

**Table 3 Amino acid composition of reference protein and various test intake**

	Reference protein (Egg protein composition) (mg/g protein)	Protein intake (g/kg BW/day)					
		0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4
Ala	61.4	30.7	43.0	55.3	61.4	73.7	86.0
Arg	75.1	37.6	52.6	67.6	75.1	90.1	105.1
Asn	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
Asp	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
Cys	22.1	11.1	15.5	19.9	22.1	26.5	30.9
Gln	56.6	28.3	39.6	50.9	56.6	67.9	79.2
Glu	56.6	28.3	39.6	50.9	56.6	67.9	79.2
Gly	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
His	22.7	11.4	15.9	20.4	22.7	27.2	31.8
Ile	62.8	31.4	44.0	56.5	62.8	75.4	87.9
Leu	83.3	41.7	58.3	75.0	83.3	100.0	116.6
Lys	75.7	37.9	53.0	68.1	75.7	90.8	106.0
Met	29.6	14.8	20.7	26.6	29.6	35.5	41.4
Phe	54.7	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6
Pro	41.9	21.0	29.3	37.7	41.9	50.3	58.7
Ser	83.9	42.0	58.7	75.5	83.9	100.7	117.5
Thr	47.1	23.6	33.0	42.4	47.1	56.5	65.9
Trp	15.6	7.8	10.9	14.0	15.6	18.7	21.8
Tyr	40.7	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0
Val	70.3	35.2	49.2	63.3	70.3	84.4	98.4

**Table 4 The protocol for each study day**

Time	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Exp. Diet <sup>a)</sup>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
<sup>13</sup> C-Phe <sup>b)</sup>					■	□	□	□	□	□	
NaH <sup>13</sup> CO <sub>3</sub> <sup>c)</sup>					◎						
Breath sample <sup>d)</sup>					◆◆	◆	◆	◆	◆◆	◆◆	◆

a) The experimental diet (○) was a omlet, uiro, and sucrose. The diet was provided hourly for 10 h.

Each meal was isocaloric and isonitrogenous and represented 1/12 of each subject's daily requirement.

b) Priming dose of <sup>13</sup>C-Phe was started at the 5th meal and continued hourly throughout the remaining 4 h of study. ■: 0.66 mg/kg BW. □: 1.20 mg/kg BW.

c) Priming doses of NaH<sup>13</sup>CO<sub>3</sub> was started at the 5th meal. ◎: 0.176 mg/kg BW.

d) Breath samples (◆) were collected at 13:00, 13:30, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 17:30, 18:00, 18:30, and 19:00.

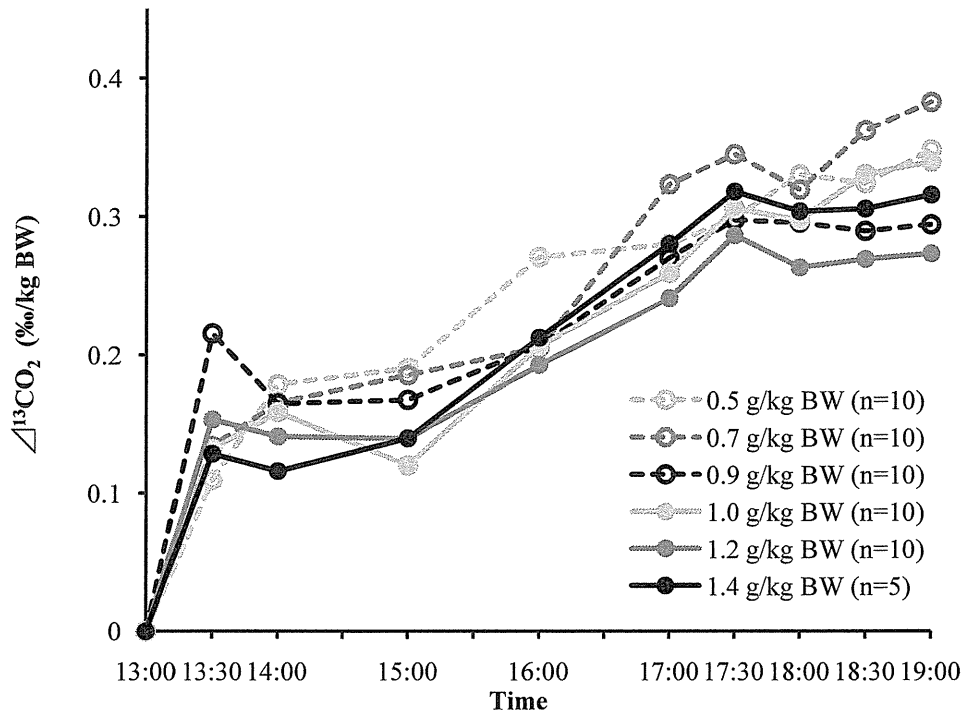


Figure 1 The effect of orally administered L-[1- $^{13}\text{C}$ ] phenylalanine as the breath  $^{13}\text{CO}_2$  enrichment of age 70-74

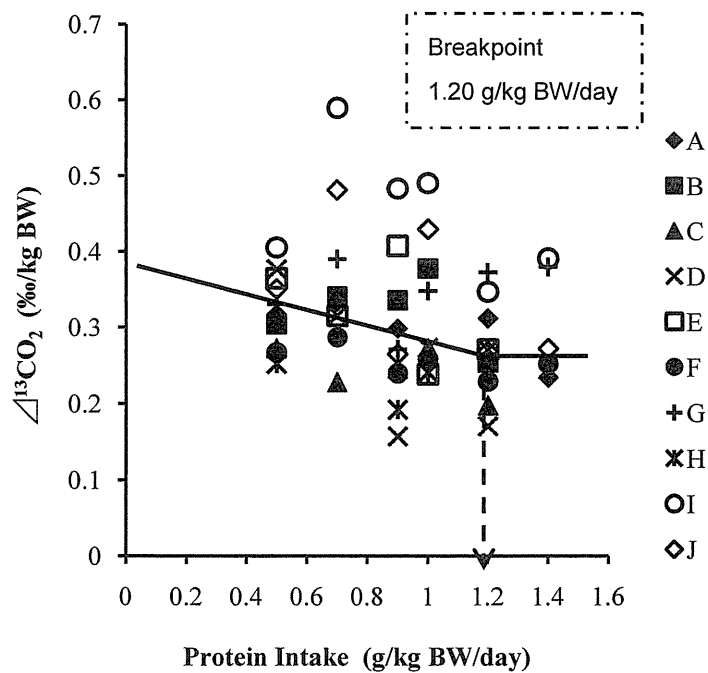


Figure 2 Relation between various protein intakes and the  $\Delta^{13}\text{CO}_2$  of appearance of orally administered L-[1- $^{13}\text{C}$ ] phenylalanine as the breath  $^{13}\text{CO}_2$  enrichment.

# 中学校3年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

## —首都圏郊外の中学生の追跡事例—

研究分担者 引原有輝 千葉工業大学 工学部 体育教室 准教授  
研究代表者 田中茂穂 独)国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 部長  
共同研究者 渡邊将司 茨城大学 教育学部 保健体育教室 准教授

本研究は、中学生を対象に、1年生から2年生ならびに2年から3年生の身体活動量および体力の経年変化について1年間の追跡研究により明らかにすることを目的とした。対象者は、茨城県水戸市の中学校に通う中学1年生40名および2年生55名の計95名(男子42名、女子53名)であり、日常生活を送る上で支障がなく、エネルギー代謝等に影響する疾患のない健康な生徒であった。なお、解析対象となった者は、1回目と2回目のすべての測定に協力した56名(男子:30名、女子26名)であった。本研究では3軸加速度計を用いて、休日を含む10日間、腰部に常時装着して身体活動量を評価した。また、体力は、最高酸素摂取量( $VO_{2peak}$ )を自転車エルゴメータによる多段階漸増負荷試験で測定した。呼気と吸気の流量および酸素濃度、二酸化炭素濃度をエアロモニタ(AE-310S)により breath-by-breath 法で計測した。さらに等速性筋力測定装置(Cyber770-NORM)により、右脚の膝関節の伸展筋力(角速度60度/秒)を測定した。調査の結果、1年生から2年生にかけては身体活動量、特に高強度に従事した時間が微増(3分)し、2年生から3年生にかけては、歩数が約4000歩およびMVPAに従事した時間が約40分減少したことが明らかになった。また、本調査は対象者が3年生時の部活動を引退した後に実施していることから、中学校期の生徒の身体活動量の多寡は部活動に強く依存していることがうかがい知れた。一方、体力は3年間にわたりほぼ横ばい状態であることや、身体活動量および体力における学年間の関係がいずれも有意な相関関係を示した。これらのことを勘案すると、中学校期を通じた生徒の身体活動量や体力の増大には、中学1年生の時点での運動習慣の定着や体力向上の取り組みが重要になると考えられる。

### A. 研究目的

子どもや青少年は通常、心臓病、高血圧、2型糖尿病や骨粗しょう症などの慢性疾患を発症するリスクは低いが、これらの疾患の危険因子は子ども時代に発症することがある(Twisk, 2001; U.S. Department of Health & Human Services, 2008; 竹中, 2010)。また、思春期にあたる子どもの体力や身体活動状況は成人期

にトラッキングするとの報告が複数あり、将来的な生活習慣病予防には、若年期からの身体活動や体力(特に、呼吸循環器系体力、筋力)の在り方が重要であるとする見方が強まっている。特に中学校期は、身長や骨格筋等の機能形態が著しく発達する思春期スパートと呼ばれる時期にあるだけでなく、小学校期と比べると通学時間、学習時間、部活動等による運動

時間等のライフスタイルにおいても変化が大きい時期にある(引原ら, 2007; 足立ら, 2013, 東京都教育委員会, 2013)ため, この学校期における子どもの身体活動量と体力の経年変化を把握することは, 生活習慣病の若年化を阻止するための重要な手掛かりとなる。これまでに中学生の身体活動量や体力について横断的調査した国内の調査報告は多くあるが, それらは生活習慣の調査が質問紙であること, 体力がフィールド測定であること, 同一の対象者を経年的に追跡していないことが特徴である。

そこで本研究は, 中学生を対象に, 1年生から2年生ならびに2年から3年生の身体活動量を加速度計により評価すること, また, 体力は最高酸素摂取量ならびに等速性脚伸展筋力を実測することとし, 中学校期の3年間における具体的な変化量について1年間の追跡研究により明らかにすることを目的とした。

## B. 研究方法

### 1. 対象者

対象者は, 茨城県水戸市にある中学校に通う中学1年生40名および2年生55名の計95名(男子42名, 女子53名)であり, 日常生活を送る上で支障がなく, エネルギー代謝等に影響する疾患のない健康な生徒であった。なお, 解析対象となった者は, 1回目と2回目のすべての測定に協力した56名(男子:30名, 女子26名)であった。対象者の身体特性は表1に, また対象者の追跡人数ならびに測定時期は図1に示す通りである。

### 2. 測定項目

#### 1) 身体活動量の測定

対象者には, 3軸加速度計である Active

Style Pro (HJA-350IT, オムロンヘルスケア, 京都)を, 休日を含む10日間, 腰部に常時装着してもらい身体活動量を評価した。装着の際は, 入浴や水泳, 睡眠時間等を除いて可能な限り装着するよう指示した。やむを得なく装着できなかった場合には, 所定の記録用紙に取り外していた時間とその際の活動内容を記録するよう指示した。この加速度計の特徴は, ダイナミックレンジが $\pm 6G$ で, 加速度分解能が $\pm 3mG$ であり, 鉛直方向, 前後方向, 左右方向の加速度を32Hzで記録することが可能である。また, 0.7 Hzでのハイパスフィルタ処理を施し, フィルタ処理前後の合成加速度の比を用いて「歩行活動」と「生活活動」を判別することも可能である。10秒間隔で算出された合成加速度から, 歩行活動, 生活活動を判別するとともに, それぞれの推定式から活動強度(METs)が算出される。また, 各強度に従事した活動時間は10秒間隔で記録されたデータを積算することにより求められ, 3METs未満の歩行活動と生活活動を合わせて「低強度の身体活動」, 3METs以上6METs未満の歩行活動と生活活動を合わせて「中強度の身体活動」, そして6METs以上の歩行活動と生活活動を合わせて「高強度の身体活動」にそれぞれ分類した。また, 加速度計によって得られた総エネルギー消費量を推定基礎代謝量で除した推定PALを算出した。さらに, 加速度計を用いて1日あたりの歩数も同時に測定した。

身体活動データを採用するにあたり, 装着時間の合計は平日が600分以上, 休日が480分以上であることとし, 装着日数は少なくとも平日2日, 休日1日の計3日あることを条件とした(Trost et al., 2005)。

#### 2) 呼吸循環器系体力

自転車エルゴメータ(MONARK 818,

MONARK, スウェーデン)を用いた多段階漸増負荷試験により最高酸素摂取量( $VO_{2peak}$ )測定した。対象者は測定中、トランスデューサをセットしたマスクを装着し、エアロモニタ(AE-310S, ミナト医科学株式会社, 大阪)を用いて breath-by- breath 法で呼気と吸気の流量および酸素濃度, 二酸化炭素濃度を同時計測した。なお,  $VO_{2peak}$  の評価基準は, 1) 1分時酸素摂取量( $VO_2$ )のプラトー現象が発現していること, 2) 年齢から推定される最高心拍数( $HR_{max}=220-\text{年齢}$ )にほぼ到達(90%以上)していること, 3) 呼吸交換比(Respiratory exchange ratio; R)が 1.1 以上であること, 4) 主観的運動強度(Rating of Perceived Exertion; RPE)が 19 以上であることの 4 項目のうち 2 項目以上満たしている場合とした(アメリカスポーツ医学会, 2011)。分析を行う際には, 体格差を考慮するために  $VO_{2peak}$  を体重で除した値( $VO_{2peak}/W$ )を採用した。

測定中は, RPE と心拍数の記録も同時におこなった。RPE は Borg によって提唱された Borg スケールを用いた。測定開始から終了までの間, 1 分毎に被験者に Borg スケールを提示し, 被験者の RPE を調査した。対象者には, 測定前に自身の疲労状態に適した数値または文字を指し示すよう説明をおこなった。心拍数は, 測定前に胸部に直接ハートレートセンサー(WearLink, ポラール, フィンランド)を装着し, 心拍計(RS300, ポラール, フィンランド)を用いて測定中の心拍数を 30 秒毎に記録した。

### 3) 筋力

等速性筋力測定装置(Cybex770-NORM, メディカ株式会社, 埼玉)を用いて, 右脚の膝関節の伸展筋力を測定した。角速度は 60 度/秒とした。膝関節の運動範囲は, 各対象者の最大伸展位(0 度)から最大屈曲位までに設

定した。対象者には, 測定が始まる前に映像を見せてやり方を説明し, 測定の直前には練習もおこなった。測定で発揮された膝関節伸展筋力のピークトルク値を最大発揮筋力として採用した。なお, 分析を行う際には, 対象者の体格差を考慮するために最大発揮筋力を体重で除した値( $Ex60/W$ )を採用した。

### 3. 倫理面への配慮

対象者ならびに保護者には, 実験の目的, 利益, 不利益, 危険性およびデータの管理や公表について, 事前に十分な説明を行い, 同意を得た上で測定を開始した。なお, この研究は, 独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会-疫学研究部会」の承認を得て実施した。

### C. 研究結果

1 回目と 2 回目の測定で得られた体力および身体活動の値を全体(表 2), 男女別(表 3), 学年別(表 4)にそれぞれ示した。対象者全体の 1 回目と 2 回目を比較したところ, PAL, 歩数, 中強度の身体活動および MVPA が 2 回目において有意に低値を示した。男女別にみると, 男子では PAL, 中強度の身体活動および MVPA において 1 回目に比べて 2 回目が有意に減少し, 女子では PAL, 歩数, 中強度の身体活動および MVPA が有意に減少した。学年別にみると, 1 年生から 2 年生では PAL および低強度活動に従事した時間が有意に減少する一方, 高強度活動に従事した時間が有意に増加した。また, 2 年生から 3 年生では PAL, 歩数, 中強度と高強度活動に従事した時間および MVPA に従事した時間が有意に減少した。なお,  $VO_{2peak}$  と等速性脚伸展筋力について

は男女ともに1回目と2回目の測定結果との間に有意差が認められなかった。

1年生(1回目)と2年生(2回目)における身体活動量の関係について検討した結果、低強度( $r=0.38$ )、中強度( $r=0.67$ )、高強度( $r=0.80$ )およびMVPA( $r=0.72$ )に従事した時間においてそれぞれ有意な相関関係が認められた。また2年生(1回目)と3年生(2回目)においても有意な相関関係が認められた(低強度: $r=0.46$ , 中強度: $r=0.57$ , 高強度: $r=0.81$ , MVPA: $r=0.66$ )。また体力においても、1年生と2年生の $VO_2\text{peak}$ ( $r=0.90$ )および脚伸展筋力( $r=0.77$ )においてそれぞれ有意な相関関係が認められ、2年生と3年生においても同様の傾向が認められた( $VO_2\text{peak}$ : $r=0.88$ , 脚伸展筋力: $r=0.77$ )。

#### D. 考察

東京都が実施した平成25年度の生活習慣等調査により、中学校期の体力(新体力テスト)や運動習慣(例えば、運動実施頻度や実施時間)の学年間差異を把握することができる。それによると、運動習慣においては、1年生から2年生にかけて運動実施頻度、実施時間ともに増加傾向にあり、2年生から3年生では逆に減少傾向にあることがわかる。残念ながら、これらの横断データからは実態や傾向は把握できるものの、具体的な数値やその個人差を知ることはできない。そこで、地域が特定されていることやサンプル数に限界があるものの、本研究の追跡データより、学年の進行に伴う具体的な身体活動の量的変化を明らかにすることができた。特に、2年生から3年生にかけて身体活動量が減少することは、部活

動からの引退や受験に向けた学習時間の増加によりある程度予想される結果ではあるが、歩数が約4000歩およびMVPAに従事した時間が約40分も減少したことは、留意すべき点である。特に、本研究では対象者が部活動を引退した後に測定を実施していることから、中学校期の生徒の身体活動量の多寡は部活動に強く依存していることがうかがい知れる。また、本研究の結果から、1年生から2年生では、身体活動量に「変化なし」あるいは「微増」という表現が相応しいが、個人ごとの変化を詳細に分析すると、MVPAに従事した時間が1年生時よりも減少(最小:4分減, 最大:56分減)している者の割合は、全体の62%に達する。その内10分以上減少した者は86%、20分以上減少した者は43%であった。この結果のみでは、身体活動量(運動習慣)の二極化を示す強い根拠とは成り得ないが、今後の調査では集団の平均値による実態の把握だけでなく、個人差についても併せて検討する必要がある。

一方、体力においては、 $VO_2\text{peak}$ および等速性脚伸展筋力ともに各追跡期間において有意な向上や低下は認められなかった。文部科学省や東京都の調査結果によると、一般的に学年が進行するに伴い、新体力テストのいずれの種目も向上する傾向にある。本研究の特徴は、実験室レベルでの $VO_2\text{peak}$ ならびに等速性脚伸展筋力(角速度60度/秒)を実測している点であるが、思春期スパートがみられる中学校期においてこれらの測定値に向上がみられない点は懸念されるべきことである。2年生から3年生の測定が対象となった者は、部活動の引退後に測定しているため、引退前と比較

して低下した可能性も否定できないが、表1のとおり身長や体重に発育がみられる中で、3年間を通じてこれらの体力がほぼ横ばいである実態は見過ごせないだろう。特に、VO<sub>2</sub>peakでは全体の50%が2年生時よりも低下(最小:0.6ml/kg減,最大:6.8ml/kg減)している。種目によるが、一般的に体力は17歳から18歳ごろにピークが迎えることが報告されているが、中学校期における体力向上の程度は、少なからずそのピーク値に影響を与えることは容易に推察できよう。また、図2から図5に示されるように、中学校期の3年間は、身体活動量ならびに体力は強く持ち越されることから、中学1年生の時点での運動習慣の定着や体力向上の取り組みが重要になるものと考えられる。特に、高等学校へ入学後の運動部等への加入率ならびに運動実施頻度は、中学校期に比べて男女ともに極端に減少することが文部科学省や東京都等の調査により明らかになっている。この点については、中学校期の体力レベルがその後の身体活動状況に影響を及ぼすことが複数の報告により示唆されている(Dennison et al., 1988; Glenmark et al., 1994; Huotari et al., 2011)ことから判断できるように、高等学校期に運動習慣を継続させるために中学校期の3年間に、体格の成長に伴った体力を向上させることが重要になると考えられる。

#### E. 結論

1年生から2年生にかけては身体活動量、特に高強度に従事した時間が微増(3分)し、2年生から3年生にかけては、歩数が約4000歩およびMVPAに従事した時間が約40分も減少したことが明らかになった。

一方、体力は3年間にわたりほぼ横ばい状態であることや、身体活動量と体力における学年間の関係がいずれも有意な相関関係にあることが明らかになった。これらの結果から、中学校期を通じた生徒の身体活動量や体力の増大には、中学1年生の時点での運動習慣の定着や体力向上の取り組みが重要になると考えられる。

#### F. 研究発表

##### 1. 研究論文

Park J, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Hikihara Y, Ohkawara K, Watanabe S, Miyachi M, Morita A, Aiba N, Tabata I. The relationship of body composition to daily physical activity in free-living Japanese adult men. *Br J Nutr.* 2014, 111:182-188.

Hikihara Y, Tanaka C, Oshima Y, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tanaka S. Prediction models discriminating between nonlocomotive and locomotive activities in children using a triaxial accelerometer with a gravity-removal physical activity classification algorithm. *PLoS One*, (accepted)

##### 2. 学会発表

なし

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

表1. 対象者の身体的特性

		全体 (N=56)	男子 (N=30)	女子 (N=26)	1→2年生 (N=35)	2→3年生 (N=21)
		平均 ±標準偏差	平均 ±標準偏差	平均 ±標準偏差	平均 ±標準偏差	平均 ±標準偏差
年齢 (歳)	1回目	13.25 ±0.57	13.31 ±0.60	13.20 ±0.54	12.94 ±0.41	13.76 ±0.43
	2回目	14.07 ±0.56	13.93 ±0.51	14.23 ±0.58	13.86 ±0.49	14.43 ±0.49
身長 (cm)	1回目	157.19 ±6.62	158.56 ±8.29	155.62 ±3.42	156.1 ±6.88	159.0 ±5.87
	2回目	160.17 ±6.72	163.33 ±7.29	156.53 ±3.47	159.5 ±7.04	161.3 ±6.15
体重 (kg)	1回目	47.67 ±7.09	48.59 ±8.78	46.50 ±4.33	46.24 ±6.49	50.04 ±7.55
	2回目	50.03 ±7.39	52.04 ±8.96	47.72 ±4.09	48.77 ±7.09	52.15 ±7.58
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	1回目	19.20 ±1.79	19.19 ±2.13	19.21 ±1.32	18.90 ±1.56	19.71 ±2.05
	2回目	19.42 ±1.84	19.39 ±2.26	19.45 ±1.22	19.10 ±1.70	19.96 ±1.98



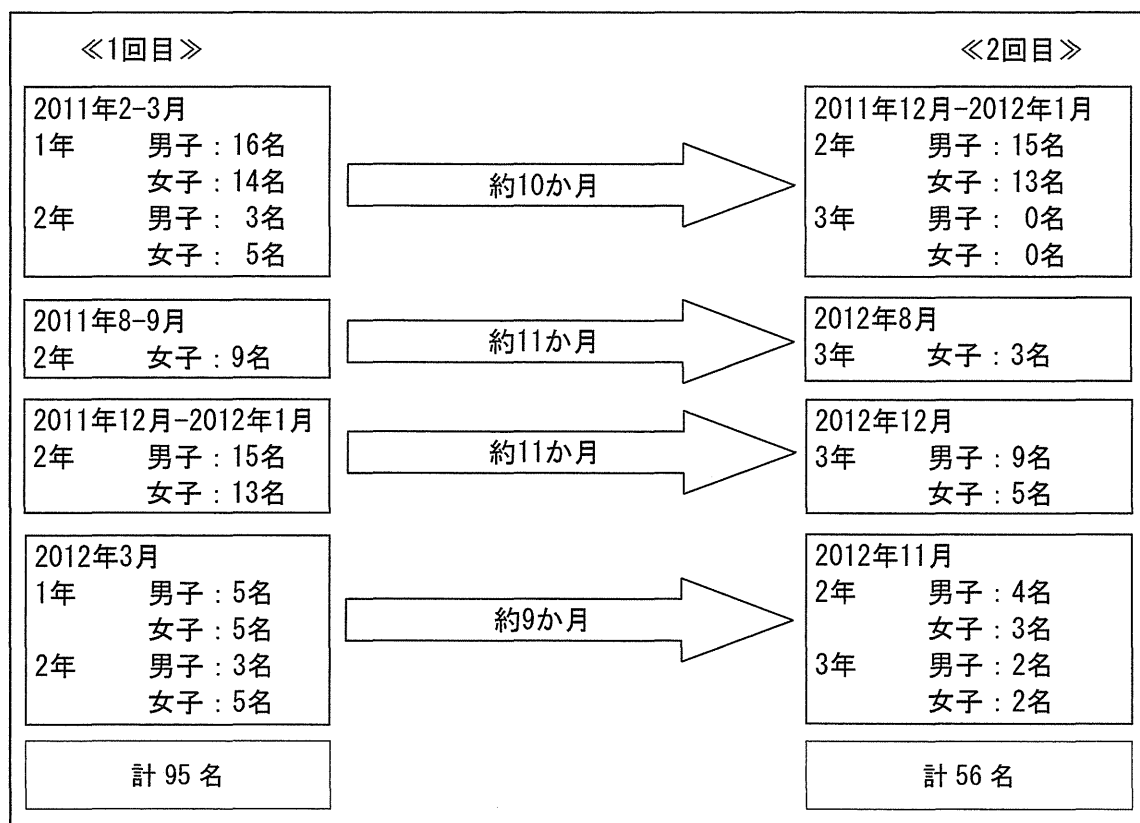


図1. 測定時期と対象者数（研究デザイン）

表2. 体力および身体活動の測定値

	全体 (N=56)	
	1回目 平均±標準偏差	2回目 平均±標準偏差
VO <sub>2peak</sub> /W (ml/kg/min.)	43.6±7.6	43.0±7.8
Ex60/W (Nm)	2.31±0.39	2.32±0.44
PAL (TEE/BMR)	1.84±0.13	1.75±0.15***
歩数 (歩/日)	10245±2680	8997±298**
低強度の身体活動 (分/日)	682±83	666±87
中強度の身体活動 (分/日)	103±26	90±27***
高強度の身体活動 (分/日)	13±10	12±9
MVPA (分/日)	116±33	102±34**

\*\*p<0.01      \*\*\*p<0.001

表3. 男女別の体力および身体活動の測定値

		男子 (N=30)	女子 (N=26)
		平均±標準偏差	平均±標準偏差
VO <sub>2peak</sub> /W (ml/kg/min.)	1回目	48.0±6.7	38.5±5.1
	2回目	47.4±6.7	38.0±5.6
Ex60/W (Nm)	1回目	2.45±0.39	2.15±0.32
	2回目	2.49±0.48	2.13±0.28
PAL (TEE/BMR)	1回目	1.87±0.11	1.79±0.14
	2回目	1.79±0.15***	1.71±0.14***
歩数 (歩/日)	1回目	10748±2236	9665±3058
	2回目	9869±3000	7991±2676**
低強度の身体活動 (分/日)	1回目	654±77	713±80
	2回目	632±76	704±83
中強度の身体活動 (分/日)	1回目	113±17	92±30
	2回目	99±26*	80±26*
高強度の身体活動 (分/日)	1回目	14±11	11±9
	2回目	15±10	9±7
MVPA (分/日)	1回目	127±23	103±38
	2回目	114±32*	88±32*

\*p<0.05 (vs. 1回目)      \*\*p<0.01 (vs. 1回目)      \*\*\*p<0.001 (vs. 1回目)

表4. 学年別の体力および身体活動の測定値

		1→2年生	2→3年生
		(N=35)	(N=21)
		平均±標準偏差	平均±標準偏差
VO <sub>2peak</sub> /W (ml/kg/min.)	1回目	43.3±8.0	44.0±7.2
	2回目	42.9±8.5	43.2±6.7
Ex60/W (Nm)	1回目	2.33±0.40	2.27±0.38
	2回目	2.30±0.47	2.37±0.38
PAL (TEE/BMR)	1回目	1.82±0.11	1.86±0.15
	2回目	1.78±0.14**	1.71±0.17***
歩数 (歩/日)	1回目	9353±2299	11732±2656
	2回目	9623±2945	7954±2809***
低強度の身体活動 (分/日)	1回目	707±74	640±82
	2回目	669±83**	660±95
中強度の身体活動 (分/日)	1回目	99±26	110±25
	2回目	95±27	82±27***
高強度の身体活動 (分/日)	1回目	10±8	18±11
	2回目	13±9**	10±9***
MVPA (分/日)	1回目	108±31	128±32
	2回目	108±33	92±35***

\*\*p<0.01 (vs. 1回目)

\*\*\*p<0.001 (vs. 1回目)

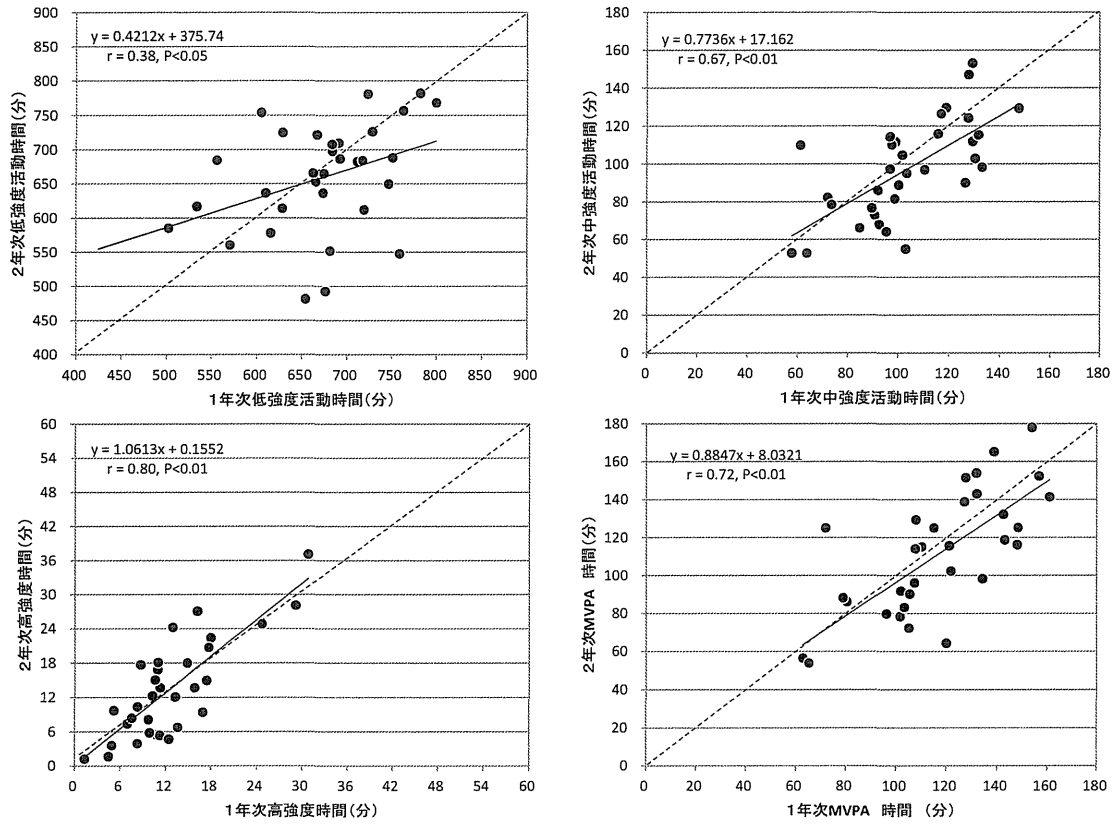


図 2. 1 年生と 2 年生における身体活動量の関係

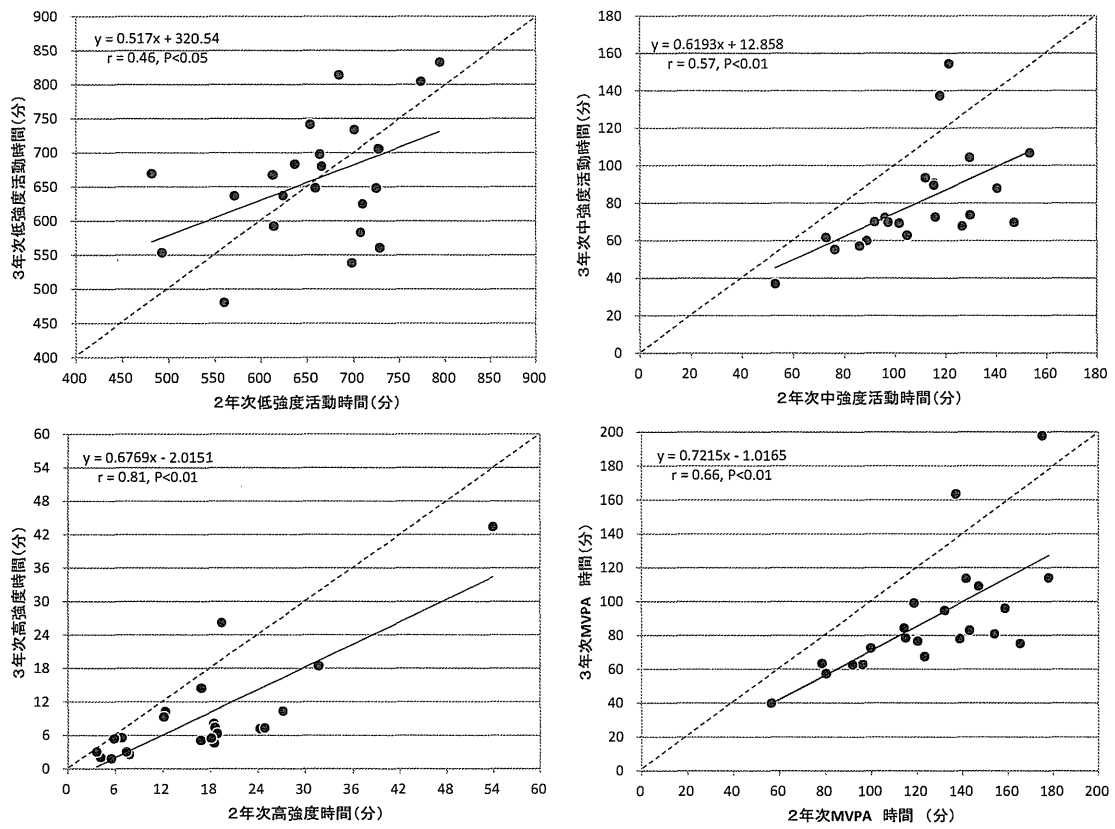


図 3. 2 年生と 3 年生における身体活動量の関係

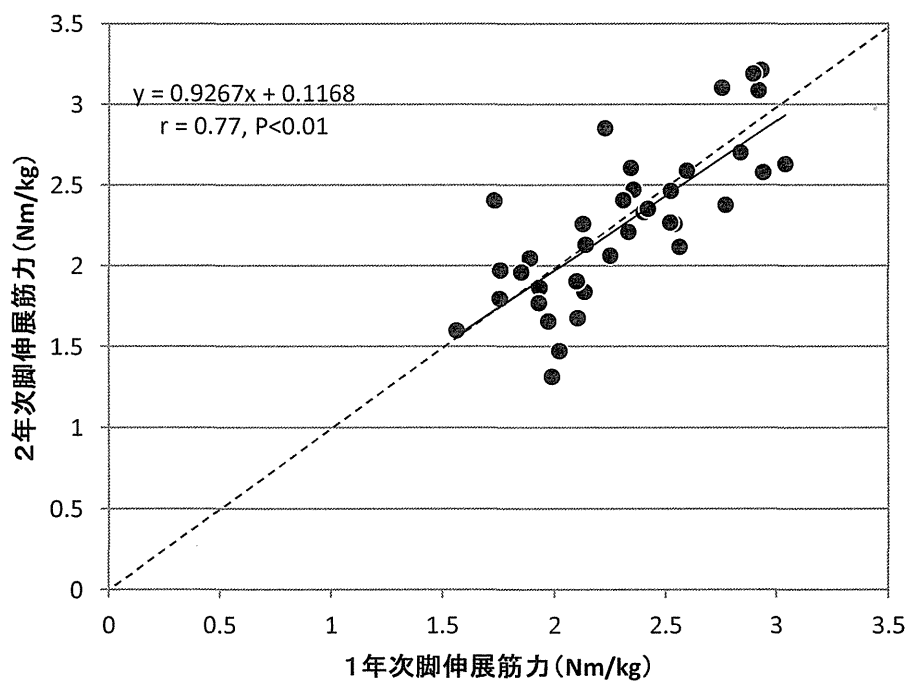
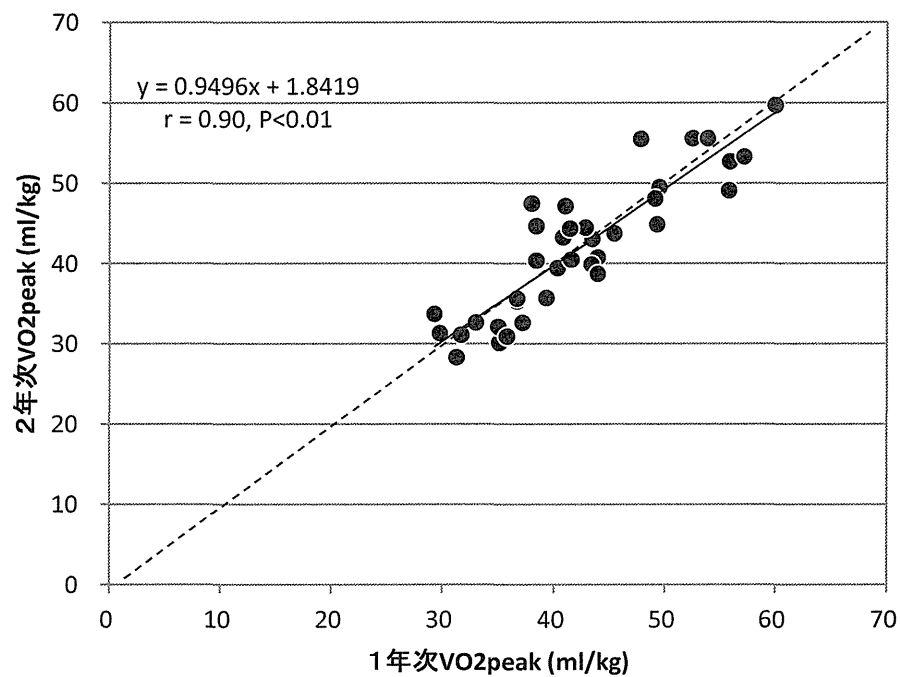


図 4. 1 年生と 2 年生における体力の関係  
 (上 : 呼吸循環器系体力, 下 : 等速性脚伸展筋力)

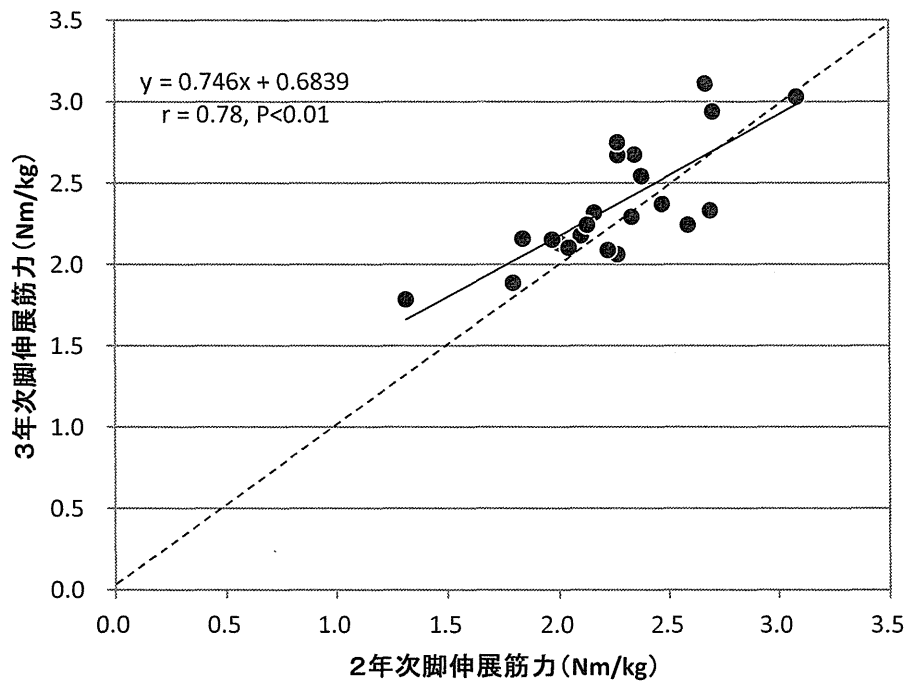
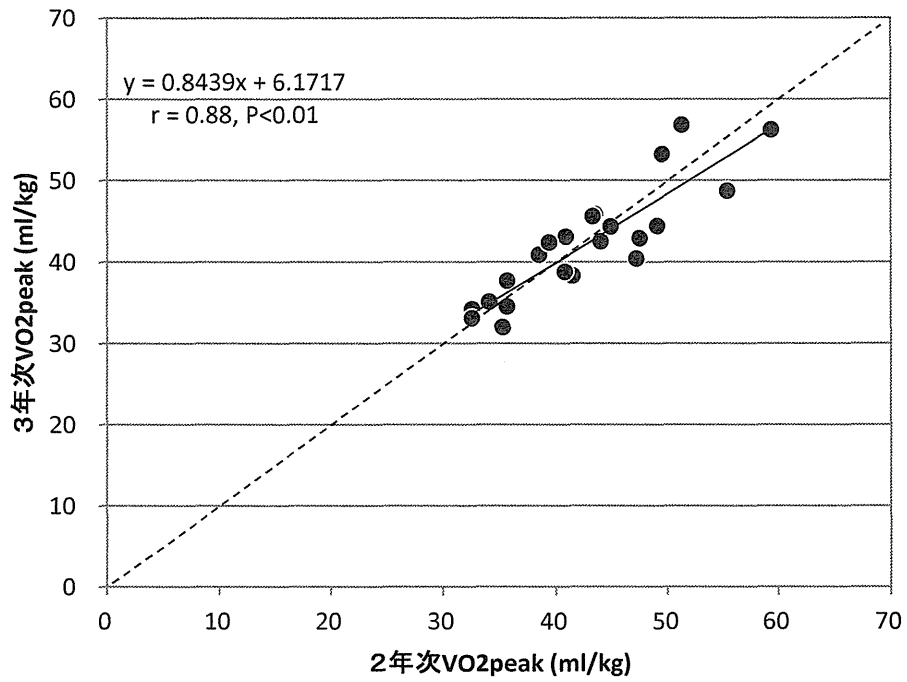


図5. 2年生と3年生における体力の関係  
 (上：呼吸循環器系体力，下：等速性脚伸展筋力)

### Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

#### 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

#### 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
<u>Ishikawa-Takata K</u> , Kaneko K, Koizumi K, Ito C	Comparison of physical activity energy expenditure in Japanese adolescents assessed by EW4800 P triaxial accelerometry and the doubly labeled water method	Br J Nutr	110	1347-1355	2013
Kaneko K, Ito C, Koizumi K, Watanabe S, Umeda Y, <u>Ishikawa-Takata K</u>	Resting energy expenditure (REE) in six- to seventeen-year-old Japanese children and adolescents	J Nutr Sci Vitaminiol	59	299-309	2013
Tanaka C, Fujiwara Y, Sakurai R, Fukaya T, Yasunaga M, <u>Tanaka S</u>	Locomotive and non-locomotive activities evaluated with a triaxial accelerometer in adults and elderly individuals	Aging Clin Exp Res	25	637-643	2012
Park J, <u>Ishikawa-Takata K</u> , <u>Tanaka S</u> , <u>Hikihara Y</u> , Ohkawara K, Watanabe S, Miyachi M, Morita A, Aiba N, Tabata I	The relationship of body composition to daily physical activity in free-living Japanese adult men	Br J Nutr	111	182-188	2014



#### IV. 研究成果の刊行物・別刷



## Comparison of physical activity energy expenditure in Japanese adolescents assessed by EW4800P triaxial accelerometry and the doubly labelled water method

Kazuko Ishikawa-Takata<sup>1\*</sup>, Kayoko Kaneko<sup>2</sup>, Kayo Koizumi<sup>2</sup> and Chinatsu Ito<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Health and Nutrition, 1-23-1 Toyama, Shinjuku, Tokyo 1628636, Japan

<sup>2</sup>Yokohama National University, 79-1 Tokiwadai, Hodogaya, Yokohama, Kanagawa 2408501, Japan

<sup>3</sup>Akita Nutrition Junior College, 46-1 Sakuramorisawa Shimokitate, Akita City, Akita 0108515, Japan

(Submitted 16 April 2012 – Final revision received 29 January 2013 – Accepted 29 January 2013 – First published online 2 April 2013)

### Abstract

The present study compared the accuracy of triaxial accelerometry and the doubly labelled water (DLW) method for measuring physical activity (PA) in Japanese adolescents. A total of sixty adolescents aged 12–15 years were analysed. The total energy expenditure (TEE) was measured over 7 d by the DLW method and with an EW4800P triaxial accelerometer (Panasonic Corporation). The measured (RMR<sub>m</sub>) and predicted RMR (RMR<sub>p</sub>) were 5.7 (SD 0.9) and 6.0 (SD 1.0) MJ/d, respectively. TEE measured by the DLW method and accelerometry using RMR<sub>m</sub> or RMR<sub>p</sub> were 11.0 (SD 2.6), 10.3 (SD 1.9), and 10.7 (SD 2.1) MJ/d, respectively. The PA levels (PAL) measured by the DLW method using RMR<sub>m</sub> or RMR<sub>p</sub> were 1.97 (SD 0.31) and 1.94 (SD 0.31) in subjects who exercised, and 1.85 (SD 0.27) and 1.74 (SD 0.29) in subjects who did not exercise. The percentage of body fat correlated significantly with the percentage difference between RMR<sub>m</sub> *v.* RMR<sub>p</sub>, TEE, PA energy expenditure (PAEE) and PAL using RMR<sub>p</sub>, and PAL using RMR<sub>m</sub> assessed by the DLW method and accelerometry. The present data showed that while accelerometry estimated TEE accurately, it did not provide the precise measurement of PAEE and PAL. The error in accelerometry was attributed to the prediction error of RMR and assessment in exercise.

**Key words:** Junior high school students: Total energy expenditure: Walking step counts: Sports

Data from the Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology in Japan show that the proportion of obese (more than 120% of standard body weight for height) Japanese junior high school students (aged 12–15 years old) is 9.37–10.99% in boys and 7.89–8.92% in girls, and that the proportion in boys has increased slightly over the last 20 years<sup>(1)</sup>. A change in physical activity (PA) may have effected this increase in the proportion of obesity, although data on PA in Japanese adolescents are limited.

The proportion of junior high school students participating in daily exercise increased from 1970 to 2000<sup>(2)</sup>. However, the PA level (PAL) and the amount of moderate-to-vigorous PA (MVPA) were not established in previous studies.

Studies of PA in Japanese adolescents often measured walking steps, as pedometers and accelerometers are very popular tools in Japan. These studies used uniaxial accelerometry to show that junior high school students walk 9450–15 428 steps/d on weekdays and 6375–15 517 steps/d on weekends<sup>(3)</sup>.

Only two studies have measured total PA using the doubly labelled water (DLW) method in Japanese children and adolescents. Hikiyama *et al.*<sup>(4)</sup> measured PA in high school baseball players (mean age 16.5 years, PAL 2.66), while Adachi *et al.*<sup>(5)</sup> measured PA in elementary school students (mean age 11.2 years, PAL 1.47). These studies simultaneously used uniaxial accelerometry, which is used widely in Japan. Hikiyama *et al.*<sup>(4)</sup> reported that total energy expenditure (TEE) measured by uniaxial accelerometry correlated strongly with DLW data ( $r$  0.73,  $P < 0.05$ ), but underestimated TEE (–35.3 (SD 3.6) %).

Subjective measurements are less preferable in children as a consequence of complex movement behaviour in young people and their inability to accurately recall the intensity, frequency and duration of activities<sup>(6)</sup>. Objective measurements using accelerometers are therefore required to evaluate PA<sup>(7,8)</sup>. Possible reasons for the limited data on PAL and MVPA in Japanese children are the lack of a validation

**Abbreviations:** ACC<sub>m</sub>, measured by accelerometry using measured RMR; ACC<sub>p</sub>, measured by accelerometry using predicted RMR; DLW, doubly labelled water; DLW<sub>m</sub>, measured by the doubly-labelled water method using measured RMR; DLW<sub>p</sub>, measured by the doubly-labelled water method using predicted RMR; TEE, total energy expenditure; MVPA, moderate-to-vigorous physical activity; PA, physical activity; PAEE, physical activity energy expenditure; PAL, physical activity level;  $r_{CO_2}$ , rate of CO<sub>2</sub> production; RMR<sub>m</sub>, measured RMR; RMR<sub>p</sub>, predicted RMR; TEE, total energy expenditure.

\*Corresponding author: K. Ishikawa-Takata, email kazu@nih.go.jp

study for accelerometry in children, and the higher cost of accelerometers compared with pedometers. Recently, Yamada *et al.*<sup>(9)</sup> found that a commercially available triaxial accelerometer (EW4800P; Panasonic Corporation) had relatively high accuracy for measuring PA in elderly Japanese subjects.

The objective of the present study was to evaluate the accuracy of EW4800P triaxial accelerometry for measuring PA in Japanese adolescents. This was achieved by comparing EW4800P data with PA measured by the DLW method.

## Experimental methods

### Participants

Subjects were recruited from one junior high school in Kanagawa Prefecture, near the Tokyo metropolitan area of Japan. Information on the study was sent to all students ( $n$  300), and the purpose, methods and risks of the study were explained to students and their parents. No exclusion criteria were used in the recruitment of the subjects. A total of eighty students and their parents submitted written informed consent. Due to incorrect urine sampling, two subjects (one boy and one girl) were not included in the calculation of TEE by the DLW method. In addition, one subject was excluded, as she had a fever during the experiment. The periods when the accelerometer device was not worn were assessed from the accelerometer data and records kept by the students when the device was attached or removed. Valid days were defined as a non-wear time of less than five waking hours/d. In order for data to be used in the study, subjects had to wear the accelerometer for more than four weekdays and one weekend day. Of the subjects, nineteen were excluded because of faulty accelerometry data (for the two subjects described above, TEE data measured by both DLW and accelerometry were faulty). The remaining sixty subjects were included in the final analysis of the present study. The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and all procedures involving human subjects were approved by the Ethics Committee of Yokohama National University (three of the authors attended this university when the study was conducted).

### Study schedule

Before the study period, anthropometric measurements, baseline urine sampling, dietary assessment and measurement of RMR ( $RMR_m$ ) were performed. TEE was then measured over 1 week by the DLW method ( $TEE_{DLW}$ ), with simultaneous collection of triaxial accelerometer data and completion of a simple PA record. The measurements were carried out from September 2006 to January 2007 depending on each student's schedule. Long vacations and periods of unusual PA, such as examination periods and special school events, were excluded from the experimental period.

### Doubly labelled water method

After providing a baseline urine sample, a single dose of approximately 0.06 g/kg body weight  $^2H_2O$  (99.8 atom%; Cambridge Isotope Laboratories) and 1.4 g/kg body weight  $H_2^{18}O$  (10.0 atom%; Taiyo Nippon Sanso), was administered orally to each subject. Subjects were then asked to collect urine samples immediately after arriving at school at the same time every morning over 1 week. On Saturday and Sunday, subjects collected urine samples at home at the same time as on school days. All samples were stored frozen at  $-30^\circ C$  in airtight parafilm-wrapped containers until analysis in our laboratory.

Gas samples for the isotope ratio mass spectrometer were prepared by equilibration of the urine sample with a gas. The gas used for equilibration of  $^{18}O$  was  $CO_2$  and  $H_2$  was used for  $^2H$  equilibration. A Pt catalyst (R1091830; Thermo Electron Corporation) was also used for the equilibration of  $^2H$ . The urine samples were analysed in a DELTA Plus isotope ratio mass spectrometer (Thermo Electron Corporation). Each sample and the corresponding reference sample were analysed in duplicate. Throughout the analysis, average standard deviations were 0.5 ‰ for  $^2H$  and 0.03 ‰ for  $^{18}O$ .

The  $^2H$  and  $^{18}O$  zero-time intercepts and elimination rates ( $k_H$  and  $k_O$ ) were calculated using least-squares linear regression of the natural logarithm of isotope concentration as a function of the time elapsed since dose administration. Zero-time intercepts were used to determine isotope pool sizes. The total body water was calculated as the mean value of the isotope pool size of  $^2H$  ( $N_d$ ) divided by 1.041 and that of  $^{18}O$  ( $N_o$ ) divided by 1.007. In the present study,  $N_d/N_o$  was 1.021 (SD 0.012) (range 1.000–1.055), which is within the recommended range for high-quality analysis<sup>(10)</sup>. The rate of  $CO_2$  production ( $r_{CO_2}$ ) was calculated as:

$$r_{CO_2} = 0.4554 \times TBW \times (1.007k_o - 1.041k_H),$$

where TBW is the total body water, and we assumed that isotope fractionation applied to both breath and transdermal water using equation (A6) from Schoeller *et al.*<sup>(11)</sup> with the revised dilution space constant of Racette *et al.*<sup>(12)</sup>. Calculation of  $TEE_{DLW}$  (kJ/d) was performed using a modification of Weir's formula based on the  $r_{CO_2}$  and mean food quotient of the subjects in the study<sup>(13,14)</sup>. The food quotient was calculated based on dietary data from a brief self-administered dietary history questionnaire for junior high and high school students<sup>(15)</sup>. The intake of protein, fat and carbohydrate assessed from this questionnaire correlated with data obtained from dietary records, with Pearson's correlation coefficients ranging from 0.38 to 0.68<sup>(16)</sup>. The mean food quotient of subjects in the present study was 0.87 (SD 0.02), which is very similar to the values of 0.87 (SD 0.03) for Japanese adults<sup>(17)</sup> and 0.86 (SD 0.04) for elderly Japanese subjects<sup>(9)</sup>.  $TEE_{DLW}$  was expressed as mean  $TEE_{DLW}$  per d over the study period. However, we did not adjust  $TEE_{DLW}$  for the time at which the accelerometer was not worn, as the non-wear time was minimal in all the study subjects. PA energy expenditure (PAEE) was calculated as  $(TEE_{DLW} \times 0.9 - RMR)$  using both  $RMR_m$  ( $PAEE_{DLWm}$ ) and predicted RMR ( $RMR_p$ ,  $PAEE_{DLWp}$ ),

assuming that dietary-induced thermogenesis accounted for 10% of  $TEE_{DLW}$ . PAL was calculated as  $TEE_{DLW}$  divided by  $RMR_m$  or  $RMR_p$  ( $PAL_{DLWm}$ ,  $PAL_{DLWp}$ ). Fat-free mass was calculated as the proportion of water in fat-free mass and was determined to be 74.5% for boys and 75.5% for girls<sup>(18)</sup>.

### Triaxial accelerometry

A triaxial accelerometer (EW4800P; Panasonic Corporation) was secured at the waist by a rubber belt throughout the period of DLW measurements. Details on the accelerometer and its accuracy in elderly Japanese have been reported in a study by Yamada *et al.*<sup>(9)</sup>. The accelerometer measures  $60 \times 35 \times 13$  mm and weighs 24 g. It has a linear frequency response with a low-pass filter, and samples acceleration at 20 Hz with a range from zero to two times the acceleration of gravity. The device stores the standard deviation of the vector norm of the composite acceleration ( $Km$ ) in three dimensions each minute as follows:

$$Km = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \left( \sum_{i=0}^n X_i^2 + \sum_{i=0}^n y_i^2 + \sum_{i=0}^n z_i^2 \right) - \frac{1}{n} \left\{ \left( \sum_{i=0}^n x_i \right)^2 + \left( \sum_{i=0}^n y_i \right)^2 + \left( \sum_{i=0}^n z_i \right)^2 \right\} \right]}$$

where  $n$  is the number of data for 1 min ( $n$  1200), and  $\sum x$ ,  $\sum y$ , and  $\sum z$  are the sums of the acceleration in three directions over 1 min. Data were not rounded off for storage of  $Km$ .

Subjects were asked to wear the accelerometer for the whole day except when sleeping, bathing or swimming. If subjects took the accelerometer off due to difficulty in wearing it during contact sports, or if they forgot to attach it, they were asked to record the time of removal and the duration and

type of PA carried out while not wearing the accelerometer. A commercially available accelerometry software (EW48001; Panasonic Corporation) was used to calculate the total energy expenditure measured by the accelerometer using  $RMR_p$  ( $TEE_{ACCp}$ ), walking steps and duration of light PA (less than 3 metabolic equivalents), moderate PA (3–6 metabolic equivalents) and vigorous PA (6 metabolic equivalents or more). The metabolic equivalent intensity levels of physical activities were calculated using the simple linear regression of  $Km$  and  $O_2$  consumption<sup>(19)</sup>. MVPA was calculated as the sum of moderate PA and vigorous PA. The commercially available software incorporated  $RMR_p$  calculated using standard values to calculate  $TEE_{ACCp}$  that were obtained for the Japanese population from the dietary reference intake in Japan<sup>(20)</sup>. PAEE assessed by accelerometry ( $PAEE_{ACCp}$ ) was calculated as  $TEE_{ACCp} \times 0.9 - RMR_p$ .  $PAL_{ACCp}$  was calculated as  $TEE_{ACCp} / RMR_p$ . In the present study, we also calculated each value using raw accelerometry data and  $RMR_m$  by the same equations used in the commercially available software ( $TEE_{ACCm}$ ,  $PAEE_{ACCm}$  and  $PAL_{ACCm}$ ).

### RMR

Before the study period, subjects were asked to come to school at 08.00 hours after an overnight fast. After 30 min of rest,  $RMR_m$  was measured using an indirect calorimeter with a hood (AR-1; Arco System) at an environmental temperature between 22 and 25°C. This system involved a steady state being established 3 min after the starting of collecting respiratory gas, with the accuracy of RMR measured by this system being 0.02%<sup>(21)</sup>. Subjects were placed under a transparent plastic hood that covered their heads and that was connected to the system. After the child had adapted to the hood for 5 min, RMR was measured for 20 min.  $O_2$  consumption and  $CO_2$  production were measured at 1 min intervals and averaged over 6–20 min. Resting status was confirmed by measuring the body temperature and the heart rate.

**Table 1.** Anthropometric characteristics of the study subjects (Mean values and standard deviations)

	n	Age (years)		Height (cm)		Weight (kg)		Body fat (%)		TEE <sub>DLW</sub> (MJ/d)		RMR <sub>m</sub> (MJ/d)		PAL <sub>DLWm</sub>	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Grade 1															
Boys	12	12.7	0.7	158.3	10.7	48.1	10.7	22.6	6.1	11.9	2.9	5.9	1.0	1.98	0.26
Girls	7	12.1	0.4	152.9	7.5	40.6	8.4	24.6	6.9	9.1	1.3	4.8	0.5	1.93	0.29
Grade 2															
Boys	10	13.6	0.5	164.1	9.1	51.7	6.0	13.3	9.3	13.8	2.1	6.6	0.9	2.10	0.31
Girls	12	13.5	0.5	155.0	4.5	43.4	3.6	23.5	2.5	9.1	1.4	5.1	0.4	1.78	0.23
Grade 3															
Boys	10	14.6	0.8	163.3	9.4	52.4	4.4	17.0	4.4	11.7	1.9	6.4	0.5	1.83	0.32
Girls	9	14.0	0.0	156.1	5.9	46.1	4.5	24.9	4.6	9.8	2.0	5.2	0.3	1.87	0.32
P															
Grade				0.003		0.098		0.027		0.331		0.037		0.472	
Sex				<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		0.142	
Grade × sex				0.708		0.900		0.096		0.111		0.777		0.115	

TEE<sub>DLW</sub>, total energy expenditure measured by the doubly labelled water method; RMR<sub>m</sub>, measured RMR; PAL<sub>DLWm</sub>, physical activity level measured by the doubly labelled water method.