４歳児の身体活動：我々は教育プログラムの相違による身体活動の相違を検出できるか

白水重憲[1)]、白水鋭子[2)]、瀬野ゆめか[3)]、藤谷しのぶ[3)]
正木健雄[4)]、菅野久信[5)]

要旨：小さな子どもでも覚醒時の身体活動（PA）及び心拍数と睡眠挙動を連続して25時間測定できる小型(40×30×8mm)軽量(14g)のECGと3軸加速度の測定装置(M-BIT)を開発した。幼稚園の教育プログラムの相違が子どものPAを変化させる事を確認し、子どものPAに影響を与える他の因子を明らかにする為に、ある幼稚園の4歳児を2回、子どもたちに与えるようにデザインされたPAが大きな日と普通の日に（LとN）測定した。

全体的には、Lではmoderate-to-vigorous physical activity（MVPA、中強度活動)とvigorous physical activity（VPA、高強度活動)で過ごす時間の割合が有意に大きく、対応して、sedentary PAで過ごす割合が有意に小さかった。また、従来の報告と比してsedentary PAの割合が小さくlight PAの割合が大きかった。１時間毎に求めた、子ども達が 中強度活動及びVPAで過ごした時間の割合を比較する事で、教育プログラムの効果、外遊びの重要性と天候の影響の大きさが明らかになった。更に、各PAカテゴリーでの心拍数を明らかにし、ある程度の長さの中強度活動、高強度活動の継続が心肺機能の発達の為に重要である事が判った。

キーワード： 身体活動、幼稚園児、教育プログラム、METs、ウェアラブルデバイス

1.　序論

世界の学校年齢の子どもの10%が余分な体脂肪を持っており、慢性病になるリスクが増加している[1]。現在、子どもの肥満は公衆衛生における増加中の危機といわれている[1]。

合衆国では、この数十年子どもの肥満率はロケットのように増加した[2]。この傾向はプレスクール年代の子どもでも、より大きな子どもでも、思春期の若者でも明白である[2]。1970年代にはプレスクール年代の子どもの体重過多率は~5%であった [3]。2003-2004年の2-5歳の子どもの体重過多率は女児で12.6%、男児で15.1%であった[3,4]。この体重過多の増加は、科学者達に、体重状態に関連するもの、プレスクールの子ども達の身体活動（PA）も含めて、を調べるように促した[3]。多くの専門家は、公衆衛生を指導する立場のものに、肥満を防ぐことは最も小さな子ども達から始めるべきと推奨した[2]。身体活動の減少が子ども時代の体重過多と肥満に寄与するのは確かと思われたので、公衆衛生当局は子どもと思春期の若者における身体活動の増加を薦めた[2]。そして子どものPAとsedentaryな行動を測定する多くの研究が行われた[2,4]。

日本では、肥満者が少ないと云われており[6]、子どもの肥満に関しては、年齢6-14歳の少年少女の肥満率が、1976年から1980年にかけてのそれぞれ6.1%と7.1%から、1996年から2000年にかけては11.2%と10.2%へと増加した事が報告されているのみである[7]。子どもの肥満はあまり関心を集めておらず、幼稚園児や学童の活動量の報告も無い[8]。

我々は、合衆国と日本における子どもの肥満状況の相違の可能な理由の一つとして、生活環境、文化的価値観及び行動様式の相違や幼稚園や保育園の教育プログラム等によってもたらされる両者間の意識されない日常生活の中での身体活動量(PA)の相違を考えた。特に集中した発達と生活習慣の形成時期である子ども時代初期のPAの相違が重要と考え、小さな子どもでも覚醒時のPAと心拍数及び睡眠挙動を連続して24時間測定できる小型(40×39×8mm)軽量(14g)のECGと3軸加速度の測定装置(M-BIT)を開発した。M-BITは２つの心電電極で胸部にしっかりと固定される為に、被験者の活動を拘束せず、彼らはM-BITに関心を払う事無く睡眠に入る事ができた。

本研究では、幼稚園の教育プログラムの相違が子どものPAを変化させる事を確認し、子どものPAに影響を与える他の因子を明らかにする為に、ある幼稚園の4歳児を2回、子どもたちに与えるPAが普通及び大きめに（LとN）デザインされた日に測定した。

1)　NPO法人セルフケア総合研究所
2)　医療法人城野産婦人科クリニック
3)　学校法人四恩学園
4)　日本体育大学名誉教授
5)　産業医科大学名誉教授

2. 測定と解析

2-1 M-BIT

M-BIT ではサンプリング周波数 128Hz（ECG）と１Hz（3 軸加速度）で 25 時間の測定が可能であった。M-BIT の ECG 測定に関する電極配置は II 誘導に類似していた。回路技術の改良によりボディアースは不要であった。M-BIT は小型で軽量であるので２つの電極を使用して被験者の胸に接着できた[8]。

2-2 ４歳児の測定

我々はナザレ幼稚園（横浜、日本）にて健康で正常な 4 歳児達を 2 度、幼稚園の教育プログラムの設定身体活動量（PA）が大きい日（L、46 名）と普通の日（N、39 名）に測定した。彼らは、測定日とその次の日の 10:00 頃、幼稚園に登園した直後に M-BIT を装着或いは脱着した。従って、彼等のデータには、幼稚園と家庭での活動、家庭での睡眠及び朝の活動が含まれた。

本測定は、NPO セルフケア総合研究所の倫理委員会で承認された。本人と両親に事前に必要な説明を行い、文書での承認を得た。

2-3 ECG データの解析

解析エポックの長さは１分間とした。

ECG 信号の R 波の位置を世界中で幅広く使用されている頑健なリアルタイム QRS 検出アルゴリズムを使用して求めた[10]。R 波の探索と RR 間隔検出の詳細は既に報告している[9]。

我々のこれまでの RR 間隔変動解析の主眼は、自律神経活動の指標(ANSAI)を求める、つまり RR 間隔変動(RRIV)のスペクトル解析、特に時間周波数解析であった。この為には、高品質の RRIV が必要とされた。従って、偽の RR 間隔が存在するエポック（FREP）を検出する為に、我々は異なるコンセプトに基づく複数の RRI スクリーニングプログラムを使用し、FREP は解析から除去していた[9]。

被験者が覚醒してある程度の活動を示しているときは、体動(BM)の ECG への影響は大きい。活動時は、FREP が検出され除去される割合が多く、活動時の ECG 情報はこれまで活用できなかった[9]。

しかしながら、偽 RRI の存在に対して時間周波数解析ほど敏感でないと考えられるエポック平均心拍数（HR）は活動の体への影響の度合いを示す重要な情報であり、ANASI が得られない場合でも、HR を得るべきであった。本研究では HR を求めるのに相応しい RRI スクリーニングプログラムを開発した。この新しい方法でも FREP と判定されたエポックは解析から除外した。

2-4 身体活動

身体活動の指標（MPA）としては、加速度ベクトルを 0.1Hz でリサンプルし、連続した２つの加速度ベクトルの長さの差のエポック総和を求めた。人間の活動の評価に関して、我々の MPA は、リサンプル周波数が 0.1Hz 以上の場合は敏感すぎ、0.1Hz 以下の場合は感度が鈍すぎた。

この MPA と酸素消費量の関係を把握するために、ポータブルカロリーメータ(Metavine, Vine, Tokyo, Japan) [11]と M-BIT の同時測定を行った。アクティグラフのキャリブレーションにおいて男女差が無かった事が報告されていたので[12]、被験者の男女の区別はしなかった。被験者（総数：19 名、女性：3 名、年齢：41±15.1 歳、体重 71.7±14.6kg）は、5 種類の運動、“リラックスして起立”、“ゆっくり歩く”、“普通に歩く”、“急いで歩く”、“全速力で歩く” をそれぞれ 5 分間行った。

図１に示すように、MPA と METs の関係は線形であり（r=0.88）、MPA の測定結果から METs を推定する為の回帰式；METs=1.000+0.201×MPA (r^2=0.77; SEE=±0.87METs)を得る事ができた。

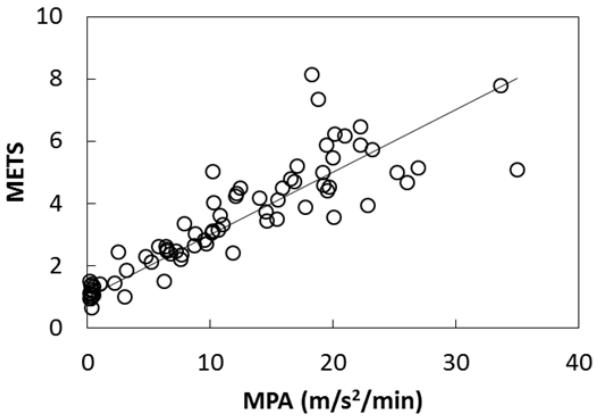

図 1 MPA vs METs. 直線は最小二乗法による

2-5 24 時間データの解析

アクティグラフィックな睡眠・覚醒推定[8]を行って、睡眠領域と覚醒領域を選別し、全覚醒エポックの HR と PA を求め、文献値を基に MPA の大きさにより覚醒エポックを 座位活動（SPA、1.5 METs より小), 軽強度活動 (LGTPA、1.5 METs 以上, 3 METs より小)、中強度活動 (MVPA, 3 METs 以上, 6METs より小）及び 高強度活動（VPA, 6 METs 以上)の４つのカテゴリーに分類した。

これら４種類のカテゴリーのそれぞれに属するエポックの数を求め、それぞれのカテゴリーの時間の割合と各カテゴリーでの HR の平均値を求めた。我々は、また、10:00 から 34:00（翌日の 10:00）までの 60 分毎に、高強度活動と中強度活動の時間ごとの割合を求めた。便宜上、各 60 分間の時刻は、区間の終わりの時刻とした。

2-6 統計解析

統計解析の為にはフリーソフトのR (Ver.2.14.2)を使用した[13]。４つのPAカテゴリーの時間割合及び平均心拍数を対象として、LとN及び女児と男児を２つの因子として二元配置分散分析[14]を行った。P値が0.05未満の時に有意とした。交互作用が有意の場合は、単純主効果の検定を行った。

３．結果と考察

本研究では 1400 分以上の測定に成功した被験者のデータのみを使用した。その数は 32 名（L、女児:12 名、男児 20 名、成功率 70%）と 26 名（N、女児:8 名、男児:18 名、成功率 67.7%）であった。

3-1　教育プログラムと身体活動

L と N での全体の覚醒エポックの数は、それぞれ、女児 798.5(64.1)、男児 808.0（70.4）及び女児 832.6(55.8)、男児 814.1（50.8）であった。二元配置分散分析（L と N, 性別）は二つの主因子及び交互作用の全てが有意で無いことを示した。

L と N で子ども達が 4 つの PA カテゴリーで過ごした時間の割合を表 1 にまとめた。二元配置分散分析（L と N, 性別）は、高強度活動、中強度活動及び sedentary PA では、L と N の主因子のみが有意(高強度活動: $F_{(1, 54)}=21.99$, $p<0.05$; 中強度活動: $F_{(1, 54)}=12.22$, $p<0.05$; sedentary PA: $F_{(1, 54)}=5.38$, $p<0.05$)であり、light PA では二つの主因子及び交互作用の全てが有意で無いことを示した。

表 1　通常の日と身体活動の大きな日の身体活動

	unit	Large PA day				Normal PA day			
		girls		boys		girls		boys	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
sedentary	%	44.9	6.5	42.7	6.8	46.9	9.5	48.5	7.3
light	%	38.0	4.1	39.4	4.5	40.2	6.1	38.8	4.7
MVPA	%	12.4	2.6	12.9	2.3	10.2	3.2	10.1	3.4
VPA	%	4.6	2.0	5.0	2.1	2.6	1.2	2.7	1.3

子ども達は、L では N に比して、中強度活動(girls: 12.4% 対 10.2%, boys: 12.9%対 10.1%) と 高強度活動 (girls: 4.6%対 2.6%, boys: 5.0%対 2.7%)で有意に多くの時間を過ごした。一方、子ども達は、L では N に比して sedentary PA (girls: 46.9% vs. 44.4%, boys: 48.5% vs. 42.7%)で、有意により少ない時間を過ごした。

表 2　報告されている身体活動

	units	Pate et al. [2]		Williams et al. [3]	
		mean	SD	mean	SD
sedentary	%	71.0	9.2	54.8	9.9
light	%	17.0	4.7	32.6	4.1
MVPA	%	12.0	5.3	12.6	3.2
VPA	%	3.2	1.8	4.5	1.8

これまでに報告されている 4 歳児の PA を表 2 にまとめた[2,3]。また、Reilly et al. [16]も 3-5 歳の子どもが sedentary PA で過ごす時間割合は 76-79%と報告した。本研究の子ども達は、これまでに報告されたものと比較して、より少ない時間を sedentary PA で過ごし、より多くの時間を light PA で過ごした。現在、米国やヨーロッパではプレスクール期の子ども達も一般に sedentary behavior である事（活動が少ない事）が明らかになりつつある。これは特に重要な問題である。プレスクール期は、成長後肥満になるリスクに対して決定的な時期であるからである[16]。プレスクール期の子どもの活動が少ない事を客観的に示そうとする研究[16]や、それを低減しようとする研究が報告されている[17, 18]。我々の sedentary PA がより少なく、light PA がより大きな事の理由が判れば、欧米で sedentary PA を低下させる為の方法を教えてくれる可能性がある。この幼稚園のプログラムに固有のものか、日本の幼稚園に共通の特徴か、日本の生活様式によるものか？理由に関する研究は進行中である。

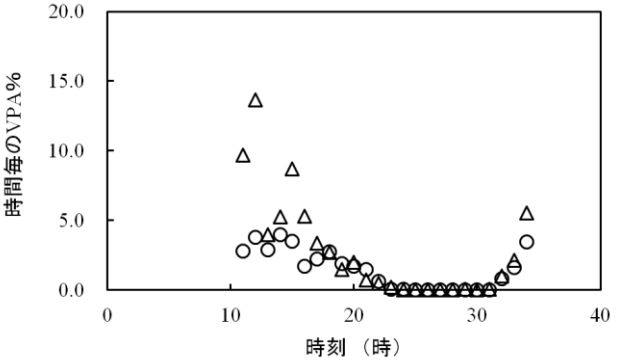

図 2　時間ごとの高強度活動 の%
△: 身体活動の大きな日, ○: 通常の日

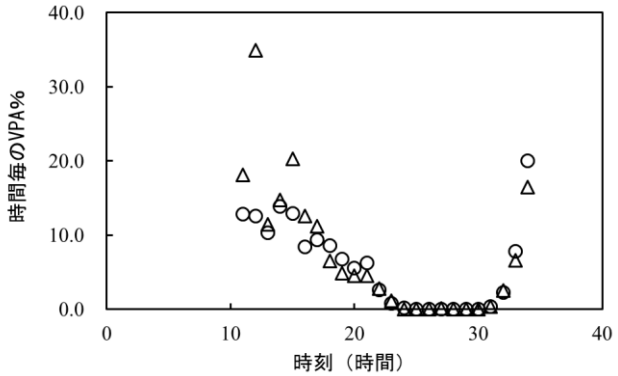

図 3　時間ごとの中強度活動 の%
△: 身体活動の大きな日, ○: 通常の日

本研究で得られた L での高強度活動の時間割合は、Williams et al. [3]の報告のものより大きく、N での割合は、Pate et al. [2]のものより小さい。一方、中強度活動の時間割合は、L では従来の報告と同等であるが、N では小さい。L と N での高強度活動と中強度活動の時間割合の大きな相違の理由を検討する為に、図 2（高強度活動）と図 3（中強度活動）に示すように、これらの 1 時間毎の割

合の時間変動をＬとＮで比較した。二元配置分散分析では、女児と男児の主効果及び交互作用は有意でなかったので女児と男児の区別はしなかった。

図 2（高強度活動）、図 3（中強度活動）の双方で、11 時、12 時及び 15 時にＬで大きな時間割合が観察され、Ｎでのこれらの時間割合はＬでの 16 時の値より小さかった。以外の時間帯は、Ｎが若干小さ目の場合もあるが、ほぼ同様といって良いレベルであった。またＬとＮともに 34 時の値が大きかった。

LのPAを大きくする特別な教育プログラムの主な時間帯は午前中の10時50分より11時20分までの30分間であった。従って、Lでの11時と12時の大きな値はこのプログラムの効果によるものと考えられた。

この幼稚園の教育プログラムは10時に開始され、14時に終了した。子ども達は通園バスで9時から到着し始め10時までの間、園庭で遊ぶ。また、14時にプログラムが終了した後も、園庭で遊びながら群ごとに家に送られていった。従って、LとNの34時（翌日の10時）及びLの15時の大きな値は、この園庭遊びによるものと考えられた。Nの測定日は雨天であり園庭での遊びが出来なかった。これがNでは15時に大きな値が無い理由である子ども達は同じ時間の長さを遊んだが、PAの外の園庭で遊んだか室内で遊んだかによる相違は大きく、屋外での園庭遊びの重要性と子どものPAへの気候の影響の大きさが示された。

高強度活動も中強度活動の時間ごとの割合は、子ども達が幼稚園にいるときに大きく、彼等の家では徐々に小さくなった。雨天は子ども達の家での外遊びを妨げる事で16時の相違の原因と考えられた。表１に示したLとNでのPAの大きな相違は、幼稚園の教育プログラムの相違と外遊びができる可能性が重畳したものであった。

表3　身体活動と心拍数

	unit	Large PA day				Normal PA day			
		girls		boys		girls		boys	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
sleep	bpm	85.4	9.0	77.6	8.1	78.9	7.3	80.1	7.5
sedentary	bpm	113.5	7.8	103.8	7.1	105.2	10.7	106.3	9.7
light	bpm	124.2	7.2	114.4	6.1	113.7	11.5	115.8	8.2
MVPA	bpm	136.1	8.4	127.2	7.6	124.3	9.0	125.4	8.9
VPA	bpm	144.5	6.8	138.4	8.1	133.0	9.1	131.1	10.2

表３に、４つの PA カテゴリー、及び睡眠時、覚醒時の平均心拍数を示した。睡眠時では心拍数は 77.6 から 85.4 に亘り分布したが、sedentary では 103.8 から 113.5、light では 113.7 から 124.2、中強度活動では 124.3 から 136.1、高強度活動では 131.1 から 144.5 へと増加した。二元配置分散分析は睡眠では２つの因子と交互作用の全てが有意でなく、高強度活動ではＬとＮの効果だけが有意($F(1, 54)=8.42$, $p<0.05$)であった。一方、sedentary PA, light PA 及び 中強度活動では交互作用が有意(中強度活動：$F(1, 54)=4.51$, $p<0.05$; light PA: $F(1, 54)=7.31$, $p<0.05$; sedentary PA: $F(1, 54)=4.92$, $p<0.05$)であったので、単純主効果の検定を行った。sedentary PA ではＬでの性別の主効果のみが有意であった。light PA 及び 中強度活動ではＬでの性別と、女児でのＬとＮの主効果が有意であった。

これらの結果は、心拍数の増加は PA の大きさのみでなくこれらの PA が持続した長さにも依存する事、PA の強度と持続した長さが同じ場合心拍数の増加の程度は男児に比して女児の方が大きい事を示唆した。子どもの心肺機能の十分な発達の為には中強度活動或いは高強度活動のある程度の長さの連続が必要である推測する事ができる。

合衆国の専門家のグループは、小さな子ども達は１日に 120 分間以上中強度活動で過ごした方が良いと推奨した。本研究の結果では、Ｌの中強度活動と高強度活動で過ごした分数は 102.0(18.9)と 38.8(16.9)と推奨より 20 分程度超えており、Ｎでは 82.6(26.5)と 21.7(9.9)と 16 分程度短かった。雨天でない通常 PA の日は推奨値に近いところに位置すると思われるが、我々は雨天の日の準備をする必要がある。ここで、子ども達は light PA の活動の時間は多いので sedentary に振舞っている訳ではない。遊びの方法を変えるだけで、light PA から中強度活動へと PA を増加できる可能性がある。また、日本では、原子力発電所の事故の影響で、福島県とその近隣では、今でも子どもの外遊びを避け、屋内遊びをさせる両親が多い。これらの子ども達の活動量の調査と、彼等の中強度活動である時間を増加させる努力が急務であると考えられる。

参考文献

[1] T. Lobstein, L. Baur and R. Uauy, “Obesity in children and young people: a crisis in public health,” Obesity Reviews, vol.5, pp.4-85, Suppl.1, 2004.

[2] R. R. Pate, K. A. Pfeiffer, S. G. Trost et al., “Physical Activity Among Children Attending Preschools,” Pediatrics, vol.114 pp.1258-1263, No.5, 2004.

[3] H. G. Williams, K. A. Pfeiffer, J. R. O’Neill1 et al., "Motor Skill Performance and Physical Activity in Preschool Children,” Obesity, vol.16, pp.1421–1426, No.6, 2008.

[4] C. L. Ogden, M. D. Carroll, L. R. Curtin et al., “Prevalence of Overweight and Obesity in the United States, 1999-2004,” JAMA, vol0295, pp. 1549-1555, No. 13, 2006.

[5] J. R. Sirard, S. G. Trost, K. A. Pfeiffer et al., “Calibration and Evaluation of an Objective Measure of Physical Activity in Preschool Children,” Journal of Physical Activity and Health, vol. 2, pp. 345-357, Issue 3, 2005.

[6] Ministry of Health, Labour and Welfare (Japan), Obesity in Japanese, http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/kenkou/seikatu/himan/number.html

[7] Y. Matsushita, N. Yoshiike, F. Kaneda et al., “Trends in Childhood Obesity in Japan over the Last 25 Years from the National Nutrition Survey,” OBESITY RESEARCH vol. 12, pp 206-214, No. 2, 2004.

[8] Ed. Editorial Committee of Annual report of physical and mental health among the children, Annual report of physical and mental health among the children, Book House HD, Tokyo, Japan, 2013. (in Japanese)

[9] P. S. Hamilton and W. J. Tompkins, “Quantitative investigation of

QRS detection rules using the MIT/BIH arrhythmia database," IEEE Trans Biomed Eng., Vol.33, pp. 1157-1164, 1986 .

[10] S. Shirouzu, H. Narisawa, S. Katayama et al., " A case Study Comparison of Sleep Stages from Polygraph Data Based on the International Standardized Scoring System, and Sleep Analysis Results from a Small, Lightweight ECG and Acceleration Data Logger (M-BIT)," Human Development for ALL, vol.2, pp.8-18, No.1, 2012. (in Japanese)

[11] T. Tamura1, N. Ichinoseki1, T. Yoshimura1 et al., "Development and evaluation of a simple calorimeter for the measurement of resting metabolism," Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, vol.29, pp S2-S6, Issue S4, 2002.

[12] P. S. Freedson, E. Melanson and J. Sirard, "Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer," Med. Sci. Sports Exerc., vol.30, pp.777-781, No.5, 1998.

[13] R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

[14] S. Aoki, "http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/src/twoway_anova.R," URL http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/src/twoway_anova.R

[15] J. J. Reilly, D. M. Jackson, C. Montgomery C, "Total energy expenditure and physical activity in young Scottish children: mixed longitudinal study," Lancet, vol.363, pp.211-212, 2004.

[16] J. J. Reilly, J. Coyle, L. Kelly et al., "An Objective Method for Measurement of Sedentary Behavior in 3- to 4-Year Olds," OBESITY RESEARCH, vol.11 No.10, 1155-1158, 2003.

[17] E. Maloney, T. C, Bethea, K. S. Kelsey et al., "A Pilot of a Video Game (DDR) to Promote Physical Activity and Decrease Sedentary Screen Time," Obesity, vol.16, pp.2074-2080, No.9, 2008.

[18] R. Maddison, C. N. Mhurchu, A. Jull et al., "Energy Expended Playing Video Console Games: An Opportunity to Increase Children's Physical Activity?," Pediatric Exercise Science, vol.19, pp.334-343, 2007.

[19] S. J. M. Verstraete, G. M. Cardon, D. L. R. De Clercq et al., "Increasing children's physical activity levels during recess periods in elementary schools: the effects of providing game equipment," Eur. J. Public Health, vol.16, pp.415-419, No. 4, 2006.