小学生の日常生活における身体活動量の評価：二重標識水法と加速度計法による検討

足立 稔¹⁾ 笹山 健作²⁾ 引原 有輝³⁾ 沖嶋 今太⁴⁾
水内 秀次⁵⁾ 角南 良幸⁶⁾ 塩見 優子⁷⁾ 西牟田 守⁸⁾
菊永 茂司⁹⁾ 田中 宏暁¹⁰⁾ 齋藤 慎一¹¹⁾ 吉武 裕¹²⁾

ASSESSING DAILY PHYSICAL ACTIVITY IN ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS USED BY ACCELEROMETER : A VALIDATION STUDY AGAINST DOUBLY LABELED WATER METHOD

MINORU ADACHI, KENSAKU SASAYAMA, YUKI HIKIHARA, KYOTA OKISHIMA, HIDETUGU MIZUUCHI, YOSHIYUKI SUNAMI, MASAKO SHIOMI, MAMORU NISHIMUTA, SHIGEJI KIKUNAGA, HIROAKI TANAKA, SHINICHI SAITOH and YUTAKA YOSHITAKE

Abstract

The purpose of present study was to examine validity of accelerometer(Lifecorder ; LC)and to assess the free-living physical activity(PA)in Japanese elementary school students used by LC method. Firstly, to examine validity of LC, twelve children, aged 11.2 ± 1.0 years, were measured total energy expenditure(TEE)by doubly labeled water method and resting energy expenditure(REE)by the expired gas analysis. Physical activity energy expenditure(PAEE)is calculated as $0.9 \text{ TEE} - \text{REE}$. At the same time, PA was evaluated by both daily walk count (WC)and vigorous activity time(LC7-9)using LC method. PAEE per 1 kg body weight significantly correlated with WC ($r=0.785$, $p<0.005$) and LC7-9 ($r=0.828$, $p<0.001$). Secondly, 140 boys and 167 girls, aged 8-11 years were measured PA by LC method. WC and LC7-9 each were 13000-18000 counts and 16-32 minutes in week-day, and 8000-12500 counts and 8-18 minutes in week-end. PA analyzed by MANOVA were significantly higher in boys than in girls, and lower in week-end than in week-day, and decreased in proportion as grade. Present study suggests that LC method is a good measure of PA in free-living condition for elementary school students.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2007, 56 : 347~356)

key word : accelerometer, doubly labeled water, physical activity, elementary school students

-
1) 岡山大学教育学部
〒700-8530 岡山県岡山市津島中3-1-1	Faculty of Education, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530 JAPAN
2) 岡山大学教育学研究科
〒700-8530 岡山県岡山市津島中3-1-1	Master Program of Education, Okayama University
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	Doctor Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
4) 吉備国際大学保健科学部
〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8	Research Institute of health and Welfare, Kibi International University
5) 国立病院機構南岡山医療センター
〒701-0304 岡山県都窪郡早島町早島4066	National hospital Orgnization Minami-Okayama Medical Center
6) 福岡女学院大学
〒811-1313 福岡市南区日佐3-42-1	Fukuoka Jo Gakein University
7) 順正短期大学
〒716-8508 岡山県高梁市伊賀町8	Junsei Junior College
8) 国立健康・栄養研究所
〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1	National Institute of Health and Nutrition
9) ノートルダム清心女子大学人間生活学部
〒700-8516 岡山県岡山市伊福町2-16-9	Notre Dame Seishin University
10) 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	Department of Health and Sports Science, Fukuoka University
11) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1	Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
12) 鹿屋体育大学体育学部
〒981-2393 鹿児島県鹿屋市白水1番地	National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

I. 緒 言

文部科学省の体力・運動能力調査報告書¹⁾によると, 学齢期の小児の体力は1980年代の中頃から長期的に低下傾向が続いていると報告されている. この現象には, 交通の利便化, テレビゲームに代表される室内遊びの蔓延など, 生活環境の時代変化に伴う日常生活全般における身体活動量(身体活動量)の減少が強く影響していると推測される²⁾. 身体活動量の減少は, それに伴う消費エネルギー量の減少をも意味し, 摂取と消費のエネルギー出納バランスが崩れることで起こる小児肥満の増加傾向とも関連していると考えられる³⁾.

これまで, 身体活動量を評価する方法として, 日常生活行動やスポーツ活動を記録していく質問紙法や行動観察法, 歩数計法, 心拍数法が多用されてきたが, いずれの方法にも身体活動量を正確に定量するにはそれぞれ方法論に限界があることが報告されている^{4,5)}. 一方, 加速度計法は, 加速度センサーにより活動時の加速度を積算し活動量を評価する方法で, 酸素摂取量変化をよく反映することから, 身体活動量を評価する有用な方法だとされている⁶⁾. 近年, 加速度センサーを内蔵した多メモリ歩数計(Lifecorder^R: LC)が開発され, 成人や高校生においては低強度から中等度の歩行, 日常生活行動の身体活動量や活動強度を高い精度で定量できることが, エネルギー消費量のゴールドスタンダードとされているメタボリックチャンパー法⁷⁾または二重標識水法^{8,9)}で測定した1日総エネルギー消費量との関係を検討した報告や, トレッドミル運動負荷テストによる酸素摂取量と LC で測定した活動強度との関係を検討した報告¹⁰⁾で確かめられている. 小学校に通う児童においては, 身体活動量を LC¹¹⁾や同じく加速度計を内蔵したカロリーカウンター^{12,13)}で測定した報告がいくつか見られる. しかし, 小学生を対象に高い精度で測定されたエネルギー消費量との比較で, LC や同様の機器の妥当性を確認した上で身体活動量を評価した報告は, トレッドミル運動負荷テストで%最大酸素摂取量と LC で測定した活動強度との関係を検討した安部ら¹¹⁾の報告の他にはない.

そこで本研究では, 二重標識水法で測定した1日総エネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)

とダグラスバッグ法による安静時代謝量(Resting energy expenditure: REE)から算出した活動エネルギー代謝量(Physical activity energy expenditure: PAEE=(TEE×0.9)−REE)との比較で, 加速度センサーを内蔵した多メモリ歩数計 LC で測定した身体活動量の妥当性を検討した上で, LC 法による小学3年生から6年生児童の身体活動量の実態を1日歩数と強度別の活動時間から明らかにすることを目的にした.

II. 方 法

A. 二重標識法によるエネルギー消費量と LC 法による身体活動量

1. 対象者

小学校に通う児童男女12名(男子5名/女子7名, 年齢 11.2 ± 1.0 歳, 身長 143.3 ± 7.1 cm, 体重 37.3 ± 8.2 kg)を対象に, 二重標識水(Doubly labeled water: DLW)法によるエネルギー量と加速度センサーを内蔵した多メモリ歩数計(Lifecorder^R, SUZUKEN: LC)による身体活動量(1日歩数と強度別活動時間)を測定し, 両者の関係を検討した. 対象児には保護者および本人に書面と面談により測定の目的・方法を説明した上, 協力を依頼し, 同意を得た. なお, この測定は, 「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.

2. 二重標識水法によるエネルギー消費量の測定

DLW 法による1日消費エネルギーは, 引原らの方法¹⁴⁾に準じて行った. すなわち, DLW を投与する日の day0 を基準に, 測定を開始する日を day1, 測定終了日を day8 とし, 1週間の TEE を測定した. まず, ベースラインの尿サンプルを day0 に採取した. 次に, 対象児の総体水分量(Total body water: TBW)を体重の60%と仮定し, DLW を day0 に, ²H(99.75 atm%: 昭和通商(株))は 0.12 g/kg/TBW の割合で, ¹⁸O(10.0 atm%: 日本酸素(株))は 2.5 g/kg/TBW の割合で, 経口摂取させた. DLW 投与後, 1時間後にいったん完全排尿させ, 2時間後と3時間後に尿を採取し, その尿中 ¹⁸O の同位体比から TBW を算出した. また, day1 および day8 の2番目の尿を採取し, その尿から同位体の減少率を求め, TEE を算出した. 尿サンプルの保存, 輸送, 分析は, 先行研究と同様の方法で行

った^{14,15)}。なお、試料の分析は3回繰り返して行い、その際の標準偏差の平均値は²Hで1.53%¹⁸Oで0.36%であった。

3. 安静時代謝量の測定

REEは、DLW法によるTEEの測定期間の前後1週間いずれかの日に、午前7時から午前8時30分の間に対象児の自宅において空腹状態で測定した。測定前日の午後9時以降は飲食禁止とし、当日は起床後できるだけ身体を動かさないように要請した。測定前に20分以上安静状態を保持させた後、仰臥位にて10分間ダグラスバッグ法にて呼気ガスを採取した。採取した呼気ガスの量は呼気量は乾式ガスメーター(DC-5A, SHINAGAWA)、酸素濃度と二酸化炭素濃度は質量分析装置(ARCO-1000, ARCO System Inc.)を用いて測定した後、気圧、室温、呼気ガス温で補正し、酸素摂取量と二酸化炭素排出量を算出した。エネルギーへの換算はWeir¹⁶⁾の間接熱量測定式を用いた。

4. 1日活動エネルギー消費量の算出

PAEEは、TEEに含まれる食事誘発性体熱産生による10%のエネルギー消費を考慮し、 $PAEE = (TEE \times 0.9) - REE$ で算出した¹⁷⁾。

5. Lifecorder^Rによる身体活動量の測定

LCによる身体活動量は、DLW法によるTEEの測定期間とその前後3日間の計2週間にわたり測定した。事前に使用についての注意点を十分に説明した上で、2週間の測定期間中は毎日起床時から就寝時までの間、入浴や水泳など装着できない場合を除いては常にLCを腰部に装着するよう依頼した。身体活動量の測定はDLW法によるTEEの測定と平行して実施し、両者の測定期間は同じにした。身体活動量とDLW法によるTEEの値は両者とも測定期間の平均値で表した。身体活動量は1日歩数と1日の活動強度LC強度別にそれぞれの活動時間(LC0からLC9)で評価した。また、記録されたLC0から9は、小学生を対象に多段階の歩行または走行によるフィールドテスト時にLC強度を測定した先行研究の結果から、LC1から6までの活動時間を加算した値を歩行程度までの強度の活動時間(LC1~6)、LC7から9までの活動時間を加算した値を速歩から走行以上の強度の活動時間(LC7~9)として評価した¹⁸⁾。なお、これらの測定項目は平

日においては12時間以上、休日においては10時間以上LCを装着している日のデータを用いた。加えて、連続して1時間以上LCを装着していないデータ、あるいは平日において通学の活動が含まれていないデータは除外して検討した。

B. LC法による1日歩数と強度別活動時間で評価した小学生の身体活動量

1. 対象者

岡山県の地方都市郊外に在住する小学3年生から6年生までの児童307名とした。対象児童には本人および保護者に書面により測定の目的・方法を説明した上、協力を依頼し、同意を得た。

2. LCによる身体活動量の測定

LCによる身体活動量の測定は、前記のDLW法との比較で用いた方法に準じて行った。ただし、個人代表値は、小学生の生活行動上の特性から、学校に行く平日の平均値または学校に行かない休日の平均値をそれぞれの代表値(平日または休日)として評価した。また、全日代表値(全日)は1週間の1日代表値として示すために、平日の代表値の5日間の積算値に休日の代表値の2日間の積算値を加えた値を7日で除した値で示した。また、装着初日はLC装着に慣れる「慣らし日」とし、この日の値はデータとしては用いないこととした。

C. 統計処理

数値は平均値±標準偏差で示した。対象児童の身体活動量の個体間変動要因である性差と学年差、及び個体内変動要因である平日と休日に差異があるかどうかについて検討するために3元配置分散分析を行った。項目間の相関関係はPearson積算相関係数を算出した。すべての統計解析にはSPSS 14.0を用い、有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

A. DLWによるエネルギー消費量とLC法による身体活動量

対象児童の身体的特徴、エネルギー消費量および身体活動状況をTable 1に示した。REE及びDLW法で測定したTEEはそれぞれ 1343 ± 187 kcal/day、 1968 ± 299 kcal/dayであり、これらの値から算出したPAEEまたは単位体重当たりのPAEE(PAEE/

Table 1. Energy expenditure and physical activity parameter of subjects (n=12)

Parameter	Mean $\pm$ SD
Age	11.2 $\pm$ 1.0
Height (cm)	143.3 $\pm$ 7.1
Weight (kg)	37.3 $\pm$ 8.2
REE (kcal/day)	1343 $\pm$ 187
TEE (kcal/day)	1968 $\pm$ 299
PAEE (kcal/day)	429 $\pm$ 166
PAEE/wt (kcal/kg/day)	11.7 $\pm$ 4.5
Walk Counts (counts/day)	12463 $\pm$ 2451
LC1~6 (min./day)	103 $\pm$ 18
LC7~9 (min./day)	20 $\pm$ 7

wt)はそれぞれ 429 ± 166 kcal, 11.7 ± 4.5 kcal/kg であった。1日歩数は 12463 ± 2541 歩であった (Table 1)。また, LC0 は 1317 ± 23 分, LC1 は 22 ± 3 , LC2 は 40 ± 7 , LC3 は 14 ± 3 , LC4 は 11 ± 3 , LC5 は 8 ± 3 , LC6 は 8 ± 5 , LC7 は 6 ± 3 , LC8 は 9 ± 3 , LC9 は 5 ± 2 であり, これらを加算した LC1~6 は 103 ± 18 分, LC7~9 は 20 ± 7 分であった (Table 1)。PAEE/wt と 1日歩数との間には有意な相関関係 ($r=0.785$, $p<0.005$) が認められた (Fig. 1)。PAEE/wt と LC0 から 9 までとの間の相関関係は, LC0 ($r=-0.781$, $p<0.01$), LC1 ($r=0.454$, ns),

LC2 ($r=0.661$, $p<0.05$), LC3 ($r=0.411$, ns), LC4 ($r=0.327$, ns), LC5 ($r=0.786$, $p<0.01$), LC6 ($r=0.494$, ns), LC7 ($r=0.851$, $p<0.001$), LC8 ($r=0.876$, $p<0.001$), LC9 ($r=0.221$, ns) であり, これらを加算した LC1~6 ($r=0.709$, $p<0.01$) または LC7~9 ($r=0.828$, $p<0.001$) との間にはいずれも有意な相関関係が認められた (Fig. 1)。

B. LC 法による 1 日歩数と強度別活動時間で評価した小学生的身体活動量

対象児童の身体的特徴を Table 2 に示した。また, LC 法による 1 日歩数及び LC1~6 と LC7~9 を, 男女の要因, 学年の要因に加え平日か休日かの日にち特性の要因で 3 元配置分散分析を行った結果を Table 3 に示した。いずれの項目においても男女間 (1 日歩数: $F=63.83$, $p<0.0001$, LC1~6: $F=48.43$, $p<0.0001$, LC7~9: $F=60.48$, $p<0.0001$) または, 平日と休日との間 (1 日歩数: $F=432.30$, $p<0.0001$, LC1~6: $F=255.71$, $p<0.0001$, LC7~9: $F=345.50$, $p<0.0001$) には有意な差が認められた。LC1~6 ($F=2.55$, $p=0.056$) では有意ではなかったが, 1 日歩数 ($F=4.89$, $p<0.005$) と LC7~9 ($F=11.66$, $p<0.0001$) では学年の要因に有意性が認められ, 1 日歩数では 3 年生と 5 年生, 3

Fig. 1. Correlations between physical activity parameter measured by Lifecorder and physical activity energy expenditure per body weight (PAEE/wt) measured by doubly labeled water method.

Table 2. Physical characteristics of subjects (n=307)

Grade	Boys			Girls		
	n	Height (cm)	Weight (kg)	n	Height (cm)	Weight (kg)
3rd	45	128.8 $\pm$ 5.7	26.3 $\pm$ 4.1	52	127.9 $\pm$ 5.9	25.4 $\pm$ 4.4
4th	46	134.8 $\pm$ 6.3	31.1 $\pm$ 7.0	50	134.8 $\pm$ 7.7	31.3 $\pm$ 7.5
5th	27	140.4 $\pm$ 5.4	36.3 $\pm$ 9.9	40	142.7 $\pm$ 7.1	36.5 $\pm$ 9.9
6th	22	144.2 $\pm$ 7.1	37.4 $\pm$ 9.9	25	149.4 $\pm$ 6.1	38.5 $\pm$ 6.4

Table 3. Physical activity parameter measured by Lifecorder(n=307)

Grade	Boys			Girls		
	n	Weekday	Weekend	n	Weekday	Weekend
<Walk counts (counts/day)>						
3rd	45	17897 ± 2570	12365 ± 3849	52	14622 ± 3063	9853 ± 3149
4th	46	17756 ± 3417	11866 ± 4331	50	13623 ± 1854	10648 ± 3896
5th	27	16719 ± 3611	11164 ± 3896	40	13861 ± 2619	8690 ± 2755
6th	22	14948 ± 3649	11660 ± 4963	25	13056 ± 2698	8402 ± 3080
<LC1-6 (min./day)>						
3rd	45	138 ± 22	106 ± 29	52	117 ± 23	88 ± 26
4th	46	141 ± 22	105 ± 34	50	116 ± 21	98 ± 32
5th	27	137 ± 25	103 ± 35	40	116 ± 21	81 ± 25
6th	22	123 ± 26	101 ± 41	25	112 ± 21	80 ± 28
<LC7-9 (min./day)>						
3rd	45	32 ± 9	18 ± 9	52	24 ± 9	13 ± 7
4th	46	30 ± 12	16 ± 10	50	21 ± 7	12 ± 8
5th	27	25 ± 13	13 ± 6	40	18 ± 7	9 ± 4
6th	22	23 ± 11	16 ± 12	25	16 ± 6	8 ± 5

MANOVA analysis of physical activity parameter show significant difference between boys and girls(walk counts : $F=63.83$, $p<0.0001$, LC1-6 : $F=48.43$, $p<0.0001$, LC7-9 : $F=60.48$, $p<0.0001$) and between weekday and weekend(walk counts : $F=432.30$, $p<0.0001$, LC1-6 : $F=255.71$, $p<0.0001$, LC7-9 : $F=345.50$, $p<0.0001$) and among grade(walk counts : $F=4.89$, $p<0.005$, LC7-9 : $F=11.66$, $p<0.0001$). Significant difference($p<0.05$) among grade(3rd vs. 5th, 3rd vs. 6th, 4th vs. 6th) in walk counts and (3rd vs. 5th, 3rd vs. 6th, 4th vs. 5th, 4th vs. 6th) in walk counts by post hoc test(Fisher PLSD)

年生と6年生，4年生と6年生の間に，LC7～9では3年生と5年生，3年生と6年生，4年生と5年生，4年生と6年生の間にそれぞれ有意な差($p<0.05$)が認められた．1日歩数($F=3.73$, $p<0.05$)とLC1～6($F=3.27$, $p<0.05$)では日にち特性の要因×男女の要因×学年の要因に有意な交互作用が認められたが，作図して関連を検証したところ交互作用は特異的なものではなかったので以下の検討は行わなかった．

Ⅳ．考 察

A. DLW 法によるエネルギー消費量と LC 法による身体活動量

本研究ではまず，小学生を対象にフリーリビングでの消費エネルギー量測定のゴールドスタンダードとされている DLW 法で TEE を測定した．同時にダグラスバック法で測定した REE を基に，発育期にある子どもの1日の活動エネルギー量を評価するよい指標と報告¹⁹⁾されている単位体重当たりの PAEE(PAEE/wt)を算出し，LC 法で評価した身体活動量である1日の歩数，歩行程度までの強度の活動時間である LC1-6 と，速歩から走行以上の強度の活動時間である LC7-9 の関係を調べることで，LC 法の妥当性を検討した．これまで本邦において

小学校に通う児童を対象に DLW 法による TEE を測定した研究はなく，本研究が日本人児童で DLW 法により TEE を評価した初めての報告である．成人では海老根ら⁸⁾，高校生では引原ら⁹⁾が DLW 法との比較で LC 法による TEE 簡易推定法の妥当性を検討しており，いずれも LC 法の有用性を明らかにしている．本研究の結果から，PAEE/wt と1日歩数，LC1-6 または LC7-9 との間に相関係数が0.7以上の有意な正の相関関係があり，特に PAEE/wt と LC7-9 との間の相関係数は0.8を超えており，強い関連性があることが示された．我々はすでに，4歳から6歳の幼児11名を対象にトレッドミル運動負荷テストを行い，実測した METs 値と LC 強度との間に有意な高い正の相関関係($r=0.880$, $p<0.001$)があることを報告している²⁰⁾．また，小学3年生から高校生までの各年代の子ども総計419名を対象に，歩行または走行スピードを75 m/分，100 m/分，120 m/分，150 m/分の各ステージ4分ずつ運動する漸増負荷のフィールドテストを行った．その結果，LC 強度は75 m/分，100 m/分，120 m/分と直線的に増大するが，120 m/分と150 m/分の間ではプラトーとなることが認められ，LC 強度と歩行または走行スピードとの関係には二次回帰式を引くことができ，その関係は，各年代とも寄与率が0.9

を越える有意な高い相関関係が認められた。これらの結果から, LC 法を用いることで歩行程度までか, 速歩から走行以上かの運動強度で区分して活動時間を評価できることを確かめている¹⁸⁾。また安部ら¹¹⁾は, 小学校 5, 6 年の児童 30 名を対象にトレッドミル運動負荷テストで % 最大酸素摂取量と LC 強度との関係を検討したところ, 両指標の間には有意な高い正の相関関係 ($r=0.842, p<0.01$) があつたと報告しており, 我々の結果と一致している。健康を保持増進していくためには, TEE に代表される 1 日の身体活動量の全体量を増やすことが重要であること^{21~23)}が示されているが, 発育発達の途上にある子どもにおいては, 走り回ったり飛び跳ねたりするような質的に高い強度の活動時間が十分にあることが重要であることは, 30 分程度の高強度のスポーツ活動を毎日行うことが必要であるとする ACSM の見解²³⁾でも示されている。Rowlands et al. は 8 歳から 10 歳の男女を対象として, 1 日の総身体活動量に比べ vigorous 強度に相当する身体活動時間が有酸素的体力や体脂肪量との間により強い関係性が認められたことを報告²⁴⁾しており, 上記のことを裏付ける結果と考えられる。Rowlands et al. の vigorous という強度の下限は, 本研究で用いた速歩から走行以上の高強度の活動時間を示す LC7-9 の強度のそれと同程度であり, 他の先行研究^{25,26)}でも示されている vigorous 強度と同等の評価基準である考えられる。先行研究と本研究の結果から, LC 法で走行以上の強度の活動時間である LC7-9 を評価する身体活動量評価法は, 小学生の身体活動量を評価する上で有用であることが示された。

B. LC 法による 1 日歩数と強度別活動時間で評価した小学生の身体活動量

次に, 児童の日常生活における身体活動量を評価することを目的に, 小学 3 年から 6 年の小学生 307 名を対象に, 約 10 日間にわたり LC を装着させ身体活動量を測定した。平日の日中は学校に通い生活しているという小学生の生活行動上の特性から, 身体活動量は平日と休日に分けて評価した。

本研究の結果から, 地方都市郊外に在住する小学 3 年生から 6 年生児童では, 1 日歩数は男子の平日で 15000 歩~18000 歩, 休日で 11000 歩~12500 歩, 一方, 女子の平日で 13000 歩~14500 歩, 休日で 8500 歩

~10500 歩程度であつた。また強度別活動時間で評価した場合, LC7-9 は, 男子の平日で 23 分~32 分, 休日で 13 分~18 分, 一方, 女子の平日で 16 分~24 分, 休日で 8 分~13 分程度であることが示された。

これまでに本邦で歩数計法や加速度計法を用いて児童の身体活動量の全体量を評価する指標である 1 日歩数を平日または休日と男女に分類して評価した先行研究は, 我々が知る限り 1979 年の波多野の報告から 2003 年の三村らの報告まで 11 の論文^{27~39)}が出版されており, 本研究の結果を含めこれらを年代と報告者ごとにまとめたのが Table 4 である。

まず始めに年代による変動についてみる。1979 年から 1993 年までの報告では 20000 歩を越える集団が数多く見られるのに対し 1997 年以降の報告で 1 日歩数が 20000 歩を越えているのは 2003 年の三村ら³⁸⁾の小学 1 年生のみである。このことから, 小学生を対象に 1 日歩数のデータが取られ始めた最近の 25 年間では全体的に年代が現在に近づくにつれ減少する傾向が見られ, 小学生の 1 日歩数は減少してきていることが示唆される。それぞれ測定した季節, 住居の地域・環境や測定方法が異なるので, あくまでも推測の域を出ないが, 現代の小学生の身体活動量を考察する上で貴重な情報であると考ええる。

次に男女差と平日・休日の差についてであるが, 年代や学年にかかわらずほとんどの報告で男子に比べ女子で平日の 1 日歩数が少ないことがわかる。休日では, 本研究と同年に測定した報告³⁸⁾があり, 1 日歩数に男女差は見られていない。本研究でも男女差は平日に比べると休日で小さく, 男女とも平日に比べ休日で約 3000~4000 歩少ない結果である。一方, 1979 年の波多野の報告²⁷⁾では平日, 休日ともに 1 日歩数に男女差が見られるが, 男女とも平日と休日に差は見られていない。休日について調べた報告は本研究も含め以上の 3 報告しかされていないので断定はできないが, 25 年前に比べ現在では小学生児童の休日の身体活動量が顕著に減少しているのかもしれない。

次に, 4 学年以上を学年横断的に調べた報告について検討すると, 1983 年の星川ら²⁸⁾の結果では, 男子では学年が上がるに連れてやや少なくなる傾向にあり, 女子では低学年に比べ中学年でやや増え高学年でまた減る傾向を示している。1997 年から 2000 年にかけての 1 年生から 6 年生を横断的に測定した

Table 4. Previous studies measuring physical activity(walk count)by pedometer or accelerometer.

No.	Author	Year	Method	Grade or Age of Subject (n)	Walkcount	
					Weekday	Weekend
1.	Hatano et.al ⁽²⁷⁾	1979	PE	3rd (Boy=10, Girl=10) 4rd (Boy=10, Girl=8)	Boy: 27250, Girl: 15360 Boy: 18260, Girl: 15980	Boy: 27460, Girl: 16080 Boy: 18260, Girl: 15980
2.	Hoshikawa et.al ⁽²⁸⁾	1983	PE	1st (Boy=104, Girl=107) 2nd (Boy=67, Girl=44) 3rd (Boy=155, Girl=114) 4th (Boy=63, Girl=59) 5th (Boy=117, Girl=109) 6th (Boy=62, Girl=56)	Boy: 22520, Girl: 15190 Boy: 20520, Girl: 16500 Boy: 22230, Girl: 17810 Boy: 18100, Girl: 14250 Boy: 19260, Girl: 15030 Boy: 18680, Girl: 11930	
3.	Ogasawara et.al ⁽²⁹⁾	1987	PE	6-9y. (Boy=20, Girl=20) 9-12y. (Boy=20, Girl=20)	Boy: 26300, Girl: 19500 Boy: 24000, Girl: 12400	
4.	Saitoh et.al ⁽³⁰⁾	1990	PE	6th (Boy=103, Girl=106)	Boy: 16599, Girl: 12568	
5.	Kurokawa et.al ⁽³¹⁾	1993	PE	4th (Boy=57, Girl=50) 5th (Boy=61, Girl=59) 6th (Boy=60, Girl=48)	Boy: 21616, Girl: 16504 Boy: 18870, Girl: 14758 Boy: 19779, Girl: 16426	
6.	kaga et.al ⁽³²⁾	1997	PE	5th (Boy=760, Girl=893) 6th (Boy=62, Girl=56)	Boy: 16228, Girl: 11530 Boy: 17278, Girl: 12216	
7.	Kimura et.al ^(33~38)	1997 ~2000	AC	1st (Boy=30, Girl=41) 2nd (Boy=59, Girl=62) 3rd (Boy=45, Girl=42) 4th (Boy=34, Girl=37) 5th (Boy=48, Girl=61) 6th (Boy=30, Girl=29)	Boy: 19363, Girl: 17261 Boy: 15618, Girl: 15285 Boy: 18330, Girl: 15668 Boy: 17275, Girl: 13985 Boy: 19046, Girl: 15948 Boy: 20366, Girl: 15055	
8.	Mimura et.al ⁽³⁹⁾	2003	AC	1st (Boy=10, Girl=20) 2nd (Boy=13, Girl=17) 3rd (Boy=12, Girl=19) 4th (Boy=16, Girl=21) 5th (Boy=15, Girl=18) 6th (Boy=15, Girl=17)	Boy: 20022, Girl: 17537 Boy: 16424, Girl: 15534 Boy: 18782, Girl: 16036 Boy: 17589, Girl: 14146 Boy: 16504, Girl: 15441 Boy: 17384, Girl: 12915	Boy: 12133, Girl: 12945 Boy: 10754, Girl: 10803 Boy: 10787, Girl: 10276 Boy: 10764, Girl: 8353 Boy: 11007, Girl: 9834 Boy: 9137, Girl: 8327
9.	Present study	2003 ~2004	AC	3rd (Boy=45, Girl=52) 4th (Boy=46, Girl=50) 5th (Boy=27, Girl=40) 6th (Boy=22, Girl=25)	Boy: 17897, Girl: 14622 Boy: 17756, Girl: 13623 Boy: 16719, Girl: 13861 Boy: 14948, Girl: 13056	Boy: 12365, Girl: 9853 Boy: 11866, Girl: 10648 Boy: 11164, Girl: 8690 Boy: 11660, Girl: 8402

PE : Pedmeter, AC : Accelorometer

木村ら^{33~38)}の報告では男女とも学年差は見られていない。2003年の三村ら³⁹⁾の結果では、平日・休日とも、男子では一定の傾向はなく、女子では学年が上がるに連れてやや少なくなる傾向が見られている。本研究では男女とも中学年から高学年にかけて有意に少なくなる結果となっており、一致した見解は得られなかった。この原因として、必ずしも測定した時期、季節や環境がコントロールされていないこと、いずれも横断的検討であることがあげられる。今後は、同じ対象児を追跡していく縦断的検討を通して身体活動量の発育に伴う変動を調べていく必要があると考えられた。

すでに示したように児童の身体活動量を1日歩数で評価した研究はかなり報告されているが、本邦で加速度計を用い運動強度を加味して一定期間の身体活動量を評価した報告は本研究を除くと1報告のみである。2001年に柴田らは、小学4年生の男女93名

の児童を対象にLC法による強度別活動時間を報告しており、1週間の平均のLC7-9の男女合わせた平均値で21分としている⁴⁰⁾。この結果は、男女、平日休日の区分を無くした結果で本研究と比較すると、ほぼ同様の結果と考えられる。また、本研究と調査時期が近い「平成14年度児童生徒の健康状態サーベイランス事業報告書」⁴¹⁾では質問紙法で「強い運動 心臓がかなり速く打つような運動」をした時間を調べており、結果を一日あたりの平均値に換算すると、3・4年生の男子で35分、女子で22分、5・6年生の男子で42分、女子で29分と報告している。本研究のLC7-9と比較すると小学5・6年生でやや高い数値になっている。調査方法や評価基準が異なるので単純には比較はできないが、本邦小学生児童の速歩から走行以上の比較的高強度の活動時間はおよそ30分程度と推測される。発育期の子どもにとっては、1日歩数で評価できる全体量的な身

体活動量を高めることに加え, 高強度の活動を十分に行うことが重要であることは ACSM の見解²³⁾が示すとおりである。しかし, 我が国では、『子どもはどのくらいからだを動かせばいいか』という身体活動量や運動の基準がまだ策定されていない。今後, 子どもの身体活動量についてのエビデンスを蓄積していくことを通して, 子どもの身体活動量の目標値を策定していくことが急務と考えられる。特に, 活動強度の測度を加味した指標による子どもの身体活動量のエビデンスを蓄積していくことが重要だと考えられる。

V. ま と め

本研究ではまず, 12名の児童を対象に DLW 法による TEE とダグラスバッグ法による RER から算出した PAEE と, LC 法で測定した身体活動量を比較した。その結果, PAEE/wt と 1 日歩数($r = 0.785$, $p < 0.005$)及び LC1~6 の($r = 0.709$, $p < 0.01$)と LC7~9 ($r = 0.828$, $p < 0.001$)との間にいずれも有意な相関関係が認められた。次に, 307名の児童を対象に LC 法により身体活動量を測定した。その結果, 1 日歩数では平日で約13000歩~18000歩, 休日で約8000歩~12500歩, LC7-9 では平日で約16分~32分, 休日で約8分~18分であること, 男子に比べ女子で少ないこと, 男女ともに平日に比べ休日で少なく, 学年が上がるに連れて減少する傾向であることが示された。以上のことから, 小学生児童においても LC 法による身体活動量評価法が有用であることと, 小学生の身体活動量の実態が示された。今後は, 子どもの身体活動量基準値あるいは目標値策定に向けてのエビデンスの積み重ねを含めたさらなる検討が必要であると考えられた。

(受理日 平成19年3月14日)

VI. 引 用 文 献

- 1) 文部科学省・スポーツ・青少年局, 平成16年度平成体力・運動能力調査報告書(2005)
- 2) 足立 稔, 仲井千佳, 沖嶋今日太, 水内秀次, 子どもの日常生活身体活動量の測定とその実態について. 岡山大学教育学部研究集録, (2004), 125, 191-197.
- 3) 村田光範, 肥満をつくりだす生活環境, 小児科臨床, (2001), 56, 2269-2276.
- 4) 齋藤慎一, 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
- 5) Montoye, H. J., Kemper, H. C. G., Saris, W. H. M., Washburn, R. A. Measuring physical activity and energy expenditure, Human Kinetics, Champaign, IL, (1996)
- 6) 吉武 裕, エネルギー代謝測定法の応用的展開. 臨床スポーツ医学(2001), 18, 419-425.
- 7) Kumahara, H., Schutz, Y., Ayabe, M., Yoshioka, M., Yoshitake, Y., Shindo, M., Ishii, K., Tanaka, H. The use of uniaxial accelerometry for the assessment of physical-activity-related energy expenditure: a validation study against whole-body indirect calorimetry. Br. J. Nutr.(2004) 91, 235-243.
- 8) 海老根直之, 島田美恵子, 田中宏暁, 西牟田 守. 吉武 裕, 齋藤慎一, Peter, J. H. Jones., 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
- 9) 引原有輝, 齋藤慎一, 吉武 裕, 高校野球選手における簡易エネルギー消費量測定法の妥当性の検討. 体力科学, (2005), 54, 363-372.
- 10) 樋口博之, 綾部誠也, 進藤宗洋, 吉武 裕, 田中宏暁, 加速度センサーを内蔵した歩数計による若年者と高齢者の日常生活身体活動量の比較. 体力科学 (2003), 52, 111-118.
- 11) 安部恵子, 三村寛一, 鉄口宗弘, 勝野真吾, 小学校高学年児童における日常の身体活動量に関する研究. 教育医学, (2004), 50, 106-114.
- 12) 木村みさか, 糸井亜弥, 足立哲司, 児童生徒の身体活動量と栄養摂取に関する調査. Walking Research, (2002), 6, 141-148.
- 13) 糸井亜弥, 田中靖人, 木村みさか, 農村地域の小学校高学年児童における活動量と栄養摂取に関する調査. 学校保健研究, (2003), 45, 454-464.
- 14) 引原有輝, 齋藤慎一, 吉武 裕, 高校野球選手における簡易エネルギー消費量測定の妥当性の検討. 体力科学, (2005), 54, 363-372.
- 15) Ebine, N., Feng, J.Y., Homma, M., Saitoh, S. and 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.
- 16) Weir, J. B. D. V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. J.Physiol.(1949) 109, 1-9
- 17) Maffei, C., Schutz, Y., Zocante, L., Micciolo, L. and Pinelli, L. Meal-induced thermogenesis in lean and obese prepubertal children. Am.J.Clin.Nutr(1993) 57, 481-485
- 18) 足立 稔, 笹山健作, 安東 良, 田中康雄, 沖嶋今日太, 水内秀次, 学齢期の小児を対象とした歩・走行スピードと加速度で測定した運動強度の関係について, 岡山大学教育学部研究収録, (2005), 128, 141-146.
- 19) Ekelund, U., Yngve, A., Brage, S., Westerterp, K.,

- Sjosrom, M. Body movement and physical activity energy expenditure in children and adolescents : how to adjust for differences in body size and age. *Am. J. Clin. Nutr.* (2004) **79**, 851-856
- 20) 角南良幸, 塩見優子, 沖嶋今日太, 西牟田 守, 吉武 裕, 足立 稔, 幼児の日常生活身体活動量についての研究(第一報)加速度計による身体活動量測定の妥当性, *体力科学*, (2003), **53**, 844.
- 21) Bidle, S., Sallis, J. F. and Cavill, N. A(Eds) Young and active? Young people and health enhancing physical activity(1998) Evidence and Implications. London: Health education Authority.
- 22) 体力科学連絡委員会, 日本人のための健康体力指標の標準化, 及び健康増進・疾病予防のための身体活動に関する推奨・指針作成への提言. *体力科学*, (2003), **52**, 1-16.
- 23) American College of Sports Medicine. Physical Fitness in Children and Youth. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, (1988) **20**, 422-423
- 24) Rowlands, A. V., Eston, R. G., and Ingledew, D. K. Relationship between activity levels, aerobic fitness, and body fat in 8- to 10-yr-old children. *J. Appl. Physiol.*, (1999) **86**, 1428-1435.
- 25) Hoos, M. B., Kuipers, H., Gerver, W. J., Westerterp, K. R. Physical activity pattern of children assessed by triaxial accelerometry. *Eur. J. Clin. Nutr.* (2004) **58**, 1425-1428
- 26) Montgomery, C., Reilly, J. J., Jackson, D. M., Kelly, L. A., Slater, C., Paton, J. Y., Grant, S. Relation between physical activity and energy expenditure in a representative sample of young children. *Am. J. Clin. Nutr.*, (2004) **80**, 591-596.
- 27) 波多野義郎. 現代っ子はどれだけ動いているか. *体育科教育*. (1979), **27**, 11-14
- 28) 愛知教育大体育教室. 愛知県小中学校における体育活動の実態—調査結果の概要—. 昭和58年度文部省科学研究報告書(1983), 66-49
- 29) 小笠原由法, 外岡立人, 松本隆任, 今井 浩. 小児の日常活動性の評価—歩数計による分析—. *小児科* (1998), **29**, 441-442
- 30) 齋藤由美, 戎 利光, 加藤孝之. 1日当りのエネルギー消費量とペドメーター歩数との相互関係—小学生の場合—. *教育医学* (1990), **36**, 179-183
- 31) 黒川修行, 小宮秀明, 宇佐見隆廣, 佐伯圭一郎. 児童の身体活動量と動脈硬化促進因子との関連性について. *学校保健研究* (1998), **40**, 308-316
- 32) 加賀 勝, 平田和子, 高橋香代, 清水佳紀. 成長期における日常身体活動量の体力・運動能力に及ぼす影響. *日本小児科学会雑誌* (2002), **106**, 655-664
- 33) 木村みさか, 鈴間晴崇, 永井由香, 中西栄子, 竹野信彦, 横田征洋, 児童生徒の活動量と栄養摂取に関する調査 第1報. 京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要, (1998), **7**, 161-166.
- 34) 木村みさか, 畠澤啓太郎, 永井由香, 山本亜子, 伊藤勝章, 津田幸男, 植山 正, 児童生徒の活動量と栄養摂取に関する調査 第2報. 京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要, (1999), **8**, 127-137.
- 35) 永井由香, 糸井亜弥, 米澤真紀, 谷垣 賢, 小川豊子, 寺島三矢子, 荒川三奈代, 伊藤勝章, 木村みさか, 児童生徒の活動量と栄養摂取に関する調査 第5報. 京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要, (2000), **9**, 305-312.
- 36) 永井由香, 糸井亜弥, 中山典子, 山本亜子, 川上純子, 荒川三奈代, 伊藤勝章, 木村みさか, 児童生徒の活動量と栄養摂取に関する調査 第6報. 京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要 (2000), **10**, 115-123.
- 37) 永井由香, 糸井亜弥, 小川雅子, 山本 功, 石谷葉津代, 野口和子, 荒川三奈代, 伊藤勝章, 岡山寧子, 木村みさか, 児童生徒の活動量と栄養摂取に関する調査 第7報. 京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要, (2000), **10**, 125-132.
- 38) 永井由香, 糸井亜弥, 山形容子, 高橋みゆき, 林潤子, 荒川三奈代, 伊藤勝章, 木村みさか, 児童生徒の活動量と栄養摂取に関する調査 第8報. 京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要, (2001), **10**, 241-248.
- 39) 三村寛一, 鉄口宗弘, 安部恵子, 舩屋 剛, 斎藤誠二, 吉田智美, 塩野祐也, 発育期における子どもの適正運動量測定システム及び運動プログラムの開発—ライフコーダを用いた小学生における一日の活動量—. 医科学応用研究財団研究報告, (2005), **2**, 85-91
- 40) 柴田真志, 鵜木秀夫, 土肥 隆, 松村浩貴, 神吉賢一, 運動習慣が子供の心臓自律神経活動動態および体温に及ぼす影響. *デサントスポーツ科学*, (2002), **23**, 97-101
- 41) 日本学校保健会. 平成12年度児童生徒の健康状態サーベイランス事業報告書, (2004)