

【資料】

100 km マラソン時の血糖変動とパフォーマンスに関する事例研究

仙石 泰雄¹⁾ 中村 和照²⁾ 緒形ひとみ³⁾ 吉岡 利貢³⁾
 渡部 厚一³⁾ 鍋倉 賢治³⁾ 徳山 薫平³⁾

CASE STUDY OF BLOOD GLUCOSE FLUCTUATION AND PERFORMANCE
 DURING 100 km MARATHON RACE

YASUO SENGOKU, KAZUTERU NAKAMURA, HITOMI OGATA, TOSHITSUGU YOSHIOKA,
 KOICHI WATANABE, YOSHIHARU NABEKURA and KUMPEI TOKUYAMA

Abstract

The present study was conducted to obtain basic information about blood glucose fluctuation and relation with race performance during 100 km marathon. Subcutaneous glucose of one well-trained runner was measured by continuous glucose monitoring system (CGMS) at 5 min interval and blood samples for biochemical analysis were drawn at pre, middle and post of the race. Energy balance during one week prior to the 100 km race was recorded, and the whole energy and fluid intake during the race was analyzed. Blood glucose fluctuated reflecting duration of exercise and energy supply during the race. During the latter part of the race (65-70 km), abrupt declines in blood glucose level, which reflected insufficient carbohydrate intake before the race (119 g), were accompanied by decrease in running speed. The present report suggests that continuous glucose monitoring supplemented with standard nutritional and physiological measurement provides precise and valuable information on runner's energy state during the ultra-endurance race, and that athletes need to reassess their preparation for the race and planning of energy intake during the race.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2008, 57 : 285~294)

key word : prolonged exercise, blood glucose, energy balance

I. 緒 言

長時間に及ぶ持久性スポーツにおいては、グリコーゲンが骨格筋で酸化され運動するためのエネルギーとして用いられる。特にフルマラソンにおける消費エネルギーは 2800 kcal といわれており¹⁾、レース前 3 日間の高炭水化物食摂取が持久性スポーツのパフォーマンスの改善につながる事が報告されている^{1,2)}。しかしながら、マラソン等の長時間運動では、体内に貯蔵されたグリコーゲンがレース中に枯渇してしまうため³⁾、長時間運動中のエネルギー摂取に関する研究も進められている。Pallikarakis

たち⁴⁾は、運動中に 50 mg/min グルコースを経口摂取することで 285 分間の運動の最終 60 分間における総グルコース利用量の 85~90% を補うことが可能であることを報告している。また、Coggan & Coyle⁵⁾ は、運動開始 135 分後にグルコース (3 g/kg body weight) を摂取することによりその後運動時の血糖を維持し、疲労の蓄積を遅らせる効果があることを示しており、マラソン競技における効果的なエネルギー補給も重要であると考えられる。

長時間に及ぶレースにおける血糖値の測定は運動前後や中間点の採血によって分析が行われてきた⁶⁻⁸⁾。しかしながら、近年では糖尿病患者の血

¹⁾平成国際大学

〒347-8504 埼玉県加須市水深大立野2000

²⁾筑波大学体育研究科

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾筑波大学人間総合科学研究科

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Heisei International University

University of Tsukuba, Master's program in Health and Physical Education

University of Tsukuba, Comprehensive Human Sciences

糖値を連続的に測定するための1つの方法として、連続血糖測定装置 (continuous glucose monitoring system ; CGMS) が開発され、それを用いることにより運動中の血糖値を連続的に測定することが可能となった⁹⁾。Cauza たち¹⁰⁾は糖尿病患者のフルマラソン中の血糖変動をCGMSを用いて測定し、長時間走運動中・運動後の夜間の低・高血糖を防ぐための資料になることを報告している。

現在、国際陸上競技連盟が公認している最も距離の長い競技種目は100 km マラソンであり、100 km マラソンが生体におよぼす影響について様々な研究が進められてきた^{6,11~14)}。フルマラソンの2倍以上の長さにおよぶ100 km マラソンにおいては、エネルギー源の枯渇を防ぐためにレース中のエネルギー補給がより重要になると考えられる。さらにレース中の血糖変動に合わせたエネルギー補給のタイミングについて理解を深めることにより、100 km マラソンのパフォーマンス向上につながる知見を得ることが可能であると考えられる。しかしながら、100 km マラソン中のエネルギー代謝についてはまだ十分に研究されていないのが現状である。

本研究では、CGMSを用いて100 km マラソン中の血糖変動を測定し、レース中のエネルギー補給による血糖値の変動とレースパフォーマンスとの関係についての基礎資料を得ることを目的とした。

II. 方 法

A. 被験者

本研究は十分なトレーニングを積んだ市民ランナー1名を対象とした(年齢30歳, 身長170.0 cm, 体重60.3 kg, 体脂肪率8.8%)。被験者は5年間の走歴を有し、100 km マラソンの参加経験はなかったものの過去に9回フルマラソンを完走した経験を有していた(最高記録2時間44分58秒)。レースまで半年間の平均トレーニング量は66.9 km/weekであった。被験者には事前に本研究内容についての説明を十分に行い研究趣旨に同意を得、ヘルシンキ宣言に従い実施した。本研究は日本体力医学会倫理委員会の承認を得て行われた。

B. 酸素摂取量測定

レース中の代謝応答を推定するため、レース1週間前に酸素摂取量($\dot{V}O_2$)をトレッドミルにて測定し

た。初めに5分間の最大下運動を6段階の運動強度で実施した(180 m \cdot min⁻¹から280 m \cdot min⁻¹まで20 m \cdot min⁻¹ずつ増加。各段階間の休息時間は3分)。各段階終了直後に指先より血液を採取し血中乳酸値(BLa)を測定した。最大下運動の測定終了後、十分な休息をとった後に最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)の測定を実施した。測定開始速度を220 m \cdot min⁻¹とし、1分ごとに10 m \cdot min⁻¹速度を漸増し疲労困憊にいたるまで測定を行った。試技終了3分、5分、7分後にBLaの測定を行った。全試技中心拍計(Polar S610i)を装着し、連続的に心拍数(HR)を測定した。

HR- $\dot{V}O_2$ とHR- $\dot{V}CO_2$ の関係式を求めるために、最大下運動測定における各運動強度段階の終盤2分間の測定値を平均し回帰直線を算出した。また $\dot{V}O_{2max}$ との $\dot{V}O_2$ の割合より運動強度(% $\dot{V}O_{2max}$)を推定した。

C. 血糖値測定

レース中の血糖値の変動を測定するために連続血糖測定装置 (continuous glucose monitoring system Gold ; CGMS, Medtronic MiniMed 社)を用いた⁹⁾。CGMSは5分平均の間質液中のグルコース濃度を72時間連続測定することが可能な装置であり、1日最低4回血液中のグルコース濃度で補正することにより、正確な血糖の値が得られると報告されている。CGMSを補正するための血糖自己測定にはグルコカード(GT1640, アークレイ株式会社)を用いた。CGMSをレース開始30時間前に腹部皮下組織に装着し、防水テープで電極を固定した。確実に補正を行うため、レース開始までに9回血液中のグルコースでキャリブレーションを行った。先行研究より¹⁰⁾、間質液中のグルコース濃度と血液中のグルコース濃度の変動に時間差が生じるものの、その時間差は10分以内であると報告されていることから本研究ではCGMSで測定した間質液中のグルコース濃度を血糖値と同等であると解釈した。

D. 摂取エネルギー測定

レース前とレース中のエネルギー出納を推定するために、レース前6日間の食事調査を実施し、レース中は補給した食事の内容と時間を全て記録した。食事調査は、写真撮影法で実施した。摂取エネルギー

は、エクセル栄養君 ver4.0(建帛社 制作・著作 吉村幸雄)を用いて計算し、エネルギー消費量は起床時体重から推定した基礎代謝量に身体活動レベル(厚生労働省策定 日本人の食事摂取基準 [2005年版])を乗じてトレーニング以外のエネルギー消費量を求め、トレーニングによるエネルギー消費量を加えて1日の総エネルギー消費量とした。1日の摂取エネルギーから1日の総エネルギー消費量を除くエネルギーバランスを求めた。

レース中のエネルギー代謝の推定は、HR から予測した毎分の酸素摂取率及び二酸化炭素産生率より Weir¹⁵⁾の式を用い毎分のエネルギー消費量を算出し、利用しているエネルギー基質について Frayn¹⁶⁾の式より毎分の脂質酸化量、炭水化物酸化量を算出した。

E. 血液成分

レース日起床時(Pre)・中(Middle: 55 km)・20分後(Post)の3回採血を実施した。採血した血液より糖代謝の指標としてインスリン、コルチゾール、ACTH およびグルカゴンの各濃度を分析し、脂質代謝の指標として総コレステロール(T-CHO)、中性脂肪(TG)および遊離脂肪酸(NEFA)の各濃度を

分析した。また脱水の指標として、総タンパク質(TP)、アルブミン(ALB)、尿素窒素(BUN)およびクレアチン(CRE)各濃度を決定した。

そのほかに、心拍計(Polar S610i)を用いて経時的にレース中の心拍数を測定した。またレース前後の体重を測定した。

III. 結 果

A. 酸素摂取量測定

100 km マラソンレース 1週間前に測定した最大下及び最大酸素摂取量の結果を Table 1 に示した。最大酸素摂取量は 63.7 ml/kg/min であり最大心拍数は 208 bpm であった。

B. レースパフォーマンス

レース日の気象状況は、レース開始時(午前5時)がくもり、風速 0.0 m/s、気温 11.0°C、湿度 75%であり、正午にかけて気温は 17°C に上昇し、レース後半に雨が降り気温が 11°C まで低下した。

被験者は、10時間51分45秒で 100 km マラソンを完走した。5 km ごとのラップタイム・心拍数・推定運動強度を Table 2 に示した。55 km のラップタ

Table 1. Result of $\dot{V}O_2$ max measurement one week before the 100 km race.

	Submaximum						$\dot{V}O_2$ max
	180	200	220	240	260	280	330
V (m/min)	180	200	220	240	260	280	330
HR (bpm)	137.3	145.4	154.0	161.3	174.8	182.7	208.0
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	36.1	39.8	43.5	47.8	51.6	56.7	63.7
% $\dot{V}O_2$ max	56.6	62.5	68.3	75.1	81.0	89.0	100
Bla (mmol)	1.06	0.99	***	1.81	1.98	3.28	10.67
RPE	11	12	13	14	16	17	19

V : velocity ; RPE of Perceived Exertion by Borg scale.

Table 2. Lap time for each 5km and heart rate results of the 100 km race.

Distance (km)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Lap (m.s.0)	27:27.3	26:31.7	26:19.4	26:31.7	25:09.9	25:09.4	25:15.5	25:19.9	24:44.0	26:20.6
HR (bpm)	137	140	143	148	149	151	153	162	156	158
% $\dot{V}O_2$ max	56.5	58.6	60.7	64.2	64.9	66.3	67.7	74.0	69.8	71.2
Distance (km)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Lap (m.s.0)	36:31.0	26:27.1	30:49.4	36:41.9	43:33.9	49:28.1	47:11.0	50:38.9	41:51.4	31:52.0
HR (bpm)	148	162	155	147	140	136	145	129	133	149
% $\dot{V}O_2$ max	63.8	74.0	69.1	63.5	58.6	55.8	62.1	50.9	53.7	64.9

% $\dot{V}O_2$ max was estimated by the $\dot{V}O_2$ max measurement one week before the race.

イムにはレースの中間測定に要した11:26.0の時間も含まれている。65 km以降から大幅にペースが低下し、90 km以降でペースが上昇するレース展開であった。レース前後の体重はそれぞれ63.7 kgと60.4 kgであり、3.3 kgの減少が観察された。

C. 血糖値測定

CGMSを用いて血糖値を測定できた80 km地点までの結果とエネルギー補給を行った時点をFig. 1に示した。なお、レース終了20分後にグルコカードで測定した血糖値は105 mg/dlであった。80 km地点においてCGMSの電極が脱落し、それ以降の血

糖の経時変化は記録できなかった。

D. エネルギー代謝

レース前6日間の食事調査の結果をTable 3に示した。6日間を通したエネルギーバランスは3130 kcal(炭水化物 1915 kcal・脂肪 1263 kcal)の正のバランスを示した。摂取エネルギーの内容を栄養素別に分析した結果(タンパク質:脂肪:炭水化物, PFC比率)をTable 4に示した。

レース前のエネルギー摂取量は530 kcal(タンパク質 12 g, 脂肪 11 g, 炭水化物 119 g)であった。レース中の心拍応答から推定したエネルギー消費量は

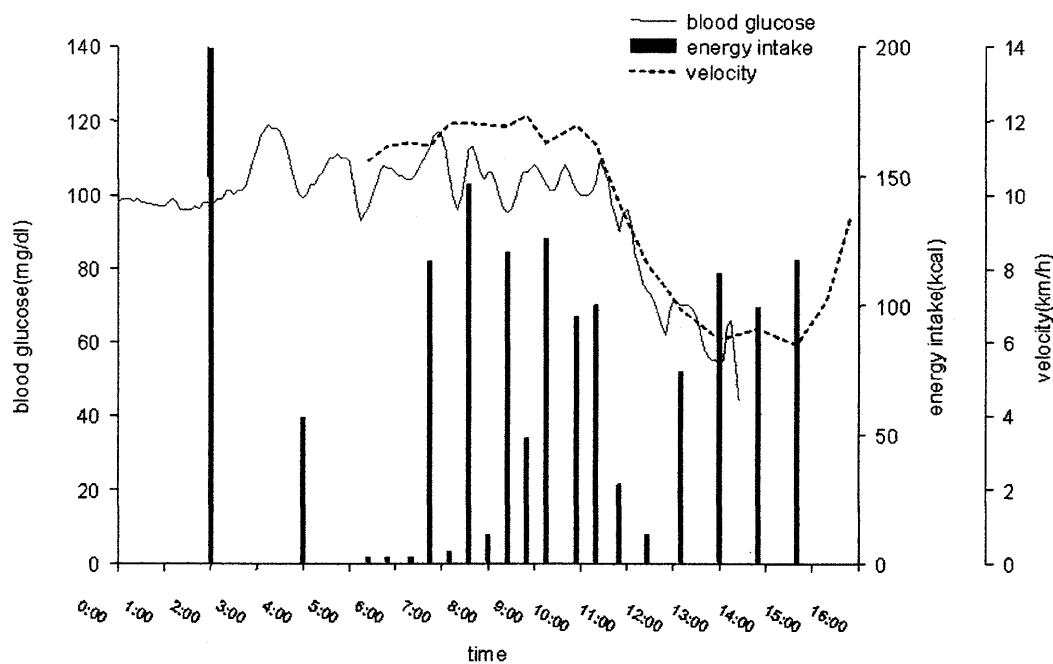


Fig. 1. Results of glucose measurement, running velocity and timing of energy intake.

Table 3. Composition of the diet 6 days before the 100 km race.

	day1	day2	day3	day4	day5	day6	total
energy expenditure (kcal/day)	2400	3154	2369	2956	2847	2420	
energy intake (kcal/day)	3033	2835	3410	3610	2751	3638	
energy balance (kcal)	633	-320	1041	654	-96	1218	3130
CHO expenditure (g/day)	360	512	355	472	450	363	
CHO intake (g/day)	538	411	532	558	384	568	
CHO balance (g)	178	-101	177	85	-65	205	479
CHO balance (kcal)	713	-405	709	341	-261	820	1915
Fat expenditure (g/day)	67	86	66	81	78	67	
Fat intake (g/day)	99	92	93	108	99	94	
Fat balance (g)	33	6	27	27	21	27	140
Fat balance (kcal)	294	55	247	242	185	239	1263

Table 4. Protein, Fat and CHO ratio in the daily diet 6 days before the 100 km race.

	% of daily calories		
	Protein	Fat	CHO
day1	8	25	65
day2	10	30	60
day3	11	25	64
day4	11	27	62
day5	10	33	57
day6	11	24	65

7955 kcal (炭水化物 1567 g, 脂肪 219 g), レース中に補給したエネルギー摂取量は 1209 kcal (炭水化物 275 g, 脂肪 8 g) であり 6745 kcal の負のエネルギーバランスを示した。レース中に補給したエネルギー摂取量と水分量を Fig. 2 と Fig. 3 にそれぞれ示し, レース中に炭水化物と脂肪から得られたエネルギー量を Fig. 4 に示した。

E. 血液成分

Pre, Middle, Post に採血した血液検体より得られた分析結果を Table 5 に示した。Middle においてインスリンの低下, ACTH の増加傾向が見られた。また Middle から Post にかけてグルカゴン, NEFA, TP, ALB が増加する傾向が観察された。

IV. 考 察

本研究は, CGMS を用いて 100 km マラソン中の血糖変動を測定し, レース中のエネルギー補給による血糖値の変動とレースパフォーマンスとの関係についての基礎資料を得ることを目的とした。100 km マラソンのように長時間に及ぶ運動では, 走者によってペース配分やエネルギー補給内容が大きく異なる。そのため血糖値の連続的な測定は, 複数の被験者による測定値の平均値を用いてレース中の生理応答を分析することは難しい。Cauza たち¹⁰⁾ は, CGMS を用いることによりマラソンレース中およびレース後における個人内の血糖変動の特徴を理解するのに役立つと述べている。そこで本研究は, 被験者を 1 名に限定することにより, 100 km マラソン中のエネルギー摂取量と血糖変動およびレースパフォーマンスについて詳細な分析を行うこととした。

A. 血糖変動

CGMS を用いて 100 km マラソン中の血糖変動を測定した結果, レース中における血糖値が複雑に上昇・低下を繰り返していることが観察された (Fig. 1)。これはフルマラソン時 (257 ± 8 min) の血糖変動を測定した Cauza たち¹⁰⁾ の報告とは異なるものである。5 時間以内で運動が終了するフルマラソン

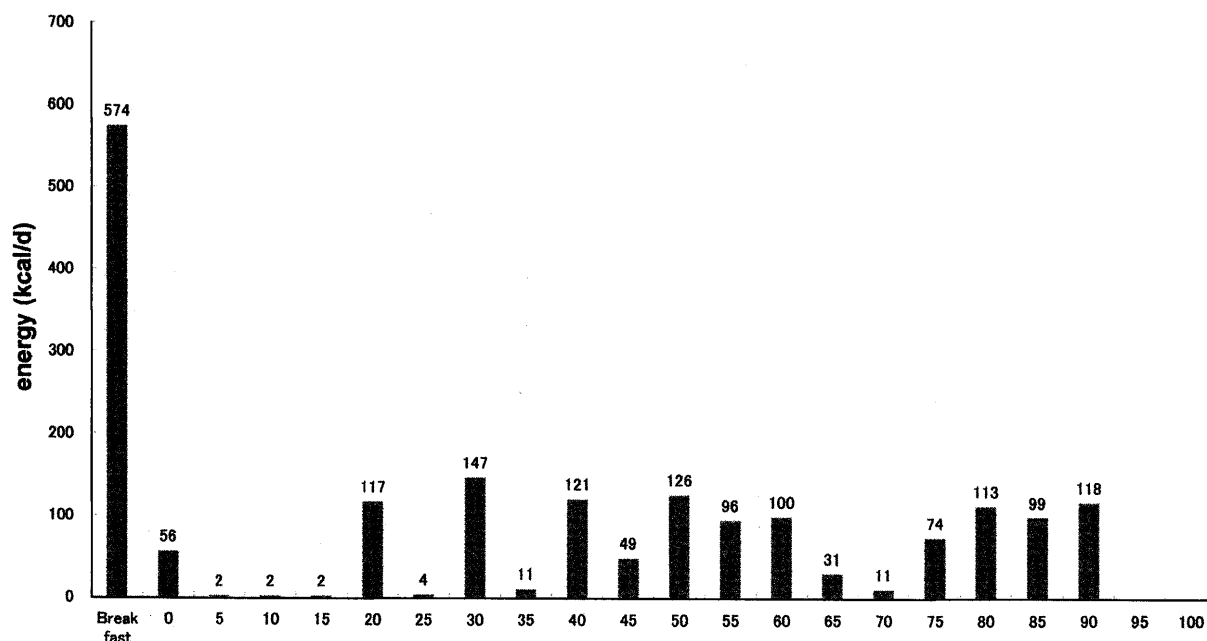


Fig. 2. Result of energy intake through the 100 km race.

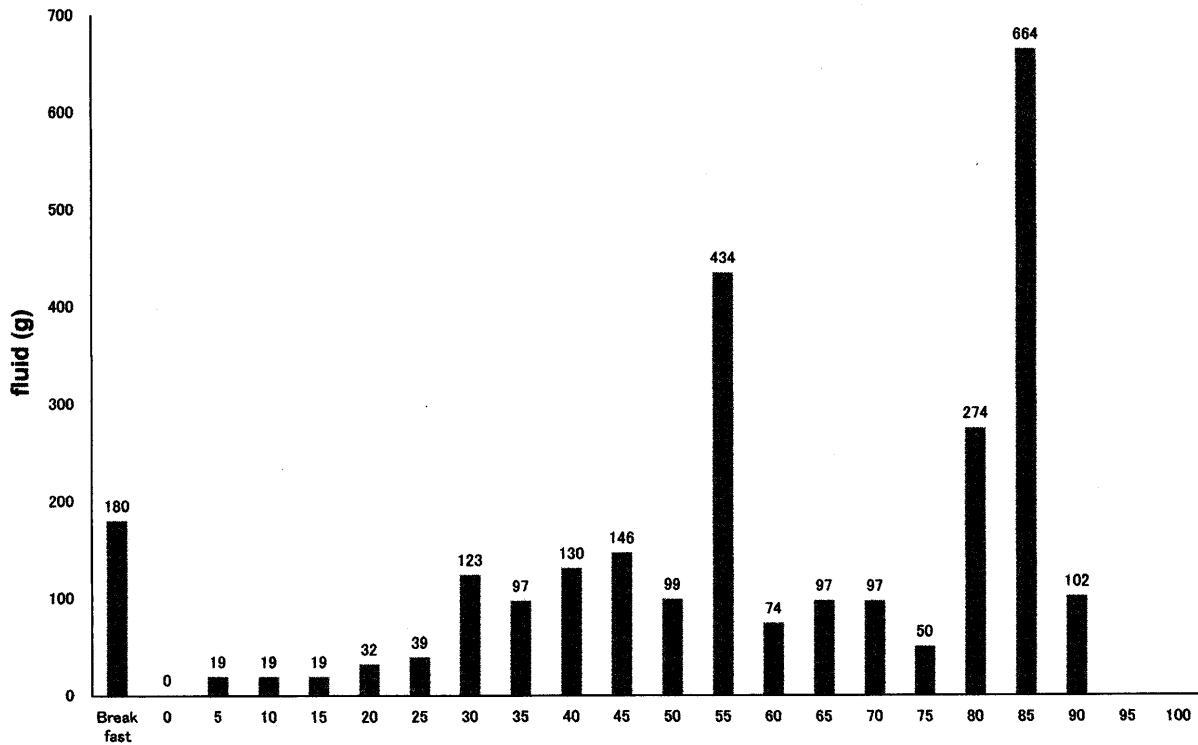


Fig. 3. Result of fluid intake through the 100 km race.

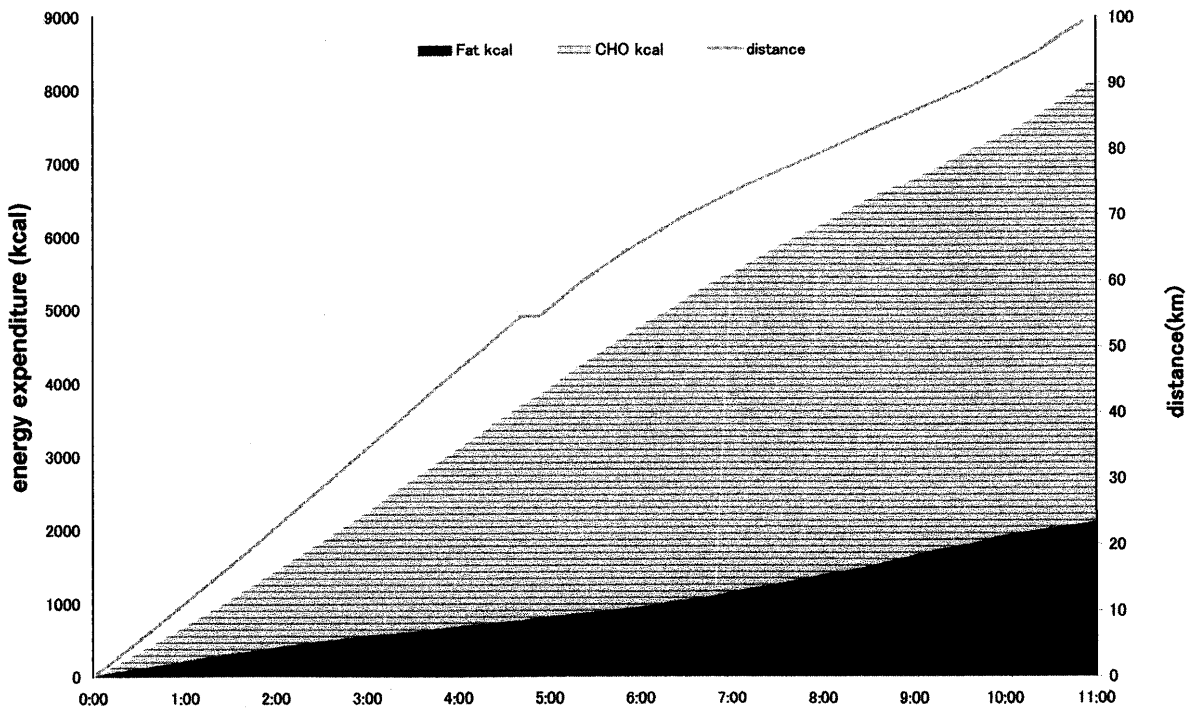


Fig. 4. Result of energy produced from carbohydrate and fat through the 100 km race.

と異なり, 100 km マラソンでは運動時間が10時間以上に及ぶ. そのため, 100 km マラソンを完走するためにはエネルギー源の枯渇を防ぐためにレース中の頻繁なエネルギー補給が不可欠となる. 100 km マラソンレースでは通常 5 km 毎に飲食が可能であ

り, レース中のエネルギー補給で血糖値が大きく変動することが本研究で明らかとなった.

100 km マラソンのレースにおいて, 走者は 25 km までペースを漸増していき 60 km 地点までペースを維持することができた (Table 2). しかし, 60

Table 5. Results of blood variables at pre, middle, post of the 100 km race.

	Standard	Pre	Middle	Post
Insulin (μ U/ml)	1.5 ~ 16.4	1.8	1.4	3.6
Cortisol (ng/dl)	8.1 ~ 22.3	7.5	26.6	35.9
ACTH (pg/ml)	7.1 ~ 53.8	14.6	53.9	31.7
Glucagon (pg/ml)	23 ~ 197	124	168	186
T-CHO (mg/dl)	130 ~ 219	207	236	224
TG (mg/dl)	30 149	94	88	45
NEFA (mEq/l)	0.1 ~ 0.6	0.19	1.36	1.85
TP (g/dl)	6.5 ~ 8.2	8.4	9.3	9.2
ALB (g/dl)	3.7 ~ 5.2	4.5	5.1	5.0
BUN (mg/dl)	8 ~ 23	9.0	9.5	18.5
CRE (mg/dl)	0.61 ~ 1.04	0.70	0.80	0.82

km から 90 km までにかけて急激にペースが低下した。CGMS の測定結果と比較すると、60 km 地点におけるエネルギー補給後に急激に血糖値が低下していることが観察された。レース中のエネルギー摂取量を分析した結果においても、65 km と 70 km 地点におけるエネルギー摂取量はそれぞれ 31 kcal と 11 kcal と低値を示している。これらの結果より、60 km 地点からのペース低下はエネルギー源の枯渇によるものであると推察される。先行研究による長時間に及ぶレース時の血糖値測定は、レースの前・中・後に実施されたデータが示されてきた^{6~8)}。しかしながら、本研究結果より 100 km マラソン中の血糖値は時々刻々と変化していることが明らかとなり、5 分平均の血糖値を測定することが可能な CGMS を用いることでより詳細に走者のエネルギー摂取様態とレースパフォーマンスとの関係を分析することが可能であることが明らかとなった。

100 km マラソンのレース前 6 日間の食事調査を行った結果、6 日間で 3130 kcal の正のエネルギーバランスを示しレースまでに 2.2 kg の体重増加が見られた。食事の PFC 比率を見ると、被験者は 1 週間をかけて高炭水化物食の摂取を心がけていたことが見受けられる。そのことによりレース前日までに血糖値が 100 mg/dl 近い高値を示している。この血糖値の値は、Dumke たち⁶⁾によるウルトラマラソン完走者の報告と同等の値であり、被験者は Sherman and Costill¹⁷⁾で推奨されているマラソンレース前のグリコーゲンローディング法とは異なる食事を摂取していたものの、前日までに十分な炭水

化物ローディングができていたことが示唆された。

しかしながら、レース当日におけるレース前の摂取エネルギーは 630 kcal (炭水化物 119 g) であり、先行研究により推奨されているフルマラソン前の炭水化物摂取量 (200~300 g)¹⁸⁾にも達していないことが明らかとなった。本研究が対象とした 100 km マラソンのレースは、レース開始時間が午前 5 時であったために被験者は午前 3 時に朝食を摂取した。そのため、前日まで高炭水化物食を摂取していたものの、普段と異なる時間帯に食事をとったために十分なエネルギー摂取を行えなかったことが推察される。

レース前に十分なエネルギー摂取ができなかったにも関わらず、CGMS 測定結果からは朝食時と補食時に血糖値が大きく上昇している。Morgan たち¹⁹⁾によると、ヒトの概日リズムの影響で夜間のインスリン分泌が低下し血中グルコース濃度が高くなることが報告されている。本研究における朝食は午前 3 時と夜間に摂取されたため、食後のインスリン分泌が上昇せずに血糖値の上昇につながったことが考えられ、CGMS の測定結果に示されるほど十分な炭水化物摂取を行うことができなかったことが 60 km 以降のペース低下の一因となったと推察される。このことにより、特に不規則な時間帯に開催されるレースにおいては、レース前に十分なエネルギー摂取を行うことが重要であると考えられる。

また、血液成分を分析した結果、レース 55 km 地点において血中 ACTH 濃度が 53.9 pg/ml と起床時の 14.6 pg/ml と比較して高い値を示した。Taba-

ta たち²⁰⁾によると, 血中 ACTH 濃度は血糖値の低下 (60 mg/dl 以下) に伴って上昇することを報告している. 本研究における 55 km 地点の血糖値は 106 mg/dl と低値を示してはいないものの, 55 km 地点に到達する前に血糖値の低下が連続的に観察された. このことより, レース中のエネルギー補給により血糖値を保つことはできたものの, 血中 ACTH 濃度が上昇していることから 55 km 地点では低血糖の症状が始まっておりその後の急激な血糖値の低下につながったことが推察される. 前述したとおりレース前のエネルギー摂取が十分でなかったことと 65 km から 70 km にかけてのエネルギー補給が十分でなかったことがその要因であると考えられる.

60 km 以降レースペースは低下をたどったが, 90 km からゴールまで再びペースの向上が見られた. 先行研究によると, 運動中に摂取した炭水化物が持久性運動の終盤でエネルギー源として活用されることを報告している^{4,5)}. しかしながら, 疲労が蓄積した状態で長時間運動中にエネルギー摂取をしても血糖値の上昇につながらないことも報告されており²¹⁾, 疲労が蓄積する前に十分なエネルギー補給が必要であることが示唆されている⁵⁾. 本研究での測定結果によると, 血糖値の急激な低下とともにレースペースが低下した後にエネルギー補給を行っても十分な血糖値の改善につながらなかったことが明らかとなった. これは, Coggan & Coyle⁵⁾の知見と一致するものである. しかし, 80 km 以降にエネルギー摂取を続け, レース終了後の血中 ACTH 濃度が低下していることより, 90 km 以降に血糖値が回復しレースペースの向上につながった可能性が考えられる. 本研究では CGMS により 80 km 地点までしか血糖値の変動を測定することができなかったため, レース最終局面のエネルギー摂取の効果は推測の域を脱しない. 今後, 100 km を通した血糖変動の測定を継続していくことにより, 100 km マラソン中のエネルギー摂取の効果をより明らかにすることができると考えられる.

B. 水分補給

レース中の総水分摂取量は 2515 g であった. Kruseman たち²²⁾は, スイスマウンテンマラソンの参加者の水分摂取量が 600 ml/h であったと報告しており, 本研究における被験者の水分摂取量が特に

レース前半において少なかったことが明らかとなった. また, 脱水の指標として分析した TP と ALB が Middle にて Pre より値が上昇していることからレース中盤において脱水傾向を示していたことが考えられ, 低血糖の兆候とともに 60 km 以降のペース低下の要因となったことが考えられる.

C. エネルギー代謝

レース中の心拍応答から推定したエネルギー消費量は 7955 kcal であった. しかしながら, レース中に補給したエネルギー摂取量は 1209 kcal でありエネルギー消費量との間に 6745 kcal の負のエネルギーバランスが示された. 特に炭水化物消費量の 1567 g と比較して炭水化物摂取量は 275 g であり, 十分な炭水化物摂取ができなかったことが血糖値の低下とレースペースの低下につながったと考えられる.

通常ヒトの体内に貯蔵されるグリコーゲン量は肝臓 100 g・筋肉 300~500 g とされている. CGMS の測定結果におけるレーススタート時の血糖値は 93 mg/dl であり, 血漿量を 2.81 と仮定すると 2.6 g の血糖が存在していたこととなる. しかしながら, レース中に補給した炭水化物とこれらのエネルギー源を合わせても炭水化物消費量をまかなうことはできないため, 残る炭水化物代謝は糖新生によってまかなわれたと推察される. 糖新生を活性化させるホルモンとしてグルカゴンがあげられ, Mourtzakis たち²³⁾は長時間運動の終盤において糖新生が活性化された際の血中グルカゴン濃度は 153 ± 24 ng/l であったことを報告している. 本研究においてもレース後の血中グルカゴン濃度は 186 pg/ml と高値を示しており, 糖新生が活性化されていたことが推察される. しかしながら, Jeukendrup たち²⁴⁾によるとよくトレーニングされたサイクリング選手を対象に炭水化物代謝を分析した結果, 糖新生による炭水化物供給量は微量であることを報告している. ただし, Jeukendrup たち²⁴⁾の研究は, 50% $\dot{V}O_2\max$ 強度で 2 時間運動した結果であり, 10 時間に及ぶ長時間運動中に糖新生から得られたグリコーゲン量を特定するためにはさらなる研究が求められる.

V. ま と め

本研究は, CGMS を用いて 100 km マラソン中の

血糖変動を測定し、レース中のエネルギー補給による血糖値の変動とレースパフォーマンスとの関係についての基礎資料を得ることを目的とした。その結果、100 km マラソンレース中における血糖値がレース中のエネルギー補給にともなって複雑に上昇・低下を繰り返していることが観察された。またレース後半において急激な血糖値の低下に伴ってレースペースの低下が起こることが観察され、5分平均の血糖値を測定することが可能なCGMSを用いることでより詳細に走者のエネルギー摂取様態とレースペースとの関係を分析することが可能であることが明らかとなった。

血糖値の低下の要因としては、レース中の炭水化物摂取が十分でなかったとともにレース当日の朝食において十分なエネルギー摂取ができなかったことが推察された。また、レース中の心拍応答から推定した炭水化物代謝は負のバランスが示されたことより、レース中に糖新生由来のグルコースがエネルギー源として用いられていることが考えられる。

以上のように従来行われてきた栄養学的・生理学的測定とCGMSによる血糖値の測定を合わせることにより、100 km マラソン中のエネルギー代謝とレースパフォーマンスとの関係についてより詳細な分析が可能となることが示された。またこれらのデータは、レースに向けての食事内容の改善やレース中のエネルギー補給計画の立案に対して有益な情報となると考えられる。今後測定事例を増やすことにより100 km マラソンにおける適切なエネルギー補給法について明らかにすることが可能であるといえる。

謝 辞

本研究の実施にあたり、測定にご協力いただきましたサロマ湖100 km ウルトラマラソン実行委員会に深謝申し上げます。

(受理日 平成19年12月24日)

参 考 文 献

- 1) Costill DL. Carbohydrates for exercise : Dietary demands for optimal performance, *International Journal of Sports Medicine*, (1988), **9**, 1-18.
- 2) Sherman WM, Costill DL, Fink WJ & Miller JM. Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance, *International Journal of Sports Medicine*, (1981), **2**, 114-118.
- 3) Costill DL & Miller JM. Nutrition for endurance sports : carbohydrate and fluid balance, *International Journal of Sports Medicine*, (1980), **1**, 2-14.
- 4) Pallikarakis N, Jandrain B, Pirnay F, Mosora F, Lacroix M, Luyckx AS & Lefebvre PJ. Remarkable metabolic availability of oral glucose during long-duration exercise in humans, *Journal of Applied Physiology*, (1986), **60**, 1035-1042.
- 5) Coggan AR & Coyle EF. Metabolism and performance following carbohydrate ingestion late in exercise, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, (1989), **21**, 1, 59-65.
- 6) Dumke CL, Nieman DC, Oley K and Lind RH. Ibuprofen does not affect serum electrolyte concentrations after ultradistance run, *British Journal of Sports Medicine*, (2007), **41**, 492-496.
- 7) Kratz A, Lewandrowski KB, Siegel AJ, Chun KY, Flood JG, Van Cott EM & Lewandrowski EL. Effect of marathon running on hematological and biochemical laboratory parameters, including cardiac markers, *American Journal of Clinical Pathology*, (2001), **118**, 856-863.
- 8) Kim HJ, Lee YH & Kim CK. Biomarkers of muscle and cartilage damage and inflammation during 200 km run, *European Journal of Applied Physiology*, (2007), **99**, 443-447.
- 9) Koschinsky T & Heinemann L. Sensors for glucose monitoring: technical and clinical aspects, *Diabetes metabolism research and reviews*, (2001), **17**, 113-123.
- 10) Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, Ludvik B, Kostner K, Dunky A & Haber P. Continuous glucose monitoring in diabetic long distance runners, *International Journal of Sports Medicine*, (2005), **26**, **9**, 774-780.
- 11) 栗屋 透, 武者春樹, 高田英臣, 長嶋淳三, 大宮一人, 村山正博. ウルトラマラソンにおける凝固線溶因子の検討, *臨床スポーツ医学*, (1996), **13**, 91-95.
- 12) 杉沢利雄, 奈良正人. 100 km 走のCPK, 血尿ミオグロビン, ミオシン軽鎖I, トロポニンT, 腎機能に及ぼす影響, *臨床スポーツ医学*, (1996), **13**, 102-107.
- 13) 大宮一人, 栗屋 透, 高田英臣, 長嶋淳三, 武者春樹, 村山正博. ウルトラマラソン前後の呼吸機能の検討, *臨床スポーツ医学*, (1996), **13**, 87-90.
- 14) Yeung SS & Yeung EW. The 100-km ultradistance race in Hong Kong : physical fitness profile and team performance outcome, *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, (2005), **46**, 209-214.
- 15) Weir V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *Journal of Physiology*, (1949), **109**, 1-9.
- 16) Frayn K. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange, *Journal of Applied Physiology*, (1981), **51**, 511-519.

- siology, (1983), **55**, 628-634.
- 17) Sherman WM & Costill DL The marathon : Dietary manipulation to optimize performance, *American Journal of Sports Medicine*, (1984), **12**, 44-51.
 - 18) Hargreaves M, Hawley JA & Jeukendrup A. Pre-exercise carbohydrate and fat ingestion: effect on metabolism and performance, In, Maughan RJ, Burke LM & Coyle EF. (Ed) *Food, Nutrition and Sports Performance II*, (2004), 50-62.
 - 19) Morgan L, Arendt J, Owens D, Folkard S, Hampton S, Deacon S, English J, Ribeiro D & Taylor K. Effects of the endogenous clock and sleep time on melatonin, insulin, glucose and lipid metabolism, *Journal of Endocrinology*, (1998), **157**, 443-451.
 - 20) Tabata I, Atomi Y and Miyashita M. Blood glucose concentration dependent ACTH and cortisol responses to prolonged exercise, *Clinical Physiology*, (1984), **4**, 299-307.
 - 21) Coggan AR & Coyle EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion, *Journal of Applied Physiology*, (1987), **63**, 2388-2395.
 - 22) Kruseman M, Bucher S, Bovard M, Kayser B & Bovier P. A. Nutrient intake and performance during a mountain marathon: an observational study, *European Journal of Applied Physiology*, (2005), **94**, 151-157.
 - 23) Mourtzakis M, Saltin B, Graham T & Pilegaard H. Carbohydrate metabolism during prolonged exercise and recovery: interactions between pyruvate dehydrogenase, fatty acids, and amino acids, *Journal of Applied Physiology*, (2006), **100**, 1823-1830.
 - 24) Jeukendrup AE, Raben A, Gijsen A, Stegen JH, Brouns F, Saris WH & Wagenmakers AJ. Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion, *Journal of Physiology*, (1999), **515**, 579-589.