

中学生の身体活動レベルを決定する要因の検討

—首都圏郊外の中学校の事例—

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、首都圏郊外に位置する中学校の生徒の身体活動レベル(PAL)を求め、首都圏の中学校との比較を行うこと、さらに活動量計や質問紙を併用し、中学生のPALを決定するための要因について検討することを目的とした。対象者は、茨城県水戸市にある中学校に通う中学1年生および2年生、男女39名(男子20名、女子19名)であった。また、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。対象者の総エネルギー消費量(TEE)ならびに基礎代謝量(BMR)の測定には、それぞれ二重標識水(DLW)法とダグラスバッグ法を用いた。TEEの測定期間は8日間とし、その同一期間に3次元加速度センサを内蔵した活動量計を腰部に装着させた。活動量計から評価されたMETsをActivity level 1~8の強度に区分し、さらにActivity level 3~5をModerate activity、Activity level 6~8をVigorous activityとし、それらに要した時間を求めた。また、両者を合計した中高強度時間(MVPA)も求めた。また、対象者には、測定期間中、所定の生活記録用紙に基づいて、測定期間中の起床時から就寝時までの生活活動内容について記入すること、ならびに生活習慣に関する質問紙に回答することを依頼した。首都圏郊外の中学校に通う39名の生徒の平均PALは、 1.77 ± 0.16 であった。また、平均歩数は、 9066 ± 2437 歩であった。各活動強度区分に要した時間は、Moderate activityで 103 ± 26 分、Vigorous activityで 11 ± 8 分、MVPAで 114 ± 31 分であった。PALと活動量計から得られた各強度区分に要した時間との関係について検討した結果、男女とも、Activity level 4以上との間に有意な相関が認められた。また、学校部活動への参加回数と身体活動量との関係を検討した結果、歩数、Active level 4からActive level 8、Moderate activity、Vigorous activity、MVPAに要した時間との間にそれぞれ有意な相関が認められた。結論として、中学生のPALはMVPAに要した時間との関係が強く、それは主に休み時間の過ごし方や学校部活動への参加状況に起因する可能性が示唆された。

A. 研究目的

「日本人の食事摂取基準(2005年版)」で初めて二重標識水(Doubly labeled water:DLW)法に基づいた日本人の身体活動レベル

(Physical activity level:PAL)の区分が提示され、2010年版で初めて日本人の子ども(小学生)のデータが引用された。しかしながら、引用対象となった研究の対象者数はわずか12

名であり、2015年版に向けて小中学生のDLW法に基づく身体活動レベルの提示が大きな課題となっている。金子および古泉が平成21年度の報告書(2009)ならびに第66回日本体力医学会(2011)において首都圏(横浜市)の中学校に通う生徒80名を対象に、PALが 1.85 ± 0.28 であったことを報告している。そこで本研究は、首都圏郊外に位置する中学校の生徒のPALを求め、首都圏の中学校との比較を行うこと、さらに活動量計や質問紙を併用し、中学生のPALを決定するための要因について検討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年生および2年生、男女39名(男子20名、女子19名)であった。また、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。対象者の身体特性はTable 1に示す通りである。

2. 実験手順

対象者には、実験室に早朝空腹条件下で入室してもらった。初めに、身体計測を実施した後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量のDLWを経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、10分間の基礎代謝量を2回測定した。対象者は中学校の協力のもと8日間にわたり、登校後すぐに教室にて7回の採尿を行った。採取したすべての尿サンプルは、その場で回収された。また、対象者には採尿期間と同一期間において活動量計を常時装着させた。入浴や水泳、睡眠以外を除き、可能な限り装着するように指示した。やむなく装着できな

かった場合には、所定の記録用紙に脱着時刻ならびに活動内容を記録するように指示した。これらの記録用紙は、登校後の採尿時に記録漏れ等がないかを確認した上で回収した。

3. 二重標識水法

対象者に体重の60%と仮定した体水分量(Total body water: TBW) 1kgあたり、0.13gの重水(およそ99.9atom%)と2.5gの18酸素水(およそ10.0atom%)を混合して作られたDLWを経口投与した。また、ベースライン尿、第1日目、2日目、3日目、5日目、7日目、8日目および9日目の計8回の尿(1回あたり20ml)を所定の採尿瓶に採取させた。ベースライン尿は実験室に入室した際に採取し、残りの7回は登校後すぐに採尿し、教室にて回収した。また、登校前に自宅で完全排尿するように指示した。登校後の採尿時刻については検者が確認した上で記録した。採取したすべての尿の同位体濃度は、(独)国立健康・栄養研究所の同位体比質量分析計によって測定された。得られた各サンプルの同位体濃度の減少率から所定の算出式(Ishikawa-Takata et al., 2008)を介して測定期間中の1日あたりの総エネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)を算出した。

4. 基礎代謝量(Basal metabolic rate: BMR)

対象者に仰臥位での安静状態を30分間保持させた後、ダグラスバッグを用いて10分間の呼気を2回採取した。採取した呼気の酸素濃度および二酸化炭素濃度をガス濃度分析計(AR-1, Arco System Inc., Chiba, Japan)により測定した。また、呼気量を乾式ガスメータ(DC-5, SHINAGAWA Co., Ltd., Tokyo, Japan)により測定した。測定値は2回の平均値とし、

Weir(1949)の式を用いてBMRを算出した。

5. 身体活動レベル(Physical activity level: PAL)の算出

PALは年齢、性別、体組成を補正して身体活動の程度を評価するための国際的な指標の1つである。本研究では、DLW法により求めたTEEをBMRで除してPALを求めた。

6. 活動量計による身体活動評価

測定可能範囲が $\pm 6G$ で、加速度分解能が $3mG$ である3次元加速度センサを内蔵したオムロンヘルスケア社製活動量計 Active style Pro(サイズ: $W80mm \times D20mm \times H50mm$ 、重さ(バッテリー含む): $60.7g$)を測定期間中、常時装着させた。この活動量計は、 $32Hz$ で鉛直、前後、左右の加速度を検知でき、重力加速度を取り除くためにハイパスフィルター処理した後、3軸の合成加速度を算出することが可能である。また、歩行・走行活動か歩行・走行以外の活動であるかを判別した後、歩行・走行かあるいは歩行・走行以外の式を用いて10秒ごとの平均合成加速度(mG)からMETs(メッツ)を求めることができる。計測されたMETsは、活動レベル1~8に強度区分した。区分の方法は、 $1.00 \sim 1.99METs$ の活動はActivity level 1とし、 $2.00 \sim 2.99MET$ の活動はActivity level 2とした。同様の手続きで、Activity level 8までに区分し、それらの区分に要した合計時間を求めた。なお、Activity level 8は、 $8.00METs$ 以上の活動に要したすべての時間を含めた。本研究では、これらの活動強度の区分に加え、Activity level 0、すなわち、加速度反応がなかった時間から生活活動記録に基づいた睡眠時間を差し引いた時間とActivity level 1に要した時間の和をSedentary activityとして、

Activity level 3~5をModerate activityとして、Activity level 6~8をVigorous activityとして区分した。また、Activity level 3以上に要した時間をMVPA(moderate to vigorous physical activity)として扱った。

7. 生活活動記録および質問紙による生活習慣調査

対象者には、所定の生活記録用紙に基づいて、測定期間中の起床時から就寝時までの生活活動内容について記入を依頼した。記録用紙の回収は、測定者が対象者から直接受け取り、不明な点はその場で確認するようにした。記録用紙は、学校のある「平日用」と学校がない「休日用」を準備した。「平日用」の生活記録用紙には、時刻や時間帯を記入する項目および自由記述する項目で構成されている。時刻や時間帯を記入する項目は、起床時刻、食事時刻、活動量計装着時刻、就寝時刻クラブ活動ならびに体育授業の実施時間である。自由記述の項目では、1日の行動についてその内容と実施開始時刻と終了時刻を記入することや、休み時間の過ごし方について記入する内容などが含まれている。一方、「休日用」の生活記録用紙は、1日の行動内容について明記し、その行動開始時刻と終了時刻を記入するのみの形式とした。

また、対象者には、生活習慣に関する質問紙に回答するよう依頼した。主な質問内容は、「通学手段および所要時間(自己記入方式)」、「休み時間の過ごし方(複数選択肢のうち上位2つを選択)」、「運動系部活動か文化系部活動であるか(2者択一)」、「学校部活同以外の習い事(内容、頻度)について(自己記入方式)」、「1日のスクリーンタイム(TV、ゲーム、携帯、PC)について(自己記入方式)」などである。

8. データ処理

活動量計により計測された各日のデータを採用する条件として、1日600分以上の装着していることとした。また、装着、非装着の判定は、20分以上連続して信号が見られない場合は非装着と判定した。上記の条件を満たす日が、少なくとも平日2日、休日1日ある者を解析の対象とした。

9. 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

首都圏郊外の中学校に通う39名の生徒の平均PALは、 1.77 ± 0.16 であった。また、平均歩数は、 9066 ± 2437 歩であった。各活動強度区分に要した時間は、Sedentary activityで 687 ± 80 分、Moderate activityで 103 ± 26 分、Vigorous activityで 11 ± 8 分、MVPAで 114 ± 31 分であった (Table 2)。

PALと活動量計から得られた各強度区分に要した時間との関係について検討した結果、男女とも、Activity level 4以上との間に有意な相関関係が認められた。また、男女ともに強度が高くなる従って、PALとの相関関係も強くなる傾向が認められた (Table 3)。さらに、活動量計から得られた各強度区分に要した時間の相関行列より、Activity level 6以上の時間を多く有している者は、Activity level 1に要した時間が少なく、

Activity level 4や5に要した時間は多いことが明らかになった (Table 4)。

生活活動記録ならびに生活習慣に関する質問紙に基づいて、学校部活動への参加回数 (回/週)、習い事への参加回数 (回/週) ならびに通学時間とPAL、歩数、各強度区分に要した時間との関係を検討した結果、参加回数 ($r=0.447$) ならびに習い事への参加回数 ($r=0.399$) とPALとの間にそれぞれ有意な相関関係が認められた (Table 5)。一方、学校部活動への参加回数と、歩数、Activity level 4からActivity level 8、Moderate、Vigorous、MVPAに要した時間との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた (Table 5)。

日常生活に関する質問紙の結果に基づき、「運動系部活動に所属する者」と「文化系部活動に所属する者」、「スクリーンタイムが70以内の者 (平均時間以下の者)」と「71分以上の者 (平均時間以上の者)」とで、それぞれ群分けしPALを比較したが、両群間に有意差は認められなかった (Figure 1)。しかしながら、休み時間の過ごし方について、「体を動かす遊びや運動を行う者」と「教室で静かに過ごす者」とで群分けしPALを比較したところ、両群間に有意差 (1.87 vs. 1.69) が認められた (Figure 1)。

D. 考察

本研究の目的は、DLW法を用いて首都圏郊外の中学校に通う生徒のPALを評価し、すでに報告済みの首都圏の中学校との比較すること、ならびに中学生のPALを決定する要因について検討し、今後の調査対象を絞りこむための基礎情報を得ることであった。

首都圏郊外の中学校のPAL (1.77 ± 0.16)

は、首都圏の中学校の PAL (1.85±0.28) と比較して、やや低値を示したものの統計的な有意差は認められなかった。

また、本研究では PAL と活動量計により評価された各強度区分に要した時間との関係から、PAL に寄与する活動は MVPA であり、その中でもより Vigorous activity

(Activity level 6 : 6METs 以上) の時間の多いことが PAL に寄与することが明らかになった (Table 3)。また、この結果は男女ともに認められた (Table 3)。一般的に Vigorous activity に要した時間は、主に学校部活動、体育授業、休み時間の遊び、スポーツの習い事などによるものと想像できるが、この Vigorous activity は Activity level 4 (r=0.696) や Activity level 5 (r=0.847)、あるいは Moderate activity (r=0.627) に要した時間との相関も強い。したがって、中学生の MVPA の個人差は、主として学校部活動への参加状況や、休み時間の過ごし方、学校後の習い事の内容などによって決定されているのではないかと考えられる (Table 4)。すなわち、スポーツや遊びを行う場面では、激しい動きと比較的緩やかな動きの繰り返しが多く、これらの活動を積極的に行う子どもは、Vigorous と Moderate activity を同時に増やしていると考えてよいのかもしれない。この解釈は、1 週間の学校部活動への参加回数と、PAL や Active level 4 以上の各強度区分に要した時間との間にそれぞれ有意な相関があることを示した Table 5 の結果や、休み時間の過ごし方によって PAL に有意差が生じる可能性を示した Figure 1 の結果からも支持されうるだろう。ただし、本研究では、運動系部活動群と文化系部活動群では PAL に有意差が認められなかった。文化

系部活動に所属していた人数は 7 名と少数であり、そのうち 5 名が比較的活動量が多いと予想される吹奏楽部に所属していたことが、PAL に群間差が生じなかった原因ではないかと推察される。

一方、通学時間や下校後の活動である習い事への参加回数なども MVPA に寄与するかと予想されたが、Table 5 や Figure 1 で示す通り、本研究の解析結果からは関連性が認められなかった。特に、習い事については、水泳、テニス、剣道、少林寺拳法、キックボクシングといった運動系の習い事に通う者はわずか 7 名であり、多くの者が、塾やピアノといった座位中心となる習い事であった。さらに、運動系の習い事は、活動内容によって活動量計の装着を回避している時間帯があったことを生活活動記録により伺い知ることができた。これらことから、習い事の参加回数のみでは、MVPA の個人差が生じる要因には至らず、その活動内容や実施時間の把握が必要となるのかもしれない。

近年、肥満との関連が報告されている Sedentary activity ならびに、その中でも象徴的な活動時間とされるスクリーンタイムと PAL との関係を検討したが、有意な関係は認められなかった (Table 3、Figure 1)。

以上の結果を包括的に解釈すると、中学生の PAL を決定する要因として、休み時間の過ごし方や、放課後の学校部活動への参加状況が考えられ、通学時間や下校後の活動は個人差を生じさせる要因には至らない可能性が考えられた。この解釈については、金子および古泉 (2011) の報告とは一致していない点である。しかしながら、金子および古泉 (2011) は、通学時間が長いと放

課後の部活動への参加時間が減少し、それがPALに影響していると結論づけており、その意味では本研究の解釈と一致する。

本研究結果は、PALの個人差に影響を及ぼす要因を明らかにしたことで、今後の中学生のデータを収集するための手がかりを得ることができたが、1つの中学校を事例的に調査したにすぎない。そのため、今後の課題として、学校部活動の実施時間、通学手段（例えば自転車通学あり）、休み時間や下校後の過ごし方に注目し、これらの活動において、これまでに対象となった2つの中学校とは大きく異なる可能性を有した対象校での検討が必要である。

E. 結論

本研究は、DLW法を用いて首都圏郊外の中学校に通う生徒のPALを評価し、中学生のPALを決定する要因について検討した。

その結果、首都圏郊外の中学校に通う生徒の平均PALは、 1.77 ± 0.16 であった。中学生のPALはMVPAに要した時間との関係が強く、それは主に休み時間の過ごし方や学校部活動への参加状況に起因する可能性が示唆された。

F. 研究発表

1. 学術論文

Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of three accelerometers for measurement of physical activity intensity during nonlocomotive activity and locomotive movement. *Journal Physical Activity Health*, 2012, 9:935-943.

Ohkawara K, Hikihara Y, Matsuo T,

Melanson EL, Hibi M. Variable factors of total daily energy expenditure in humans. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 2012, 1:389-399.

Tanaka C, Hikihara Y, Ohkawara K, Tanaka S. Locomotive and non-locomotive activity as determined by triaxial accelerometry and physical fitness in Japanese preschool children. *Pediatric Exercise Science*, 2012, 24:420-434.

大島秀武、引原有輝、大河原一憲、高田和子、三宅理江子、海老根直之、田畑泉、田中茂穂、加速度計で求めた「健康づくりのための運動基準 2006」における身体活動の目標値（23 メッツ・時/週）に相当する歩数、*体力科学*、2012、61:193-199.

2. 学会発表

Hikihara Y, Midorikawa T, Ohta M, Tanaka S. Validity of Triaxial Accelerometer for Assessment of Total Energy Expenditure in Primary School Children against Doubly Labeled Water Method, *European College of Sports Science*, 2012, Bruges.

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

Table 1 対象者の身体特性

項目	単位	全体		男子		女子	
		Mean	± SD	Mean	± SD	Mean	± SD
年齢	yrs	13.0	± 0.6	12.9	± 0.6	13.0	± 0.5
身長	cm	157.1	± 6.9	158.2	± 9.0	155.9	± 3.7
体重	kg	47.2	± 7.8	48.5	± 9.4	45.9	± 5.7
体脂肪率	%	19.7	± 6.7	16.8	± 6.9	22.7	± 4.9

Table 2 エネルギー消費量ならびに身体活動量の測定結果

項目	単位	全体			男子			女子		
		Mean	±	SD	Mean	±	SD	Mean	±	SD
BMR	kcal	1432	±	237	1575	±	244	1283	±	100
TEE	kcal	2532	±	472	2764	±	481	2288	±	321
PAL	TEE/BMR	1.77	±	0.16	1.76	±	0.17	1.78	±	0.16
歩数	step	9066	±	2437	9636	±	2260	8432	±	2531
Sedentary activityに要した時間	min	687	±	80	648	±	82	731	±	50
Moderate activityに要した時間	min	103	±	26	115	±	24	89	±	21
Vigorous activityに要した時間	min	11	±	8	13	±	8	10	±	7
MVPAに要した時間	min	114	±	31	128	±	29	99	±	26

BMR; basal metabolic rate

TEE; total energy expenditure

Sedentary activity; Activity level 0(加速度信号なし)の時間から睡眠時間を差し引いたものにActivity level 1の時間を加算

Moderate activity; Activity level 3 to 5

Vigorous activity; Activity level 6 to 8

MVPA; moderate to vigorous physical activity

Table 3 身体活動レベルと活動量計から求めた各身体活動強度に要した時間との関係

	Activity level 1	Activity level 2	Activity level 3	Activity level 4	Activity level 5	Activity level 6	Activity level 7	Activity level 8	Sedentary activity	Moderate activity	Vigorous activity	MVPA
全体 (39)	0.146	0.075	0.062	0.442	0.600	0.611	0.564	0.570	-0.127	0.347	0.612	0.436
女子 (19)	-0.270	-0.315	0.361	0.480	0.489	0.470	0.562	0.479	0.081	0.478	0.514	0.517
男子 (20)	-0.069	-0.005	-0.076	0.544	0.786	0.764	0.607	0.675	-0.291	0.380	0.719	0.503

Activity level 1; 1.00 to 1.99METs

Activity level 2; 2.00 to 2.99METs

Activity level 3; 3.00 to 3.99METs

Activity level 4; 4.00 to 4.99METs

Activity level 5; 5.00 to 5.99METs

Activity level 6; 6.00 to 6.99METs

Activity level 7; 7.00 to 7.99METs

Activity level 8; 8.00METs<

Sedentary activity; Activity level 0(加速度信号なし)の時間から睡眠時間を差し引いたものにActivity level 1の時間を加算

Moderate activity; Activity level 3 to 5

Vigorous activity; Activity level 6 to 8

MVPA; moderate to vigorous physical activity

太字の数値は統計的に有意 ($P < 0.05$) な関係を示す

太字と四角の囲いの数値は、統計的に有意 ($P < 0.01$) な関係を示す

Table 4 活動量計による各強度区分に要した時間の相関行列

	Activity level 1	Activity level 2	Activity level 3	Activity level 4	Activity level 5	Activity level 6	Activity level 7	Activity level 8	Moderate activity	Vigorous activity
Activity level 1		ns	ns	-0.474	-0.415	-0.375	-0.434	-0.439	-0.416	-0.427
Activity level 2			0.773	0.498	0.358	0.375	0.379	ns	0.699	0.320
Activity level 3				0.567	0.395	0.381	0.348	ns	0.851	ns
Activity level 4					0.861	0.761	0.754	0.621	0.907	0.696
Activity level 5						0.947	0.842	0.751	0.782	0.847
Activity level 6							0.909	0.861	0.719	0.939
Activity level 7								0.909	0.681	0.950
Activity level 8									0.537	0.979
Moderate activity										0.627
Vigorous activity										

Activity level 1; 1.00 to 1.99METs

Activity level 2; 2.00 to 2.99METs

Activity level 3; 3.00 to 3.99METs

Activity level 4; 4.00 to 4.99METs

Activity level 5; 5.00 to 5.99METs

Activity level 6; 6.00 to 6.99METs

Activity level 7; 7.00 to 7.99METs

Activity level 8; 8.00METs<

Moderate activity; Activity level 3 to 5

Vigorous activity; Activity level 6 to 8

ns; not significant

数値は、統計的に有意 ($P < 0.05$) な関係を示す

太字の数値は統計的に有意 ($P < 0.01$) な関係を示す

Table 5 学校部活動、習い事への参加回数および通学時間と身体活動量との関連について

	PAL	walk count	Activity level 1	Activity level 2	Activity level 3	Activity level 4	Activity level 5	Activity level 6	Activity level 7	Activity level 8	Sedentary activity	Moderate activity	Vigorous activity	MVPA
学校部活動への参加回数 (回/週)	0.447	0.425	-0.159	0.178	0.291	0.496	0.540	0.491	0.448	0.463	-0.369	0.481	0.487	0.517
習い事への参加回数 (回/週)	0.399	0.109	-0.122	-0.008	-0.073	0.023	0.191	0.263	0.149	0.233	0.019	0.013	0.246	0.068
通学時間(分)	0.093	0.125	-0.013	-0.032	-0.105	0.027	-0.038	-0.027	0.065	0.149	0.300	-0.048	0.070	-0.026

PAL; physical activity level

Activity level 1; 1.00 to 1.99METs

Activity level 2; 2.00 to 2.99METs

Activity level 3; 3.00 to 3.99METs

Activity level 4; 4.00 to 4.99METs

Activity level 5; 5.00 to 5.99METs

Activity level 6; 6.00 to 6.99METs

Activity level 7; 7.00 to 7.99METs

Activity level 8; 8.00METs<

Sedentary activity; Activity level 0(加速度信号なし)の時間から睡眠時間を差し引いたものにActivity level 1の時間を加算

Moderate activity; Activity level 3 to 5

Vigorous activity; Activity level 6 to 8

MVPA; moderate to vigorous physical activity

太字の数値は統計的に有意($P<0.05$)な関係を示す

太字と四角の囲いの数値は、統計的に有意($P<0.01$)な関係を示す

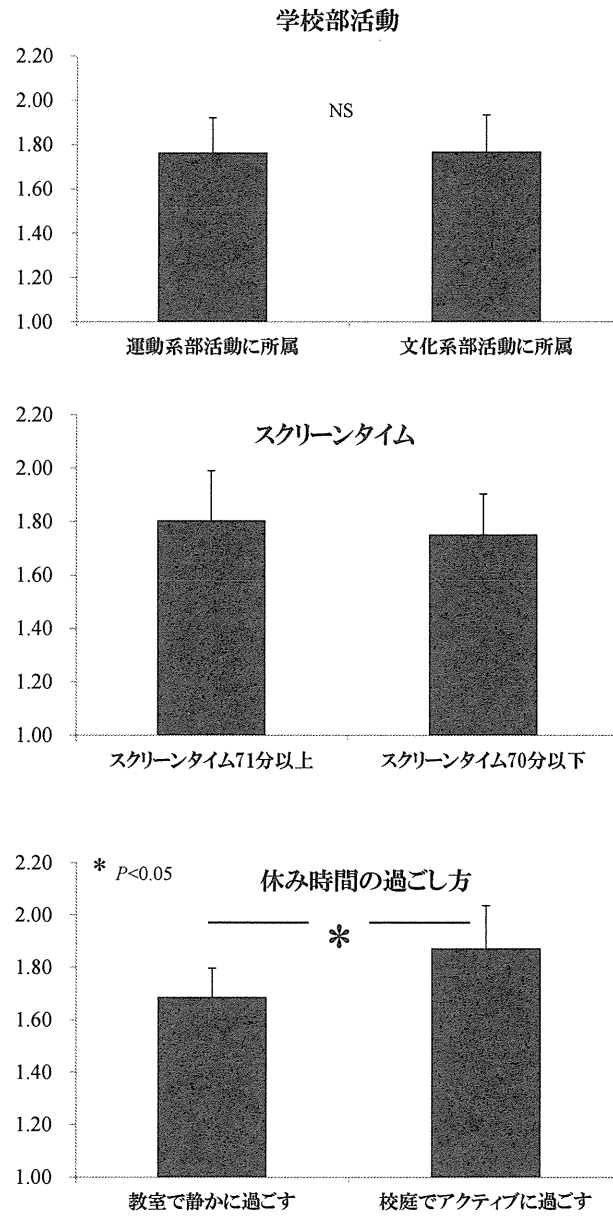


Figure 1 日常生活状況の違いによる身体活動レベルの比較

子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

研究分担者 海老根直之 同志社大学 スポーツ健康科学部 准教授

研究協力者 中江悟司 (独) 国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 特別研究員

「日本人の食事摂取基準」において示される各種栄養素の基準値は、可能な限り科学的根拠に基づく策定を行うこととなっており、系統的レビューの手法を用いて、国内外の学術論文ならびに入手可能な学術資料を最大限に活用することを基本としている。本研究は、幼児の推定エネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を目的とした。

国際データベース (PubMed)、国内データベース (医中誌 Web) を活用し、18歳までの年齢に限定して文献収集を行い、加えて、データベースに掲載されていない学術論文についても探索・収集した。

PubMed を活用したキーワード検索の結果、2008年1月から2013年2月の期間に公表がなされ、幼児が対象に含まれている文献は16篇確認された。内容の精査を行ったところ、幼児ならびに幼児を含む対象者で、一日の総エネルギー消費量 (TEE) と身体活動レベル (PAL) が共に掲載されている原著論文が4篇存在した。しかし、いずれの論文も2010年版レビューにおける算入基準を満たしてはいなかった。幼児の TEE のみを報告している文献としては、4篇の原著論文が確認された。なお、日本人幼児・小児を対象に二重標識水 (DLW) 法を用いた研究は国際データベース上には確認されなかった。

国内データベースを用いた検索においても、過去5年間、日本人幼児または小児を対象に DLW 法を用いた研究論文は存在しなかったが、データベースに依存しない情報収集の結果、日本人低身長児 (5.2±0.5歳, 8名) を対象に実施された TEE と PAL の結果を含む論文が和文学術雑誌にて出版待ちであることが確認された。

幼児を対象に、実測 BMR から求められる PAL を報告する文献は新規に発見されなかった。このため、反映されるデータの数をエビデンスの強さと考えて基準値策定を行うのであれば、従来型の BMR×PAL から推定エネルギー必要量を求める方法ではなく、例えば、体重あたりの TEE 基準値を示すアプローチの方が、特にデータの少ない幼児のエネルギー基準値策定の際には有効ではないかと考えられた。

A. 研究目的

エネルギーの食事摂取基準には、推定エネルギー必要量という概念が用いられており、「日本人の食事摂取基準」において、性別、年齢区分ごとの基準値が示されることで、各種フィールドにて適切な食事量を導き出すために活用されている。

推定エネルギー必要量は、可能な限り科学的根拠に基づいた策定を行うことを基本としており、系統的レビューの手法を用いて、国内外の学術論文ならびに入手可能な学術資料を最大限に活用することを基本としている。このため、日本人のデータが十分に存在しない場合には、当該分野の先進諸国の基準値を睨みつつ、これらを構築しているエビデンスを採用して策定が行われている。

幼児から成人、高齢者まで示される推定エネルギー必要量は、対象者の性別・年齢・体格要因を加味するための基礎代謝量(BMR)と身体活動量の指数である身体活動レベル(Physical activity level: PAL)の積によって求められている。このため、推定エネルギー必要量を導き出すためには、BMRとPALのそれぞれについて、性別、年齢区分ごとの代表値を決めるためのエビデンスが必要となる。PALについては、日常生活でのエネルギー消費量の0 正確な測定を実現する二重標識水(DLW)法によって求められる一日の総エネルギー消費量(TEE)を、同一被検者で測定されたBMRで除した値がエビデンスとされている。

しかしながら、子ども、特に5歳未満の幼児については、日本人に限定せずとも実測データが十分に存在しない問題がある。2010年版の策定に向けてワーキンググループが発足した2008年9月の時点で実施された子ども

のPALに関するシステマティックレビューでは、子どものPALのエビデンスを構成する文献、32報の内、日本人の小児を対象とする論文はわずか1報のみであった。さらに幼児については、日本人を対象として測定されたPALのデータは存在せず、欧米人の基準値と同一のエビデンスにてPALの代表値を決定せざるを得なかった。幼児については、世界的にもデータが希少で、5歳未満については、DLW法でTEEを求めつつBMRの実測データを報告する論文が存在せず、BMRの推定値を用いて便宜的にPALを算出したデータも許容する形で基準値を示す事となった。

本研究では、『日本人の食事摂取基準2010年版』の公表以降に報告された論文を文献データベースで検索することで幼児の推定エネルギー必要量をより強固なものとするためのエビデンスとなり得るデータを収集することを目的とした。また、可能な限りエビデンスを増やすため、国内研究者のネットワークを駆使してデータベースに掲載されていない情報についても収集を行うこととした。

B. 情報収集の方法

1. 国際データベース

文献データベース『PubMed』を用いて、“DLW or (doubl* label* water)”をキーワードに検索を行い、フィルター機能を用いて“Child: birth-18 years”に検索結果を限定した。

2. 国内データベース

和文で公表された文献ならびに日本人を調査の対象としている文献を探し出す目的で、国内医学論文情報のインターネット検索サー

ビスである『医中誌 Web』を活用し“二重標識水”ならびに“基礎代謝”をキーワードに検索を行い、アブストラクトを精査することで関連文献を探索した。

3. その他の方法

国内の DLW ユーザーネットワークを足がかりに、日本人小児を対象とした調査でありながら、データベース検索でヒットしない文献ならびに公表待ちとなっている論文についての情報収集を行った。

C. 研究結果

1. 国際データベース

検索の結果、2008年1月から2013年2月（最終検索日：2013年5月10日）の期間に公表がなされた18歳以下の小児を対象とした文献は、69篇であった。さらに、PubMedのフィルター機能（Preschool Child:2-5 years）を用いて、そのうち幼児が対象に含まれている文献16篇について内容を精査した。

日常生活を行っている幼児（被検者5名以上）の TEE ならびに PAL のデータが共に掲載されている論文は4篇存在した。Corderら（2009）による原著論文は、TEE（ 6535 ± 1114 kJ/day）に加え、安静時エネルギー消費量（REE）から求められた PAL [1.67 ± 0.2 (SD)] のデータを包含している（ 4.9 ± 0.7 歳、4-5 歳の27名）。しかしながら、REEの測定条件は食後2時間、事前の仰臥位安静10分とBMRとはみなせない。Ojiamboら（2012）の原著論文は、ヨーロッパ4カ国の幼児と小学生49名（ 6.9 ± 1.5 歳、4-10 歳）を対象として TEE（ 6.6 ± 1.2 MJ/day）と PAL（ 1.5 ± 0.1 、範囲：1.2-1.8）

を報告している。しかし、PALの分母であるBMRはSchofield（1985）の推定式により算出されている。なお、本論文は先に公表されたBammannら（2011）の原著論文に掲載された一部データを2次利用しているが、TEEとPALについては共用されていない。

1篇の原著論文が過去の論文データ（Rush et al., 2003）の2次利用により幼児と小児の混成集団の TEE と PAL を報告している（Rush et al., 2010）。過去の報告と比較しても、男子51名、女子40名と例数は多いが、複数の人種をひとまとめとした解析を行っている。また、当該グループの2003年の報告については、REEの測定をランチの1-3時間経過後に行っているため、2010年版においてエビデンスとして採択されていない。

2010年版レビューにおける幼児・小児のデータの算入基準としては、PALの分母としてBMRの実測値が条件と定められ、そのようなデータが存在しない5歳未満についてのみ推定BMRを許容するものであった。この条件と照らし合わせた場合、上記3篇のデータは、いずれも採択されないことになる。

なお、Butteら（2010）の原著論文では、TEE（ 2153 ± 625 kcal/day）と PAL（ 1.54 ± 0.16 、範囲：1.30-2.08）が報告されており、BMRの測定条件もクリアしているものの、5歳から18歳までを総計したデータであるため、幼児のデータとして採択するのは難しい。

この他、幼児の TEE を報告している文献として、4篇の原著論文が確認された（Jackson et al., 2009; Djafarian et al.,

2010; Walker et al., 2012; Collins et al., 2013) . また, 検索結果には乳児を対象に TEE を測定した原著論文も 1 篇含まれていた (Gondolf et al., 2012) .

国際データベースで検索可能な文献には, 日本人幼児・小児を対象に DLW 法を用いた研究は確認されなかった.

2. 国内データベース

ヒットした件数が少ないことから, アブストラクトから関連文献の探索を行ったが, 日本人幼児または小児を対象に DLW 法を用いた新規の研究論文の該当はなかった.

一方, 日本人幼児の REE を測定した研究 2 篇が確認された. Nishimoto ら (2012) は, フード法を用いて低身長児の REE に着目した研究を実施し, 健常児対照群 (6.3±2.2 歳, 男子 6 名, 女子 7 名の計 13 名) の値も同時に報告している. もう 1 篇 (Shimizu-Fujiwara et al., 2012) は, 疾患児を対象として実施された調査であり, エネルギー必要量策定のエビデンスとすることは難しい.

なお, 2007 年に Hikiyara らが *International Journal of Sport and Health Science* に発表した原著論文は, スポーツ選手群と年齢を一致させた非トレーニング群の TEE と実測 BMR から求められた PAL を報告している. 非トレーニング群 (8 名) の年齢は 18.6±0.5 歳であり, 小児もしくは成人のエビデンスとして採択できる可能性がある.

3. その他の方法

ここまでに実施したデータベース検索でヒットしない文献であるが, 山田ら (2012, 京都滋賀体育学研究) の和文原著論文では,

陸上競技部に所属する小・中学生 (12.3±0.6 歳, 男子 7 名, 女子 5 名の計 12 名) を対象に, DLW 法で求められた TEE が報告されている.

査読審査が完了し, 公表待ちとなっている論文に関する情報収集も行った. 大阪府立母子健康総合医療センターのグループによる, 日本人低身長児 (5.2±0.5 歳, 男子 4 名, 女子 4 名の計 8 名) を対象に, TEE を DLW 法, BMR をフード法で実測することで PAL を取得した論文が日本栄養・食糧学会誌への掲載が決定している.

D. 考察

DLW 法で TEE を調査した研究のうち, 国内外を問わず幼児の PAL, 幼児を含んだ PAL を報告している研究は, 直近の 5 年間にわたりわずか 4 篇にとどまった. しかも, 厳密な観点から言えば, これらの報告は 2010 年版のシステムティックレビューの算入基準を満たしていない. 例えば, Corder ら (2009) の示した PAL は, 分母が条件の緩い REE (食後 2 時間経過後, 仰臥位, 事前安静 10 分間) であることから, 過小評価されていることが懸念される.

DLW 法については, 幼児を対象とした場合においても正確度と精密度が保証されている一方で, ダグラスバッグ法やフード法に代表される間接熱量測定法については, 成人を対象とする場合とは異なる困難さが存在する. このため, 測定の対象である個体の真値が得られたと自信を持って判定することは容易ではない. 即ち, 幼児・小児を対象とした場合には早朝の空腹時に仰臥位覚醒状態で代謝測定を行う事自体が困難であり, 測定手続が身体的・精神的な刺激となるため安静状態の保持も容易ではない. 例えこれら視覚的に確認可能な問題点がクリアさ

れた測定であっても、子どもの換気量は少なく、各種測定法が有する弱点に抵触せずに測定が完了できたと判断するには、事前・事後の慎重な検討が必要となる。

費用が掛かるうえ分析の難易度も高い DLW 法での TEE 測定に加え、正確な BMR の実測結果を期待する 2010 年版策定時のエビデンス算入基準は、かなり厳格なものであったが、採択できるデータ数が限定されることで、かえって不安定な基準値を生み出してしまっていた危険性は認識しなければならない。実際、2010 年版の策定から5年が経過したにもかかわらず、幼児の PAL の代表値を得るために採択できる文献は我々の確認した限り存在しなかった。

過去、DLW 法の普及期においては、年齢区分毎の TEE や PAL が記載された論文が数多く報告されていた。しかしながら、本研究を通じて検討された直近5年間の文献においては、1つの論文の中に複数の年齢区分の代表値が示されるケースは、実に1例のみであり、比較的幅広い年齢の被検者らを1つの集団と捉えているケースが多く見られた。10 年程度時代を遡ると、DLW 法を利用した調査は新規性が高く、特定集団の TEE や PAL のデータのみでも原著論文となるだけの十分な価値が存在した。しかし、時代が進み、現在では研究目的を達成するための1つの測定法、測定値として位置づけられるに至っている。これが背景となり、幼児や小児を対象とする際には、測定が難しく、大きな労力が必要となる BMR や REE の測定は同時に行

われなくなっているように見受けられる。今後、この傾向はより顕著になると思われ、PAL のエビデンスが増加しないことが懸念される。

これらを改善する目的で、特にエビデンスの限られている幼児においては、従来型の BMR を介して推定エネルギー必要量を得る方法ではなく、DLW 法で測定された TEE の結果に重きを置き、体重当たりのエネルギー必要量基準値を示す手法を採択した方が、背景となるエビデンスが増加することで、より安全な推定エネルギー必要量を示せる可能性があるのではないだろうか。特に5歳以下では PAL は「レベル II (ふつう)」しか設定されておらず、身体活動量を考慮して策定されているとはいえない。今後この点については積極的な検討と議論が必要と思われる。また、日本人研究者にあっては、エビデンスが薄い幼児・小児を対象として、より積極的な調査を実施していく努力が求められるのは間違いない。

E. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

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
<u>田中茂穂</u>	エネルギー代謝の加齢変化	高石昌弘監修、樋口満・佐竹隆編著	からだの発達と加齢の科学	大修館書店		2012	98-111

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>Hikihara Y</u> , Tanaka S, <u>Ohkawara K</u> , <u>Ishikawa-Takata K</u> , Tabata I	Validation and comparison of three accelerometers for measurement of physical activity intensity during nonlocomotive activity and locomotive movement	J Physical Activity Health	9	935-943	2012
<u>Ohkawara K</u> , <u>Hikihara Y</u> , Matsuo T, Melanson EL, Hibi M	Variable factors of total daily energy expenditure in humans	J Phys Fitness Sports Med	1	389-399	2012
田中千晶、 <u>田中茂穂</u>	日本人勤労者の日常の身体活動量における歩・走行以外の身体活動の寄与	体力科学	61	435-441	2012
大島秀武、 <u>引原有輝</u> 、大河原一憲、 <u>高田和子</u> 、三宅理江子、 <u>海老根直之</u> 、 <u>田畑泉</u> 、 <u>田中茂穂</u>	加速度計で求めた「健康づくりのための運動基準2006」における身体活動の目標値(23メッツ・時/週)に相当する歩数	体力科学	61	193-199	2012
<u>田中茂穂</u>	エネルギー消費量の構成成分と肥満	成人病と生活習慣病	42(5)	527-531	2012
<u>Tanaka S</u>	Status of physical activity in the Japanese population	J Phys Fitness Sports Med	1(3)	491-497	2012

三宅理江子, <u>田中茂穂</u>	エネルギーを知る・運動を知る —その関係と仕組みを学ぶ— 4 基礎代謝の推定式について	臨床栄養	121(7)	786-790	2012
Hibi M, Ando T, <u>Tanaka S</u> , Tokuyama K	Human calorimetry: energy expenditure and substrate utilization measurements using a respiratory chamber	J Phys Fitness Sports Med	2(1)	93-99	2013
Tabata I, <u>Ebine N</u> , Kawashima Y, <u>Ishikawa-Takata K</u> , Tanaka S, Higuchi M, Yoshitake Y	Dietary Reference Intakes for Japanese 2010: Energy	J Nutr Sci Vitaminol	59(Supplement)	S26-S35	2013

IV. 研究成果の刊行物・別刷