八田秀雄: 乳酸を使いこなすランニング, pp 1-206 (2011), 大修館書店, 東京
- 14) Beaver WL, Wasserman K, and Whipp B J. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas change. *J Appl Physiol*, 60, 2020-2027 (1986)
- 15) 厚生労働省運動所要量・運動指針の策定検討会編: 健康づくりのための運動指針 2006, [www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou01/pdf/data.pdf](http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou01/pdf/data.pdf) (2013年7月4日)
- 16) Chow HH, Hakim IA, Vining DR, et al: Effects of dosing condition on the oral bioavailability of green tea catechins after single-dose administration of Polyphenon E in healthy individuals, *Clin Cancer Res*, 11, 4627-4633 (2005)
- 17) Weir JB: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *J Physiol*, 109, 1-9 (1949)
- 18) Jéquier E, Acheson K, Schutz Y: Assessment of energy expenditure and fuel utilization in man, *Annu Rev Nutr*, 7, 187-208 (1987)
- 19) Hackett AM, Griffiths LA: The disposition of 3-O-methyl- (+)-catechin in the rat and the marmoset following oral administration. *Eur J Drug Metab Pharmacokinet*, 8, 35-42 (1983)
- 20) Chen L, Lee MJ, Li H, Yang CS: Absorption, distribution, elimination of tea polyphenols in rats. *Drug Metab Dispos*, 25, 1045-1050 (1997)
- 21) Murase T, Nagasawa A, Suzuki J, et al: Beneficial effects of tea catechins on diet-induced obesity: stimulation of lipid catabolism in the liver. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 26, 1459-1464 (2002)
- 22) Shimotoyodome A, Haramizu S, Inaba M, et al: Exercise and green tea extract stimulate fat oxidation and prevent obesity in mice. *Med Sci Sports Exerc*, 37, 1884-1892 (2005)
- 23) Murase T, Haramizu S, Shimotoyodome A, et al: Green tea extract improves running endurance in mice by stimulating lipid utilization during exercise, *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 290, R1550-1556 (2006)
- 24) Gregersen NT, Bitz C, Krog-Mikkelsen I, Hels O, et al: Effect of moderate intakes of different tea catechins and caffeine on acute measures of energy metabolism under sedentary conditions. *Br J Nutr*, 102, 1187-1194 (2009)
- 25) Takashima S, Kataoka K, Shibata E, et al: The long term intake of catechins improves lipid catabolism during exercise. *Prog Med*, 24, 3371-3379 (2004)
- 26) Ota N, Soga S, Shimotoyodome A, et al: Effects of combination of regular exercise and tea catechins intake on energy expenditure in humans. *J Health Sci*, 51, 233-236 (2005)
- 27) 厚生労働省健康栄養情報研究会編: 平成 16 年国民健康・栄養調査報告, (2007) 第一出版, 東京
- 28) 厚生労働省運動基準・運動指針の改定に関する検討会編: 健康づくりのための身体活動基準 2013, <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xple-att/2r9852000002xpqt.pdf> (2013年8月30日)

(受理日:2013年8月30日、採択日:2013年12月10日)