通常勤務体制下の消防官の二重標識水法による総エネルギー消費量測定

東 野 政 貴¹⁾ RAFAMANTANANTSOA HOBY HASINA²⁾
海老根 直 之³⁾ 彭 雪 英²⁾ 吉 武 裕⁴⁾
田 中 宏 暁⁵⁾ 齊 藤 慎 一⁶⁾

MEASUREMENT OF TOTAL ENERGY EXPENDITURE IN JAPANESE FIREFIGHTERS UNDER NORMAL WORKING CONDITION USING THE DOUBLY LABELED WATER METHOD

MASATAKA TOUNO, RAFAMANTANANTSOA HOBY HASINA, NAOYUKI EBINE, HSUEN-YING PENG,
YUTAKA YOSHITAKE, HIROAKI TANAKA and SHINICHI SAITOH

Abstract

This study examined total energy expenditure (TEE) of Japanese firefighters under normal working conditions, and also evaluated several field methods for measuring TEE in comparison with the doubly labeled water (DLW) method. Ten male subjects belonging to Tokyo metropolitan firefighters departments, aged 30.0 ± 2.8 yrs (mean $\pm$ SD), were monitored for five consecutive days. While TEE was assessed by an accelerometer (AC) and activity records (AR) in addition to DLW, energy intake (EI) was evaluated by dietary record. There were three emergency calls over the assessment period, but no real operation of fire suppression. TEE obtained by the DLW method (4009 ± 611 kcal/d) was significantly higher than that estimated by AC (2531 ± 186 kcal/d) or AR (3704 ± 476 kcal/d); but significantly correlated with AR ($r = 0.876$, $p < 0.01$). EI (3539 ± 286 kcal/d) showed no significant relationship with DLW. These results suggest that compared with AC, AR would be more feasible for estimating TEE of firefighters, who perform special activities carrying heavy equipment. The mean value of physical activity level (PAL) (2.2 ± 0.3) indicates that firefighters can be categorized as heavy workers like soldiers or policemen.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 : 265~274)

key word : energy expenditure, doubly labeled water, energy intake, firefighter

I. 緒 言

消防官は24時間交代の勤務体制下、災害に備え、災害出動への緊張状態が続く職業である。こ

のような職業特異性をもつ消防官は常に良好な身体コンディションを維持していかなばならない。したがって、日々の激しい訓練や災害現場の活動によりどれだけエネルギー消費量 (Total

¹⁾ 筑波大学大学院体育研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾ School of dietetics and human nutrition,
McGill university, Quebec,
〒H9X3V9 Set-Anne-de Bellevue,
Montreal, Quebec, CANADA

⁴⁾ 鹿屋体育大学体育学部生涯スポーツ学講座
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地

⁵⁾ 福岡大学スポーツ科学部
〒814-0133 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1

⁶⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8575 茨城県つくば市天王台1-1-1

Master's Program in Health and Physical Education, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574 JAPAN

Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574 JAPAN

School of dietetics and human nutrition, McGill university, Quebec, Set-Anne-de Bellevue, Montreal, Quebec, H9X3V9, CANADA

Department for Interdisciplinary studies of Lifelong Sport and Physical Activity, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, 1 Shiramizumati, Kannoya, Kagoshima, 891-2393 JAPAN

Department of Health and Sports Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanasumi, Jyounan, Fukuoka, Fukuoka, 814-0133 JAPAN

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

Energy Expenditure : TEE)があるのかを正確に把握することは、消防官のエネルギー必要量とそれに基づく最適な栄養処方を提供するために必要不可欠である。

先行研究によると、これまで消防官を対象としたTEE測定には、心拍数(Heart Rate Monitoring : HR)法や加速度計(Accelerometer : AC)法などのフィールド測定法が主に用いられてきた^{1,2)}。しかし、いずれの簡易推定方法も日常生活を完全に把握するためには限界があることが知られており^{3,4)}、消防官の TEE が十分に検討されたとは言い難い。

エネルギー消費量の比較的新しい測定法である二重標識水(Doubly Labeled Water : DLW)法は、エネルギー消費量測定法のゴールドスタンダードとされるヒューマンカロリーメーター法(呼気ガスチャンパー法)と比較しても、十分な精度を持つことが知られている³⁾。この方法の最大の利点は、被検者の日常生活にほとんど介入することなく TEE を測定できることにあり、その点で消防官のエネルギー消費量を測定するには理想的な方法といえよう。実際に DLW 法を用いてアメリカの林野火災での消防官の TEE を測定した研究によると、男性消防官では 4878 ± 716 kcal/day、女性消防官では 3541 ± 718 kcal/day であり、林野火災という特殊な環境下であるが、消防活動が重労働であることがわかる⁵⁾。

ところで、消防官の活動は、消火活動、救助活動、救急活動、一般事務等多岐にわたっているが、なかでも現場の最前線で人命救助に従事する特別救助隊は、救助活動のスペシャリストであり、現場の活動内容、日頃の訓練からみて最も基礎体力に優れた消防官とされている。本研究では、通常勤務体制下の特別救助隊員の TEE とエネルギー摂取量(Energy Intake : EI)を測定し、消防官のエネルギー所要量を確立するための基礎となるデータを得ることを第1の目的とした。

また、我々の研究グループでは一般大学院生や中高年男性における TEE の簡易測定法について DLW 法を基準に検討を行い、AC 法が過小評価するものの相関関係に優れていることを報告して

きた^{6,30)}。本研究の第2の目的は、24時間交代の勤務体制を強いられている消防官のような職業特異性のある対象について、行動記録(Activity Record : AR)法、AC 法、EI 法などの簡易測定法の妥当性を DLW 法により検討することである。

Ⅱ. 方 法

A. 被検者

被検者は、東京消防庁S消防署に勤務する特別救助隊員10名とした。これらの被検者及び監督者である署長等には、実験の目的と内容について詳細な説明を実施し、同意書に署名を得た上で測定を開始した。なお、本研究は筑波大学の「筑波大学体育科学系研究審査委員会」の承認を得て実施した。

B. 実験概要

DLW 法、AR 法、AC 法による TEE の測定、および EI の測定は、消防官の通常勤務体制時の5日間とした。この測定期間は、消防の勤務サイクルである当番日、非番日、休日が平均的な割合になる5日間とし、常に災害出場に備えられる状態で実施した。なお、被検者には、この間普段と変わらぬ生活を心がけさせた。測定期間の前後に身体計測、測定期間後に基礎代謝量の測定を行った。なお、実験の概要を図1に示した。測定期間中の災害出場は3回であったが、いずれも誤報によるもので現場での実際の救助活動はなかった。

C. 総エネルギー消費量(TEE)の測定

1. 二重標識水(DLW)法

1) 安定同位体の投与方法

本研究では、DLW を投与する日を基準に Day0、測定開始日を Day1、測定終了日を Day6 とした。まず DLW 投与前に、ベースラインとなる同位体の体内濃度を得るための尿サンプルを採取した。次に総体水分量(Total Body Water : TBW)を体重の60%と仮定し、重水素(^2H : 99.75 atm%, 昭光通商(株), 東京)を 0.13 g/kgTBW の割合で、酸素-18(^{18}O : 10.0 atm%, 日本酸素(株), 東京)を 2.5 g/kgTBW の割合で経口投与した⁷⁾。

Fig. 1. Experimental design.

また、被検者が DLW を飲み終えた後、飲み残しがないように、水道水 100 ml で容器及び口内を洗浄し、その水道水を再び服用してもらった。また DLW 投与後は、サンプルの採取が完了する 4 時間後まで一切の飲食を禁止した。

2) TBW の算出方法

被検者には DLW の投与 2 時間後に完全排尿を指示し、3 時間後、4 時間後には尿のサンプル採取を行った。このサンプルから求められる ^2H の希釈容積は、次の式を用いて算出した⁸⁾。

$$\text{DS}_h = [\text{WA}(\delta_a - \delta_t)] / [18.02 a(\delta_s - \delta_b)] \quad (1)$$

ただし、 DS_h は ^2H の希釈容積 (mol)、W は同位体比分析の際に DLW を希釈するのに用いた飲料水の量 (g)、A は被検者が服用した DLW の量 (g)、18.02 は、1 mol あたりの水の重さ、a は DLW の同位体比を求める際に飲料水により希釈された DLW の量 (g)、 δ_a は希釈した DLW における ^2H の δ 値(‰：標準物質に対するサンプルの同位体比の千分偏差)、 δ_t は DLW の希釈に用いた飲料水における ^2H の δ 値(‰)、 δ_s は DLW が体内で平衡に達したときに採取したサンプルにおける ^2H の δ 値(‰)、 δ_b はベースラインとして採取したサンプルにおける ^2H の δ 値(‰)であ

る。TBW は、この DS_h を 1.041 で除して求めた⁹⁾。1.041 は、 DS_h が TBW 以外にも体内で広がりをもつ割合を示す係数である。

$$\text{TBW} = \text{DS}_h (\text{mol}) / 1.041 \quad (2)$$

3) TEE の算出方法

本研究では ^2H と ^{18}O の排出率を求めるにあたって Two-point Method を用い TEE の算出を行った¹⁰⁾。 ^2H と ^{18}O の分析には Day1 および Day6 に採取した尿サンプルを用い、 ^2H と ^{18}O の 1 日あたりの排出率を求め、 CO_2 産出率を次の式により算出した^{9,11)}。

$$\begin{aligned} \text{rCO}_2 (\text{mol/day}) \\ = 0.4554 \text{ TBW} (1.007 k_0 - 1.041 k_h) \end{aligned} \quad (3)$$

k_0 は ^{18}O の 1 日あたりの排出率、 k_h は ^2H の 1 日あたりの排出率である。 ^2H と ^{18}O の排出率 (k) は、DLW を飲んだ翌日 (t_i) に採取したサンプルの δ 値 (δ_i) と、DLW 投与から 6 日後 (t_f) に採取したサンプルの δ 値 (δ_f) からそれぞれバックグラウンドの δ 値 (δ_b) を差し引いて、以下の式によりそれぞれ算出した。

$$k = [\ln(\delta_f - \delta_b) - \ln(\delta_i - \delta_b)] / t \quad (4)$$

t は $t_f - t_i$ で求められるエネルギー消費量の測定期間 (days) である。TEE は Respiratory Quotient (RQ) を食事記録から求めた Food Quotient (FQ) で代用することで¹²⁾、以下の Weir の間接熱量測定式の式により CO_2 産出率から算出した¹³⁾。Black たち¹²⁾は、RQ を FQ で代用することにより生じる誤差は 2 % 以下としており妥当性があるとしている。

$$\begin{aligned} \text{TEE (kcal/day)} \\ = 22.4[3.9(\text{rCO}_2/\text{FQ}) + 1.1(\text{rCO}_2)] \quad (5) \end{aligned}$$

4) サンプルの保存, 分析方法

すべてのサンプルはプラスチック容器に入れ、パラフィルムで密封した後、個別にポリエチレン製の袋に入れ -20℃ で凍結保存した。分析場所までの輸送には、ドライアイスを含めた保冷箱を利用した。

採取した尿サンプル、現地の飲料水、DLW (濃度測定用として分析できるように、飲料水で 500 倍に希釈し尿サンプルと同程度の同位体濃度にしたもの) は、日本酸素(株)を通じ ISO-Analytical Limited (UK) に分析を依頼した。分析について簡単に述べると、各サンプルの 0.4 ml を分析管にとり、触媒として、白金を 5 % 担持させたアルミナ粒子 4 mg を添加し、分析管の上部空間に H_2 ガスを満たし、サンプルの ^2H 同位体と平衡になるよう 4 日間放置した。その後、ガスクロマトグラフィー ANCA-GSL および同体対比質量分析計 Geo20-20IRMS (ともに PDZ Europe Limited, UK) によって ^2H の分析を行い、同様に処理・分析した参照用試料と比較し、同体対比を算出した。一方 ^{18}O は、分析管の上部空間に CO_2 ガスを満たし、サンプルの ^{18}O 同位体比と平衡になるよう 1 日放置した後、分析を行った。なお、分析はすべて 3 回繰り返し行ったが、 ^2H と ^{18}O の標準偏差の平均値は、 ^2H で 1.72%、 ^{18}O で 0.2% であった。

2. 行動記録 (AR) 法

5 日間の全期間にわたり、被検者に当番日、非番日、休日の行動を所定の記録用紙に記録させた。記録に記入漏れがないか、2 日ないし 3 日の間隔

で確認を行い、当番日には確認のため、検者が立合いで行動の記録を行った。TEE の算出は、Ainsworth たちの先行研究に基づいて行った¹⁴⁾。なお、消防独自の作業や行動については、シミュレーションされた消防活動の結果から得られたエネルギー代謝率 (Relative Metabolic Rate : RMR) をもとに^{15,16)}、METs に換算し¹⁷⁾、TEE を求めた。

$$\text{METs} = 0.83 \times \text{RMR} + 1 \quad (6)$$

3. 加速度計 (AC) 法

AC 法は、人が移動する際に生じる衝撃 (加速度) を定量化することで身体活動によるエネルギー消費量を求める方法である。スズケン社製生活習慣記録機 (ライフコーダー) を用いて、入浴時以外は 5 日間連続して測定した。同装置は、体幹部の鉛直方向を主とした重心移動の加速度の変化を検出し、その値を 2 分ごとに記録するものである。この装置の装着は容易であるが、センサーの位置が加速度に影響する場合があるため、被検者には腰部に遊びがないよう装着するよう指示した。

D. エネルギー摂取量 (EI) の測定

EI の測定も他の測定と同期間に実施した。被検者は間食を含む食事内容のすべてを食事記録表に記入し、食べる前に写真撮影を行った。食事の分析には、栄養計算用ソフト Basic4 (女子栄養大)¹⁸⁾ を用いて、五訂日本食品標準成分表に基づき栄養計算を行った。なお、測定誤差を小さくするために、分析には熟練した管理栄養士 1 名が担当した。

E. 基礎代謝量 (BMR) の測定

基礎代謝量 (Basal Metabolic Rate : BMR) の測定は、昼食前に椅子座位で 15 分間安静を保持させた後、呼吸代謝測定装置 VO2000 (S & ME 社、東京) を使い、測定を実施した。呼気ガスの測定は、10 分間実施し、そのうち心拍数および酸素摂取量が安定した 3 分間のデータをもとに O_2 消費量、 CO_2 産出量を測定し、Weir の間接熱量測定式の式により ((5) 式と同様)¹³⁾、BMR を求めた。

F. 統計処理

本文および表における数値は、断りがない限り平均値±標準偏差で表した。平均値間の有意差の検定には、Student's paired *t*-test を用いた。それぞれの測定法間については単回帰分析を行い、Pearson 積率相関係数(*r*)により相関関係を求めた。また、DLW 法を参照として、AR 法、AC 法あるいは EI 法の妥当性を Bland & Altman プロ

ットを用いて検討を行った¹⁹⁾。いずれの場合も有意水準を 5 % とした。

Ⅲ. 結 果

対象者の身体特性を表 1 に示した。測定期間前後の対象者の体重には有意な差は認められなかった (69.9 ± 6.2 kg vs 69.5 ± 6.0 kg)。各測定法で求められた TEE の値を表 2 にまとめた。DLW 法による TEE を妥当基準とした検討の結果、各測定法において有意に過小評価されたが、特に AC 法では DLW 法により求められた値よりも 37% 低い値となった。なお、通常勤務体制における AR 法による TEE 測定の一例(当番日)を表 3 に示した。

DLW 法と各簡易測定法間の相関関係については、AR 法においてのみ有意な正の相関関係が認められた ($r=0.876$, $p<0.001$)。

図 2 は、DLW 法と各簡易測定法間の一致度を Bland & Altman¹⁹⁾の方法を用いてプロットしたものである。それぞれの信頼限界値(Limits of Agreement)を見てみると、AR 法

Table 1. Physical characteristics of the subjects (n=10).

		mean±SD
Age	(years)	30.0±2.8
Height	(cm)	170.0±3.9
Weight	(kg)	69.7±6.1
BMI	(kg/m ²)	24.0±1.9
Body fat	(%)	19.5±2.8

*BMI: body mass index

Table 2. Total energy expenditure estimated by activity records (AR), accelerometer (AC) and energy intake (EI).

		mean±SD
DLW ¹	(kcal/day)	4009±611
AR	(kcal/day)	3704±476*
AC	(kcal/day)	2531±186**
EI	(kcal/day)	3539±286 ¹⁹⁾

¹ DLW: doubly labeled water.

* $p<0.05$ vs DLW.

** $p<0.01$ vs DLW.

Table 3. Example of Activity Record (AR) on firefighter's work.

Time	Duration(min)	Duties	METs	kcal
8:30	10	Taking turns (大交替)	2.2	26
8:40	80	Machine inspection (2次点検)	2.2	204
10:00	120	Office work (事務処理)	1.8	250
12:00	60	Lunch (昼食)	1.8	125
13:00	60	Physical training (体力練成)	8.0	558
14:00	180	Specific training (訓練)	7.0	1464
17:00	60	Reception (通信、受付勤務)	1.7	118
18:00	30	Supper (夕食)	1.8	63
18:30	15	Machine inspection (日夕点検)	2.2	38
18:45	45	Lecture listening (教養)	1.3	68
19:30	150	Office work (事務処理)	1.8	314
22:00	60	Reception (通信、受付勤務)	1.7	118
23:00	420	Taking a nap (仮眠)	0.9	439
6:00	30	Cleaning (清掃)	2.8	98
6:30	60	Breakfast (朝食)	1.8	125
7:30	60	Office work (事務処理)	1.8	125

Total 4133 kcal

Fig. 2. Bland & Altman plots showing agreements between mean differences of total energy expenditure (TEE) estimated by activity records (AR), accelerometer (AC), energy intake (EI) and doubly labeled water (DLW) method (y axis) compared to the mean TEE obtained from DLW method considered as reference method (x axis).

で -907 から 296 kcal/day, AC法で -2522 から -434 kcal/day, EI法で -1440 から 499 kcal/dayとなりAR法が最も優れていた。

なお, BMRは $1,850 \pm 187$ kcal/dayで, DLW法で求められたTEEをBMRの倍数で示す身体活動レベル(Physical Activity Level: PAL)は 2.2 ± 0.3 であった。

Ⅳ. 考 察

本研究では, 通常勤務体制下における東京消防

庁所属の消防官のTEEをDLW法により測定したが, 平均ではTEEは 4009 kcal/day, 体重あたりでは 57.5 kcal/kg, PALは 2.2 となった。

これまでにDLW法で測定された重労働者のTEEを表4にまとめた。これによれば, 災害出場中の消防官を対象としたDLW法によるTEEについての報告は非常に少ない。Rubyたち⁵⁾は, モンタナ, カリフォルニア, フロリダ, ワシントン, アイダホ州で発生した林野火災の5日間において, アメリカ消防官のTEEを測定し 4878 ± 716

Table 4. Summary of previous studies of total energy expenditure measured by DLW method in various occupation.

Occupation	Subject (age: yrs)	Body Weight (kg)	TEE		PAL	Reference
			(kcal/day)	(kcal/day/kg)		
Soldier (jungle warfare training)	n=4.(22.5)	73.8 ± 8.9	4750 ± 614	64.4	2.5 [#]	Forbes-Ewan et al.(1989) ²⁴
Firefighter	n=1.(32)	81.8	3913	47.8	2.2	Livingstone et al.(1990) ²⁵
Policeman	n=2.(26.5)	100.7	3446	34.2	1.7	Livingstone et al.(1990) ²⁵
Soldier (cold-weather field exercise)	n=23.(27.1)	79.8 ± 1.3	4919 ± 190	61.6	2.8 ± 0.2	Hoyt et al.(1991) ²⁶
Soldier (cold temperature environments)	n=10.(30)	77.0 ± 7.5	4317 ± 927	56.1	2.4 [#]	Jones et al.(1993) ²⁷
Construction worker (simulated program)	n=13.(21)	63.9 ± 11	3029 ± 174	47.4	1.8 ± 0.1	Haggarty et al.(1997) ²⁸
Soldier (heat-stress field exercise)	n=8.(26)	64.4 ± 3.0	5423 ± 812	84.2	3.5 ± 0.1	Mudambo et al.(1997) ²⁹
Firefighters	n=10.(30)	69.7 ± 6.1	4009 ± 611	57.5	2.2 ± 0.3	Present study

[#] Estimated value.

kcal/day, 体重あたりの平均値は 65.4 kcal/kg, PAL は 2.8 ± 0.5 であるとした。また, Livingstone たち²⁰⁾ は, 通常勤務体制下におけるアメリカ消防官の TEE を測定し 3626 kcal/day, 体重あたりは 47.5 kcal/kg, PAL は 2.2 と報告している。本研究における体重あたりの TEE は, 2 つの先行研究の中間となり, PAL については通常勤務体制下におけるアメリカの消防官と同じ値となった。以上のことから本研究で求められた TEE や PAL は消防官の TEE として妥当な値であると考えられる。

本研究では, DLW 法で測定された 1 日の TEE を妥当基準とし, AR 法, AC 法, EI 法により求めた値を比較検討した。その結果, AC 法, EI 法による値は, DLW 法と比較して有意に低い値を示し, 相関関係も認められなかった。本研究とは逆に, DLW 法を妥当基準とした検討において, AC 法が TEE を過小評価しつつも, 強い相関関係を認めたという報告がある⁶⁾。この相違の理由として, 消防活動時の重装備が影響を及ぼしていると考えられる。測定期間中の消防訓練では, 総重量 20 kg の防火服を着装し, 低い姿勢でのホース保持や人命検索等が行われていた。この消防訓練中の加速度計のアウトプットを検討した結果, 加速度センサーはあまり反応しておらず, TEE を過小評価している危険性が認められた。本研究での身体活動は一般人の日常生活からみた場合, 特別な例かもしれないが, 床磨きなどの低い姿勢, 運送業のような重い荷物の持ち運び, スキー, 剣道のような重い道具を着用してのスポーツ活動に対して加速度計が正確に機能するかどうかについて検討が必要であると考えられた。

一方, AR 法によって求められた TEE は, DLW 法に対して平均値では有意に低い値を示したが, それらの間に強い正の相関関係が認められた ($r=0.876$, $p<0.001$)。また, これに加えて, Bland & Altman プロットによる信頼限界値も他の方法に比べて狭いことから, 消防官の TEE を把握する上で優れた簡易測定法になりえると考えられる。今回, AR 法では DLW 法に比べ 6.3% 低く推定されただけであったため, 回帰式 (y

(kcal) = $1.12x - 154.90$, 標準誤差 0.22, x : AR 法, y : DLW 法) を用いて DLW 法による TEE に換算が可能だと考えられる。

これまで, 消防を含む重労働者に対してのエネルギー消費量については, 沼尻たち²¹⁾により, RMR を基に測定されてきた。本研究でも消防独自の作業や行動については, シミュレーションされた消防活動の結果から得られた RMR をもとに TEE の評価を行った (表 2 参照)。この方法は一度に多数の対象者の調査が可能であり, かつ低コストであるという利点がある。本来, AR 法は記録者への負担が大きいという指摘もあるが, 消防官は常に部隊活動が基本であり, 勤務体制下においてはその記録の負担を部隊内で分散することが可能である。今回の場合も当番日には, 消防独自の訓練 (ロープ渡過, 狭い場所への進入要領等) が部隊単位で 3 時間行われている。しかし行動記録法の基となる RMR の値については, 日常生活については昭和 30 年代²²⁾, 消防などの特別活動については昭和 50 年代¹⁵⁾ に測定されており, 生活様式の変化や消防活動の機械化が進む現代においてはこれらが適切な値であるかどうかの検討が必要である。

本研究で求められた EI は TEE より 11% 低い値を示していた。DLW 法による TEE の測定が開始されて以来, TEE の値に EI の値が満たないとする報告が数多くなされている²³⁻²⁵⁾。この不一致の原因として体内に貯蔵されているエネルギーの動員と, TEE と EI のいずれか, または両方が誤って評価されたことが考えられる。しかし本研究では, 実験開始時と終了時において被検者の平均体重はほとんど変化してないため, TEE と EI の不一致は TEE の過大評価もしくは EI の過小評価によるものであろう。これについて, Westerterp たち²³⁾ は, 被検者が記入した食事記録から EI を測定した場合, EI は過小評価されると結論付けている。また, Forbes-Ewan たち²⁴⁾ は, 軍人を被検者として自己記入式の食事記録を行ったが, 正確に実施するには多くの経験や長期間の測定が必要であるため, EI の過小評価が起こると報告している。本研究においても, 消防官

Fig. 3. Comparison of energy balance (TEE vs EI) during three consecutive days (□ AR, ■ EI).
* $p < 0.05$

は、通常勤務体制下に行われる消防訓練時のスポーツドリンク等の申告がされてない被検者が多くみられた。これらのことから、本研究で認められた TEE と EI の不一致は、EI の過小評価によるものと見られる。

ところで、消防官は当番日、非番日、休日のローテーションの中で各日の TEE の差が極めて大きい職業と考えられる。したがって、勤務日だけでなく非番日、休日を含めた各日ごとの TEE の変化を正確に測定し、それに見合うエネルギー所要量について検討することが必要である。3～7 日間の平均的な TEE を求める DLW 法では各日の比較ができないため、その点においても AR 法は、TEE の過小評価傾向はあるが、有用であると考えられる。図 3 は、AR 法の有用性を検討するため、AR 法による TEE と食事記録法による EI のエネルギーバランスについて示したものである。当番、非番、休日ともに消費量と摂取量との間に有意差が認められたが、この 3 日間を平均するとエネルギーバランスは保たれていて、消防官はこの 3 日間のローテーションでうまく調整していることがわかる。消防官の場合、当番日の活動は、災害の有無によって大きく変化するので、当番日の前日に当たる休日の過ごし方が重要であ

る。当番日にベストコンディションで臨むためには、休日を含めた消防官のライフスタイルを、今後確立していかなければならないと思われた。

V. ま と め

本研究では、通常勤務体制下の消防官の TEE を明らかにすることを目的とした。また DLW 法を妥当基準法とし、AR 法、AC 法、EI 法から求めた TEE の妥当性を検討した。その結果、以下のことが明らかにされた。

1. 通常勤務体制下の消防官の TEE は、 4009 ± 611 kcal/day, PAL は 2.2 ± 0.3 と推定され、消防官の労働が、軍隊や警察官とほぼ同じく重労働であることがわかった。

2. TEE の値に対して、EI は 11% 低い値となり、スポーツ選手や軍人の先行研究同様、EI の過小評価が見られた。

3. DLW 法を妥当基準法とし、AR 法、AC 法、EI 法から求めた TEE の妥当性を検討した結果、重装備での出勤や訓練が多い消防官の TEE を測定するには、AR 法が適していると考えられた。

謝 辞

研究の趣旨に賛同し、本研究に被験者として参加し

て下さいました東京消防庁の皆様に感謝いたします。
また、食事記録の解析に多大なる協力をいただきました筑波大学体育研究科、菊池真孝氏に感謝いたします。本研究の一部は第57回日本体力医学会大会にて発表した。

(受理日 平成15年3月14日)

引用文献

- 1) Sothmann, M., Saupe, K., Raven, P., Pawelczyk, J., Davis, P., Dotson, C., Landy, F., Siliunas, M. Oxygen consumption during fire suppression : error of heart rate estimation. *Ergonomics*, (1991), **34**, 1469-1474.
- 2) 水野哲也, 消防・救助隊員の体力と蓄積疲労度, 日本衛生学雑誌, 日本衛生学雑誌, (1995), **50**, 417.
- 3) 齊藤慎一, 海老根直之, 島田美恵子, 吉武 裕, 田中宏暁, 二重標識水法によるエネルギー消費量測定の原理とその応用: 生活習慣病対策からトップスポーツ選手の栄養処方まで, 栄養学雑誌, (1999), **57**, 317-332.
Saitoh, S., Ebine, N., Shimada, M., Yoshitake, Y., Tanaka, H. Energy expenditure measured by doubly labeled water method and its application to evaluate physical activity in healthy individuals and in elite athletes. *Jpn. J. Nutr.*, (1999), **57**, 312-332. (in Japanese)
- 4) Montoye, H. J., Keper, H. C. G., Saris, W. H. M., Washburn, R. A. Measuring physical activity and energy expenditure, *Human Kinetics*, Champaign, IL., (1996).
- 5) Ruby, B. C., Shriver, T. C., Zderic, T. W., Sharkey, B. J., Burks, C., Tysk, S. Total energy expenditure during arduous wildfire suppression. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2002), **34**, 1048-1054.
- 6) 海老根直之, 島田美恵子, 田中宏暁, 西牟田 守, 吉武 裕, 齊藤慎一, Jones, P. J. H., 二重標識水法を用いた簡易エネルギー消費量推定法の評価—生活時間調査法, 心拍数法, 加速度計法について— 体力科学, (2002), **51**, 151-164.
Ebine, N., Shimada, M., Tanaka, H., Nishimuta, M., Yoshitake, Y., Saitoh, S., Jones, P. J. H. Comparative study of total energy expenditure in Japanese men using doubly labeled water method against activity record, heart rate monitoring, and accelerometer methods. *Jap. J. Phys., Fitness. Sports med.*, (2002), **51**, 151-164. (in Japanese)
- 7) Jones, P. J. and Leitch, C. A. Validation of doubly labeled water for measurement of caloric expenditure in collegiate swimmers. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **74**, 2909-2914.
- 8) Schoeller, D. A., Ravussin, E., Schutz, Y., Acheson, K. J., Baertschi, P. and Jequier E. Energy expenditure by doubly labeled water : validation in humans and proposed calculation. *Am. J. Physiol.*, (1986), **250**, R823-R830
- 9) Racette, S. B., Schoeller, D. A., Luke, A. H., Shay, K., Hnilicka, J. and Kushner, R. F. Relative dilution spaces of ^2H - and ^{18}O -labeled water in humans. *Am. J. Physiol.*, (1994), **267**, E585-E590
- 10) Welle, S. Two-point vs. multipoint sample collection for the analysis of energy expenditure by use of the doubly labeled water method. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1990), **52**, 1134-1138.
- 11) Wolfe, R. R. Measurement of total energy expenditure using doubly-labeled water method. In., Wolfe, R. R. Radioactive and stable isotope tracers in biomedicine. Wiley-liss, NY, 207-233.
- 12) Black, A. E., Prentice, A. M., Coward, W. A. Use of food quotients to predict respiratory quotients for the doubly-labelled water method of measuring energy expenditure. *Hum. Nutr. Clin. Nutr.*, (1986), **40**, 381-391.
- 13) Weir, J. B. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.*, (1949), **109**, 1-9.
- 14) Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Bassett, Jr, D. R., Schmitz, K.H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, Jr, D. R., Leon, A. S., Compendium of Physical Activities : an update of activity codes and MET intensities. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2000), **32**, S498-S516.
- 15) 井越一三雄, 野尻忠弘, 消防活動の労働科学的考察, 日本火災学会誌, (1983), **33**, 8-15.
- 16) 張替久雄, 森田吉保, 消防隊員の年代別活動能力に関する調査, 消防科学研究所報, (1985), **22**, 92-101.
- 17) 岸 恭一, 上田信男, 運動生理学, 講談社サイエンスブック, (1999)
- 18) 科学技術庁資源調査会, 五訂日本食品標準成分表, 大蔵省印刷局, (2000), 1-589.
- 19) Bland, J. M., Altman, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, (1986), **1**: 8476, 307-310.
- 20) Livingstone, M. B. E., Prentice, A. M., Coward, W. A., Ceesay, S. M., Strain, J. J., McKenna, P. G., Nevin, G. B., Barker, M. E., Hickey, R. J., Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1990), **52**, 59-65.
- 21) 沼尻幸吉, 活動のエネルギー代謝, 労働科学研究所, 神奈川, (1974).
- 22) 西原照代, 香川文子, 堀美津代, 加川稚佳子, 奥田誠子, 宇津知子, 米田伊津美, 那須正夫, 米田該典, 新しい生活時間調査用ソフトウェアとその日常生活生活調査への応用, 栄養学雑誌, (1988), **46**, 73-84.
Nishihara, T., Katsuki, F., Hori, M., Kagawa, C., Okuda, S., Utsu, T., Yoneda, I., Nasu, M., Yoneda, K. Estimation of energy expenditure and daily activity

- index on 185 subjects by a new personal computer system. *Jpn. J. Nutr.*, (1988), **46**, 73-84 (in Japanese)
- 23) Westerterp, K. R., Verboeket-van de Venne, W. P. H. G., Meijer, G. A. L. and ten Hoor, F. Self-reported intake as a measure for energy intake: a validation against doubly labeled water. In : Ailhaud, G. Gyu-Grand, B., Lafontan, M. and Ricquier, D. (Eds.) *Obesity in Europe 91*. John Libbey & Company Ltd, London, (1991), 17-22.
 - 24) Forbes-Ewan, C. K., Morrissey, B. L. L., Gregg, G. C., Waters, D. R. Use of doubly labeled water technique in soldiers training for jungle warfare. *J. Appl. Physiol.*, (1989), **67**, 14-18.
 - 25) Ebine, N., Feng, J.-Y., Homma, M., Saitoh, S., Jones, P. J. H. Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2000), **83**, 1-6.
 - 26) Haggarty, P., Valencia, M. E., McNeill, G., Gonzales, N. L., Moya, S. Y., Pinelli, A., Quihui, L., Saucedo, M. S., Esparza, J., Ashton, J., Milne, E., James, W.P. T. Energy expenditure during heavy work and its interaction with body weight. *British J. Nutr.*, (1997), **77**, 359-373.
 - 27) Jones, P. J. H., Jacobs, I., Morris, A., Ducharme, M. B. Adequacy of food rations in soldiers during an arctic exercise measured by doubly labeled water. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **75**, 1790-1797.
 - 28) Hoyt, R. W., Jones, T. E., Stein, T. P., McAninch, G. W., Lieberman, H. R., Askew, E. W., Cymerman, A. Doubly Labeled water measurement of human energy expenditure during strenuous exercise. *J. Appl. Physiol.*, (1991), **71**, 16-22.
 - 29) Mudambo, K. S. M. T., Scrimgeour, C. M., Rennie, M. J. Adequacy of food rations in soldiers during exercise in hot, day-time conditions assessed by doubly labeled water and energy balance methods. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1997), **76**, 346-351.
 - 30) Rafamantanantsoa, H. H., Ebine, N., Yoshioka, M., Higuchi, H., Yoshitake, Y., Tanaka, H., Saitoh, S., Jones, P. J. H., Validation of three alternative methods of measuring total energy expenditure against the doubly labeled water method in older Japanese men. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, (2002), **48**, 517-523.