

小児と母親の身体活動度および座位行動と骨密度との 関連についての疫学研究

谷川 果菜美^{*,**} 池原 賢代^{*,**} 磯 博康^{**,***}

ASSOCIATIONS OF PHYSICAL ACTIVITY AND SEDENTARY BEHAVIOR WITH CALCANEUS BONE DENSITY AMONG MOTHERS AND CHILDREN

Kanami Tanigawa, Satoyo Ikehara, and Hiroyasu Iso

Key words: physical activity, quantitative ultrasound, mother, children, cross sectional study.

緒 言

子どもの健康問題として、骨密度低下が注目されている¹⁰⁾。学校管理下の災害の基本統計⁸⁾においても、小学生の骨折発生率は直近の30年間で約2倍に増加した。子どもの骨密度は成長とともに増加し、思春期に最大となり、その後は徐々に減少することが知られている⁵⁾。子どもの骨密度に影響を及ぼす要因として、母親の骨密度、子どもの運動や栄養（カルシウムやビタミンD等）の生活習慣が報告されている。

近年、外遊びの減少やインターネットの普及など社会環境の変化、更には新型コロナウイルス感染症の流行により、子どもの運動不足や体力低下が懸念されており、同様の状況は成人においても予想される。しかしながら、我が国では、若年成人女性や子ども、特に母親と子どもを対象にして、身体活動度や座位時間（テレビ視聴・ゲーム使用の時間など）と骨密度との関連を検討した大規模

疫学研究からのエビデンスは極めて少ない。

そこで、本研究では、子どもおよび母親の身体活動度・座位行動と骨密度の関連について、横断的に検討することを目的とした。

方 法

A. 研究デザインおよび対象者

本研究の対象者は、環境省「子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）」の大阪ユニットセンターに登録されている子どもとその母親である。エコチル調査では、全国の15ユニットセンターにおいて、2011年1月～2014年3月にリクルートを行い、妊婦約10万人から参加同意を得た。大阪地域の調査運営は大阪ユニットセンター（大阪大学および大阪母子医療センター）が行い、8043人の参加同意を得て、現在もフォローアップ調査を継続している。エコチル調査では、全体調査や詳細調査に加え、研究者が独自で研究費を獲得し国立環境研究所（コアセンター）の承認を得

* 大阪大学大学院医学系研究科社会医学講座

** 大阪大学エコチル調査大阪ユニットセンター

*** 国立国際医療センター国際医療協力局グローバルヘルス政策研究センター

Department of Social Medicine, Osaka University Graduate School of Medicine, Osaka, Japan.

Osaka Regional Center for Japan Environment and Children's Study (JECS), Osaka University, Osaka, Japan.

Institute for Global Health Policy Research, Bureau of International Health Cooperation, National Center for Global Health and Medicine, Tokyo, Japan.

て追加調査を実施することが認められている。本研究は、小学2年学童期検査（2019～2022年度）の追加調査として、子どもおよび母親を対象とし、身体計測、骨密度測定、質問票調査、尿検査等を実施した。本研究は大阪大学医学部附属病院倫理審査委員会の承認を受けた（承認番号：18493）。参加者には、書面による同意を得た。

学童期検査会場に会場した3203組の母子のうち、3120組の母子が追加調査に参加した。骨密度検査未実施日での参加412組、骨密度検査や質問票調査の身体活動度・座位行動に関する情報の欠損48組、質問票調査の身体活動度・座位行動に関する不適切な情報35組を削除し、2625組の母子を本研究の分析対象とした。

B. 身体活動度・座位行動

学童期検査会場での質問票調査において、子どもおよび母親の身体活動度・座位行動に関する情報を収集した。

子どもの身体活動度では、小児用国際質問票である青少年健康行動質問票（Health Behaviour in School-aged Children; HBSC）を用いた。質問項目「授業以外：あなたはふだん、息切れしたり汗をかいたりするくらいの運動を何回しますか？」および「授業以外：あなたはふだん、自由な時間に、息切れしたり汗をかいたりするくらいの運動を1週間に何時間しますか？」に対し、「週2～3回以上」かつ「週に約1時間以上」と回答した場合を「高身体活動」、それ以外を「低身体活動」に分類した。日本の子どもを対象とした日本語版HBSC質問票に関する妥当性検討では、質問票での1日60分以上動いた日数と加速度計での測定結

果との相関は $r = 0.32$ ($P < 0.01$) であったことが報告されている⁹⁾。

母親の身体活動度の把握には、成人用国際質問票である国際標準化身体活動質問票（International Physical Activity Questionnaire; IPAQ）を使用した。強い身体活動・中等度の身体活動・歩行の頻度および時間の情報を収集し、ガイドライン⁶⁾に基づいて、データクリーニングを実施した。また、同ガイドラインを用いて、強い身体活動に関する身体活動量（ $8.0 \times$ 時間（分/日） \times 日数（日/週））、中等度の身体活動に関する身体活動量（ $4.0 \times$ 時間（分/日） \times 日数（日/週））および歩行に関する身体活動量（ $3.3 \times$ 時間（分/日） \times 日数（日/週））の和を総身体活動量（単位：メッツ・分/週）として算出し、身体活動の程度や総身体活動量より、「高身体活動」「中身体活動」「低身体活動」に区分した（表1）。日本人を対象とした日本語版IPAQに関する妥当性検討では、質問票と生活活動記録間の相関は $r = 0.63$ 、質問票と加速度計での測定結果間の相関は $r = 0.37 \sim 0.39$ であったことが報告されている⁷⁾。

また、母子の座位行動を把握するために、1日当たりの座位行動（総座位時間、テレビ視聴時間、ゲーム使用時間）の時間に関する情報を収集し、それぞれ四分位群に分類した。

C. 骨密度測定

子どもと母親の骨密度測定では、定量的超音波測定法装置 A-1000 EXP II（GE Healthcare Japan, Tokyo, Japan）を用い、右足で測定した。本研究で使用する装置では、超音波伝播速度（sound of speed; SOS）および超音波減衰定数（broadband

表1. 母親の身体活動度の分類
Table 1. Criteria for physical activity categories among mothers⁶⁾.

		Criteria
Category 3	High	a) Vigorous-intensity activity on at least 3 days and accumulating at least 1500 MET-minutes/week OR b) 7 or more days of any combination of walking, moderate- or vigorous-intensity activities accumulating at least 3000 MET-minutes/week
Category 2	Moderate	a) 3 or more days of vigorous-intensity activity of at least 20 minutes per day OR b) 5 or more days of moderate-intensity activity and/or walking of at least 30 minutes per day OR c) 5 or more days of any combination of walking, moderate-intensity or vigorous-intensity activities achieving a minimum Total physical activity of at least 600 MET-minutes/week
Category 1	Low	Those individuals who not meet criteria for Categories 2 or 3

表2. 子どもの身体活動度別の基本属性
 Table 2. Basic characteristics of children according to categories of physical activity.

	Physical activity			
	Inactive (n = 804, 30.6%)		Active (n = 1821, 69.4%)	
	n	%	n	%
Age				
7 years old	532	(66.2)	1149	(63.1)
8 years old	272	(33.8)	672	(36.9)
Sex				
Male	349	(43.4)	992	(54.5)
Female	455	(56.6)	829	(45.5)
Body mass index				
Normal	697	(86.7)	1628	(89.4)
Overweight	107	(13.3)	192	(10.5)
Missing	0	(0.0)	1	(0.1)
Sleep duration				
< 9 hours	107	(13.3)	232	(12.7)
≥ 9 hours	694	(86.3)	1580	(86.8)
Missing	3	(0.4)	9	(0.5)
History of fracture				
No	733	(91.2)	1637	(89.9)
Yes	71	(8.8)	183	(10.0)
Missing	0	(0.0)	1	(0.1)
Total sedentary behavior (min/day)				
Q1	168	(20.9)	399	(21.9)
Q2	270	(33.6)	653	(35.9)
Q3	173	(21.5)	333	(18.3)
Q4	193	(24.0)	436	(23.9)
Watching TV (min/day)				
Q1	112	(13.9)	225	(12.4)
Q2	280	(34.8)	708	(38.9)
Q3	222	(27.6)	496	(27.2)
Q4	190	(23.6)	392	(21.5)
Playing games (min/day)				
Q1	258	(32.1)	567	(31.1)
Q2	136	(16.9)	349	(19.2)
Q3	222	(27.6)	492	(27.0)
Q4	188	(23.4)	413	(22.7)
Maternal employment				
No/Other	211	(26.2)	453	(24.9)
Yes	593	(73.8)	1366	(75.0)
Missing	0	(0.0)	2	(0.1)
Marital status of parents				
Divorced/Unmarried/Deceased	57	(7.1)	121	(6.6)
Married	747	(92.9)	1699	(93.3)
Missing	0	(0.0)	1	(0.1)
Household income				
0-3999999 yen/year	181	(22.5)	336	(18.5)
≥ 4000000 yen/year	608	(75.6)	1447	(79.5)
Missing	15	(1.9)	38	(2.1)

表3. 母親の身体活動度別の基本属性

Table 3. Basic characteristics of mothers according to categories of physical activity.

	Physical activity					
	Low (n = 1550, 59.0%)		Moderate (n = 760, 29.0%)		High (n = 315, 12.0%)	
	n	%	n	%	n	%
Age						
< 30 years old	33	(2.1)	18	(2.4)	18	(5.7)
30-34 years old	201	(13.0)	130	(17.1)	76	(24.1)
35-39 years old	508	(32.8)	234	(30.8)	97	(30.8)
≥ 40 years old	808	(52.1)	378	(49.7)	124	(39.4)
Body mass index						
Underweight	141	(9.1)	67	(8.8)	40	(12.7)
Normal	1128	(72.8)	547	(72.0)	211	(67.0)
Overweight	278	(17.9)	145	(19.1)	64	(20.3)
Missing	3	(0.2)	1	(0.1)	0	(0.0)
Sleep duration						
< 7 hours	771	(49.7)	385	(50.7)	163	(51.7)
≥ 7 hours	777	(50.1)	375	(49.3)	151	(47.9)
Missing	2	(0.1)	0	(0.0)	1	(0.3)
History of fracture						
No	1096	(70.7)	511	(67.2)	206	(65.4)
Yes	454	(29.3)	248	(32.6)	109	(34.6)
Missing	0	(0.0)	1	(0.1)	0	(0.0)
Menopause						
No	1497	(96.6)	739	(97.2)	300	(95.2)
Yes	32	(2.1)	12	(1.6)	12	(3.8)
Missing	21	(1.4)	9	(1.2)	3	(1.0)
Total sedentary behavior (min/day)						
Q1	413	(26.6)	237	(31.2)	121	(38.4)
Q2	249	(16.1)	176	(23.2)	87	(27.6)
Q3	426	(27.5)	192	(25.3)	73	(23.2)
Q4	462	(29.8)	155	(20.4)	34	(10.8)
Watching TV (min/day)						
Q1	413	(26.6)	194	(25.5)	86	(27.3)
Q2	468	(30.2)	248	(32.6)	90	(28.6)
Q3	419	(27.0)	195	(25.7)	93	(29.5)
Q4	250	(16.1)	123	(16.2)	46	(14.6)
Playing games (min/day)						
Q1	679	(43.8)	298	(39.2)	107	(34.0)
Q2	96	(6.2)	63	(8.3)	25	(7.9)
Q3	228	(14.7)	135	(17.8)	59	(18.7)
Q4	547	(35.3)	264	(34.7)	124	(39.4)
Employment						
No/Other	457	(29.5)	177	(23.3)	30	(9.5)
Yes	1091	(70.4)	583	(76.7)	285	(90.5)
Missing	2	(0.1)	0	(0.0)	0	(0.0)
Marital status						
Divorced/Unmarried/Deceased	92	(5.9)	65	(8.6)	21	(6.7)
Married	1457	(94.0)	695	(91.4)	294	(93.3)
Missing	1	(0.1)	0	(0.0)	0	(0.0)
Household income						
0-3999999 yen/year	287	(18.5)	157	(20.7)	73	(23.2)
≥ 4000000 yen/year	1234	(79.6)	586	(77.1)	235	(74.6)
Missing	29	(1.9)	17	(2.2)	7	(2.2)

ultrasound attenuation; BUA) を測定し、これらよりスティフネス値 (stiffness index; SI) が算出される (計算式: $SI = 0.28 \times SOS + 0.67 \times BUA - 420$)。先行研究では、踵骨での定量的超音波測定法装置にて、日本人男女において骨折リスクを予測できることが報告されている⁴⁾。本研究では、スティフネス値の下位 5% (子ども: 60.9, 母親: 69.4) を低骨密度と定義した。

D. 統計解析

子どもおよび母親の身体活動度・座位行動と骨密度との関連を明らかにするために、ロジスティック回帰分析を用いて、低骨密度に関する多変量調整オッズ比および95%信頼区間を算出した。調整変数として、子どもの解析では、子どもの年齢 (7歳, 8歳)、子どもの性別 (男性, 女性)、子どもの体格 (body mass index; BMI) (標準, 過体重)、子どもの睡眠時間 (9時間未満, 9時間以上)、子どもの骨折歴 (なし, あり)、世帯収入 (400万円/年未満, 400万円/年以上)、母親の就労 (主婦・無職・学生・その他, 常勤・パート・自営業)、父母の婚姻状況 (婚姻, 未婚・死別・離婚) を使用した。母親の解析では、母親の年齢 (30歳未満, 30~34歳, 35歳以上)、母親の体格 (BMI) (やせ, 標準, 肥満)、母親の睡眠時間 (7時間未満, 7時間以上)、母親の骨折歴 (なし, あり)、母親の閉経 (なし, あり)、世帯収入 (400万円/年未満, 400万円/年以上)、母親の就労 (主婦・無職・学生・その他, 常勤・パート・自営業)、父母の婚姻状況 (婚姻, 未婚・死別・離婚) を調整した。また、スピアマンの順位相関係数を用い、身体活動度・座位行動および骨密度に関する母子間での

相関について検討した。

すべての統計解析は両側検定とし、有意水準を5%に設定した。また、すべての統計解析には、SAS9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA) を用いた。

結 果

子どもの身体活動度別の基本属性を表2に、母親の身体活動度別の基本属性を表3に示す。子どもの年齢は7歳1681人、8歳944人、子どもの性別は男児1341人、女児1284人、子どもの身体活動度は低身体活動804人、高身体活動1821人であった。また、母親の年齢は30歳未満69人、30~34歳407人、35~39歳839人、40歳以上1310人、母親の身体活動度は低身体活動1550人、中身体活動760人、高身体活動315人、母親の身体活動度のカテゴリ別の総身体活動量の中央値は低身体活動132メッツ・分/週、中身体活動1386メッツ・分/週、高身体活動4638メッツ・分/週であった。

表4に、身体活動度別にみた低骨密度のオッズ比を示す。子どもでは、低身体活動群と比較して、高身体活動群において低骨密度の割合が低く、多変量調整オッズ比 (95% 信頼区間) は0.62 (0.43-0.89) であった。また、母親では、低身体活動群と比較して、高身体活動群において低骨密度の割合が低い傾向にあり、多変量調整オッズ比 (95% 信頼区間) は0.48 (0.23-1.02) であった。一方、座位行動と低骨密度の割合との間には関連はみられなかった (表5)。

更に、母子間のスティフネス値のスピアマンの相関係数は、 $r = 0.18$ ($P < 0.01$) であった。また、母子間の身体活動度、総座位時間、テレビ視聴時

表4. 身体活動度別にみた低骨密度のオッズ比

Table 4. Odds ratio (ORs) and 95% confidence intervals (CIs) of low bone density according to categories of physical activity.

	Children ^{a)}		Mothers ^{b)}		
	Inactive	Active	Low	Moderate	High
Total number	804	1821	1550	760	315
Number of cases	54	78	89	35	8
Crude ORs (95% CIs)	1.00	0.62 (0.44-0.89)	1.00	0.79 (0.53-1.18)	0.43 (0.21-0.89)
Multivariable ORs (95% CIs)	1.00	0.62 (0.43-0.89)	1.00	0.83 (0.55-1.25)	0.48 (0.23-1.02)

a) Adjusted for age, sex, body mass index, sleep duration, history of fracture, maternal employment, marital status of parents and household income in the multivariable model.

b) Adjusted for age, body mass index, sleep duration, history of fracture, menopause, employment, marital status and household income in the multivariable model.

表 5. 座位行動別にみた低骨密度のオッズ比
Table 5. Odd ratio (ORs) and 95% confidence intervals (CIs) of low bone density according to categories of sedentary behavior.

	Children ^{a)}				Mothers ^{b)}			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Total sedentary behavior (min/day), Median (IQR)	120 (90, 120)	180 (180, 240)	300 (300, 360)	540 (480, 720)	120 (60, 120)	180 (180, 180)	300 (240, 360)	540 (480, 600)
Total number	567	923	506	629	771	512	691	651
Number of cases	27	47	22	36	39	23	30	40
Crude ORs (95% CIs)	1.00	1.07 (0.66-1.74)	0.91 (0.51-1.62)	1.21 (0.73-2.03)	1.00	0.88 (0.52-1.50)	0.85 (0.52-1.39)	1.23 (0.78-1.94)
Multivariable ORs (95% CIs)	1.00	1.12 (0.69-1.82)	0.97 (0.54-1.73)	1.33 (0.79-2.22)	1.00	0.87 (0.51-1.49)	0.83 (0.51-1.37)	1.23 (0.78-1.95)
Watching TV (min/day), Median (IQR)	30 (20, 30)	60 (60, 60)	120 (120, 120)	180 (180, 240)	30 (0, 30)	60 (60, 60)	120 (120, 120)	180 (180, 240)
Total number	337	988	718	582	693	806	707	419
Number of cases	16	50	39	27	35	31	38	28
Crude ORs (95% CIs)	1.00	1.07 (0.60-1.90)	1.15 (0.63-2.09)	0.98 (0.52-1.84)	1.00	0.75 (0.46-1.23)	1.07 (0.67-1.71)	1.35 (0.81-2.25)
Multivariable ORs (95% CIs)	1.00	1.02 (0.57-1.82)	1.07 (0.59-1.95)	0.95 (0.50-1.81)	1.00	0.77 (0.47-1.27)	1.05 (0.65-1.69)	1.25 (0.74-2.12)
Playing games (min/day), Median (IQR)	0 (0, 0)	30 (30, 30)	60 (60, 60)	120 (120, 150)	0 (0, 0)	10 (10, 17.5)	30 (30, 30)	60 (60, 120)
Total number	825	485	714	601	1084	184	422	935
Number of cases	43	19	41	29	67	9	15	41
Crude ORs (95% CIs)	1.00	0.74 (0.43-1.29)	1.11 (0.71-1.72)	0.92 (0.57-1.50)	1.00	0.78 (0.38-1.59)	0.56 (0.32-0.99)	0.70 (0.47-1.04)
Multivariable ORs (95% CIs)	1.00	0.73 (0.42-1.27)	1.19 (0.76-1.87)	1.15 (0.69-1.91)	1.00	0.83 (0.41-1.71)	0.61 (0.34-1.08)	0.77 (0.51-1.16)

a) Adjusted for age, sex, body mass index, sleep duration, history of fracture, maternal employment, marital status of parents and household income in the multivariable model.

b) Adjusted for age, body mass index, sleep duration, history of fracture, menopause, employment, marital status and household income in the multivariable model.

間、ゲーム時間のスピアマンの相関係数は、それぞれ、 $r=0.07$ ($P<0.01$)、 $r=0.41$ ($P<0.01$)、 $r=0.33$ ($P<0.01$)、 $r=0.22$ ($P<0.01$) であった。

考 察

本研究では、子どもにおいて、低身体活動度の者と比べて、高身体活動度の者は、低骨密度の割合が低いことが示された。また、同様に、母親において、低身体活動度の者に比べて、高身体活動度の者は、低骨密度の割合が低い傾向があった。更に、母子間の骨密度では弱い正の相関、母子間の総座位時間、テレビ視聴時間、ゲーム時間では、弱い～中等度の正の相関が認められた。

身体活動度が骨に与える影響としては、子どもの骨の成長に有効であること²⁾、成人女性では骨量維持に寄与すること¹⁾が既に明らかにされている。また、本研究では子どもおよび母親の身体活動度の間で相関が認められなかったが、先行研究にて子どもの身体活動度は、母親よりも父親の身体活動度との関連が強かったことが報告されている³⁾。

本研究での強みは、大規模母子疫学研究において、子どもおよびその母親を対象として、身体活動度および座位行動と骨密度との関連について検討したことである。また、本研究は、新型コロナウイルス感染症の流行下での実施となったが、感染症対策を十分に行い、貴重なデータを得ることができた。一方で、本研究での限界として、以下の2点が考えられる。まず、本研究は横断的検討のため、因果関係を示すことができなかった。今後、縦断的検討に向けて、引き続きデータを収集する必要がある。次に、身体活動度や座位行動は自己記入式の質問票を用いたことである。身体活動度に関しては加速度計との相関は中等度であったが、座位行動の妥当性に関するエビデンスは乏しく、確立されたカットオフ値も存在しないため、誤分類が発生した可能性がある。

総 括

子どもにおいて、身体活動度と低骨密度の割合

との間に負の関連が認められた。また、母親においても、低身体活動度と比較して、高身体活動度で低骨密度の割合が低い傾向がみられた。母子間の骨密度との間には弱い正の相関、母子間の総座位時間、テレビ視聴時間、ゲーム時間との間には弱い～中等度の正の相関が認められた。

謝 辞

本研究は、第37回若手研究者のための健康科学研究助成のご支援を賜り実施しました。公益財団法人明治安田厚生事業団および関係者の皆さまに厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Boreham CA, et al. (2011): Physical activity in childhood and bone health. *Br J Sports Med*, **45**, 877-879.
- 2) Borer KT (2005): Physical activity in the prevention and amelioration of osteoporosis in women: interaction of mechanical, hormonal and dietary factors. *Sports Med*, **35**, 779-830.
- 3) Ferreira I, et al. (2007): Environmental correlates of physical activity in youth - a review and update. *Obes Rev*, **8**, 129-154.
- 4) Fujiwara S, et al. (2005): Heel bone ultrasound predicts non-spine fracture in Japanese men and women. *Osteoporos Int*, **16**, 2107-2112.
- 5) Heaney RP, et al. (2000): Peak bone mass. *Osteoporos Int*, **11**, 985-1009.
- 6) IPAQ Research Committee (2005): Guidelines for Data Processing and Analysis of the International Physical Activity Questionnaire, 1-15.
- 7) 村瀬訓生ら (2002): 身体活動量の国際標準化—IPAQ 日本語版の信頼性, 妥当性の評価. 厚生 の 指 標, **49**, 1-9.
- 8) 日本スポーツ振興センター (2022): 学校の管理下の災害 令和4年版, 1-267.
- 9) Tanaka C, et al. (2021): Validation of the physical activity questions in the World Health Organization Health Behavior in School-aged Children survey using accelerometer data in Japanese children and adolescents. *J Phys Act Health*, **18**, 151-156.
- 10) 田中弘之ら (2006): 子どもの骨を丈夫にするための提言. 日本骨粗鬆症学会雑誌, **14**, 11-23.