Simultaneous control of dynamic standing posture on an oscillating platform and the upper limb movement in adults and children

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-05-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Toyama, Hiroshi メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00057001

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

床振動反復負荷時の姿勢と手指運動の並行制御能の発達

（課題番号：１５５００４０７）

平成１５年度～平成１６年度科学研究費補助金　((基盤研究（C）（２))

研究成果報告書

平成１７年５月

外山　寛

（金沢大学大学院医学系研究科助教授）

はしがき

日常生活やスポーツ活動においては、動的姿勢制御を行いながら手指による随意的な運度を並行していることが多々認められる。その場合の手指運動は主に視覚によるフィードバック情報を用いて行われ、動的姿勢制御は周期的な身体平衡の変化を主に体性感覚情報に基づいて予測的に行っている状況があると推察される。そして両者の制御が干渉せずに行われるには、姿勢制御の自動化が必要であると考えられる。幼児期にはこの様な並行制御能の発達があると推察されるが、その発達の様相を明らかにするには、両者の制御特性を考慮した運動課題を同時に負荷する方法の確立が不可欠である。

動的姿勢制御に関して、藤原[5,11]は0.5Hzの床振動を反復負荷することで動的姿勢制御において重要となる予測制御能の差異を明確に把握できることを明らかにした。この予測的姿勢制御能は、歩行や走行などの周期運動の制御と密接に関係するものである。さらに成人が床振動を開眼で練習した場合に、開眼のみならず閉眼での床振動に対する動的姿勢制御も大きく向上するのに対して、閉眼での練習では閉眼のみの動的姿勢制御に向上を認めている。この様に閉眼条件下では、動的姿勢の制御中枢の中心が視覚系を含む上位中枢から体性感覚系の強く関与する比較的下位の中枢に移行することが示唆されており、学習による姿勢制御の自動化があると推察される。また、健康な幼児を対象とした動的姿勢制御の発達的変化についての知見も得られている（藤原[6,8,10,12]）。最近の研究（清田、藤原[17]）では、床振動を反復負荷した場合に身体各部位の位相差の適応的増大が女性で顕著に認められるという性差が明らかにされた。

一方、外山と藤原[24,25,27]は、運動制御の自動化水準が２つの運動

制御を並行する場合に生じる干渉の程度によって把握でき、自動化水準の低い運動には他の運動の干渉が大きく現れることを明らかにした。そのような知見は、幼児においても確かめられている（外山、藤原[26)]）。

これらの先行研究に基づいて、平成 12－13 年度には科学研究費を得て若年成人を対象に床振動反復負荷時の動的姿勢制御と視覚情報のフィードバックを必要とする手指運動の並行制御能の変化を両者の干渉現象から検討した。その研究では、姿勢制御に関与する視覚情報を遮断し、かつ手指運動の遂行に必要な視覚情報のみを姿勢平衡が乱れる場合にも安定して提示する方法を新たに開発した。その結果、床振動の反復負荷による動的姿勢制御の自動化が確認されると共に、手指運動との並行制御能の向上が明らかにされた（外山、藤原[29)]）。これらの知見をもとに、本研究では床振動反復負荷時の姿勢と手指運動の並行制御能について、（１）健康若年成人のデータの蓄積と、（２）健康な幼児を対象とする発達的変化についての検討を行う。

研究組織

研究代表者　：　外山　寛

（金沢大学大学院医学系研究科・助教授）

研究分担者　：　藤原勝夫

（金沢大学大学院医学系研究科・教授）

交付決定額（配分額）　　（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合　計
平成１５年度	2,600	0	2,600
平成１６年度	500	0	500
総　計	3,100	0	3,100

研究発表

（１）学会誌等

1 Hiroshi Toyama and Katsuo Fujiwara: Changes in control of eye movement and upper limb movement with automatization of postural control during platform oscillation. XVIth Symposium of the International Society for Posture and Gait Research, Sydney, pp.157

（２）口頭発表

1 Hiroshi Toyama and Katsuo Fujiwara: Simultaneous control of posture on a oscillating platform and eye or upper limb movement. Society for Neuroscience 34th Annual Meeting, San Diego, U.S.A, October, 2004.

2　外山　寛，藤原勝夫：床振動時の姿勢制御の自動化に伴う姿勢と眼球運動及び手指の運動の平衡制御の変化. 第４回「姿勢と歩行」研究会，２００５年３月

3　Hiroshi Toyama and Katsuo Fujiwara: Simultaneous control of posture on an oscillating platform and upper limb movement in children, Society for Neuroscience 35th Annual Meeting, Washington, DC, U.S.A, November, 2005.　（発表予定）

（３）出版物

なし

研究成果

緒　　言

緒言

Jackson[16]は、随意運動の調節様式の違いについて、初めて階層概念を取り入れて説明した。すなわち、運動を１つの連続体に例えた場合、両端を随意的な運動 least automatic movement と自動的な運動 most automatic movement と表現し、多くの運動がその中間に位置して両者の性質を合わせ持っていると述べている。そして、随意的な運動は大脳皮質などの上位中枢に強く依存し、自動的な運動は皮質下の下位中枢に強く依存すると考えられている。日常生活やスポーツ活動においては、複数の運動を並行していることがあり、その場合には意識の関与が少ない自動化された運動が必要であるといわれている。自動化は、習熟による随意運動の調節様式の変化を捉えた概念であり、以下のようにまとめられている。すなわち、自動化とは、運動を繰り返すことによって運動制御に強く関与する中枢が上位から下位に移行し、運動遂行に対する意識の程度が減少することである。自動化された運動には以下のような特徴があるとされている。(1)運動の遂行時間が短い[30]、(2)繰り返し行う場合の運動の軌道や運動遂行に要する時間の変動が小さい[1]、(3)同時に行う他の身体部位の運動との干渉が小さい[3]。この中で、(3)の現象は、運動調節における中枢神経系の階層概念に対応したものと考えられ、自動化によって運動調節に強く関与する中枢が上位から下位へ移行することで達成されるものと考えられている[23]。外山は、上肢と下肢の機能分化に焦点を当てて、両者の運動間の干渉度を指標に用いて、上肢運動と下肢運動の自動化水準の差異について検討している。上肢または下肢の周期運動時に他肢の一過性運動を挿入した場合の干渉度は、周期的下肢運動時に一過性の上肢運動を挿入した場合の方が小さく、下肢運動の自動化水準は

上肢のものに比べて高いことを明らかにした[24,25,27,28]。このほか、上肢ないし下肢の左右同時運動を行う場合の両運動間の干渉度を指標として、自動化の様相を検討した研究も行われてきた[13,20,21,31]。これまで、複数の運動を並行する場合の干渉度を自動化水準の指標としてきた研究では、一過性の運動と周期運動との組み合わせが多く用いられてきた[1,3]。一過性の運動と周期運動を組み合わせた場合、その干渉は周期運動に現れることが報告されている。これに加えて、周期的な動的姿勢制御と、周期的な眼球運動ないし手指運動を並行する場合にも運動間の干渉が両者に生じることを先に報告した[29]。

運動の制御について検討するとき、立位姿勢の自動化の様相を明らかにすることは重要であると考えられる[2,19]。なぜならば、立位姿勢がヒト特有のものであり、ヒトの運動様式を大きく規定していると思われるからである[14]。これは姿勢制御が種々の運動を行う場合に並行して行われていることを意味するものである。しかし、姿勢制御と他の身体部位の運動を組み合わせて、姿勢制御の自動化の様相について検討した報告は少ない。これまでに、立位で運動を行う場合の姿勢制御、つまり立位での動的姿勢制御を行うためには、姿勢の変化を予測し調節する機能（予測的姿勢制御）が重要な役割を果たしていると考えられている。立位での動的姿勢制御能を評価するための外乱刺激として、種々のものが報告されている。藤原[5,7,8,11]は、床の前後方向の水平周期振動（以下、床振動とする）を外乱刺激として用いた一連の研究において、足圧中心動揺の平均移動速度を指標として動的姿勢制御能を評価し得ること、および学習による姿勢制御の自動化水準の向上について短時間に定量化し得ることを報告している。特に0.5 Hzの床振動では動的姿勢制御の学習が顕著に進むことが示されている。床振動時の姿勢制御が早期に学習される背景には、予測しやすい周期

運動が繰り返し負荷されること、床振動時の姿勢制御において日常で多用している姿勢制御機構を使用し得ることが挙げられている。

本研究では、動的姿勢制御能を評価するために、その学習過程が明らかにされている床振動法を用いた。並行制御する運動としては、先行研究[29]の知見を生かして手指による周期的追従運動を取り上げた。実験１では、健康な大学生を対象に床振動反復負荷時の動的姿勢制御と手指運動の並行制御能について把握し、実験２では、健康な幼児を対象に把握する。そして、大学生と幼児の結果の比較によって、床振動反復負荷時の動的姿勢制御と手指運動の並行制御能の発達の様相を明らかにすることを目的とした。

実　験　1

方　　法

実験1

方法

被験者

被験者は、過去に床振動刺激を負荷されたことがない健康な大学生男女各15名とした。彼らは、実験の主旨について説明を受け、同意して参加した。被験者の身体特性を表1に示した。

装置

全ての測定は、振動台（電子制御グループ、PW0198）に固定した床反力計（パテラ、S110型）の上で、立位で行った。床反力計は、3つの load-cell で構成されたものであり、床振動時の前後方向の足圧中心動揺を検出するために用いた。振動台は正弦波状に周波数 0.5 Hz、前後方向に振幅 2.5 cm で振動させた。振動台の位置は直線型ポテンシオメーター（緑測器、LP10）で検出し、その出力信号を周波数カウンター（ADVANTEST Co. Ltd.、TR-5822）に入力し、振動周波数を設定した。

手指運動で追従する標的光源は、被験者に装着させたゴーグル型ディスプレイ（OLYMPUS、eye-trek）に提示した。標的光源は、視標提示ソフト（エレクトロデザイン社、F-monitor）を用いてコンピューター画面に提示した円（直径1 cm）とした（図1）。ゴーグル型ディスプレイへの標的光源の提示には、ビデオカメラ（SONY、CCD-VX1）を用いた。ビデオカメラのズームを最小に設定し、画面から 44 cm（画面からビデオカメラのズームレバー前端まで）の距離でコンピューター画面を撮影した。これによって、コンピューター画面上の標的光源

を眼球で追従した場合の視角と、ゴーグル型ディスプレイを介して標的光源を眼球で追従した場合の視角が、いずれも左右各10°であることを、眼振図法を用いて確認した。

測定では、外界からの視覚情報を完全に遮断するために、ゴーグル型ディスプレイを布で覆った。

手指運動は、標的光源の追従動作とした。手指運動を把握するために、被験者には、直線型ポテンシオメータ（緑測器、LP250-FXM、重さ 420 g）の本体を左手に持たせた。右手でポテンシオメータのノブを持たせ、その左右方向への移動によって抵抗を変化させた。左右方向への移動距離は 15 cm とした。ゴーグル型ディスプレイ上には、標的光源に加えて、手指運動によって移動する光源（追従光源：1 辺が 1 cm の正方形）を提示した。追従光源は、視標提示ソフトを用いてパーソナルコンピューター画面上に提示し、これを直線型ポテンシオメータの出力電圧の変化で左右方向へ移動させた。

後の分析のために、ポテンシオメータ、床反力計、多機能シンセサイザの出力を、A/D 変換器（Contec、AD12-16U (PCI)E）を介して、サンプリング周波数 1KHz、分解能 12 ビットでパーソナルコンピューター（iiyama、M533MS）に取り込んだ。

実験手順

実験手順を図 2 に、測定状況を図 3 に示した。

測定開始前に、椅座位姿勢で、1 分間の手指運動を 3 回練習させた。被験者が手指運動に十分慣れたことを確認してから、測定を開始した。

被験者には、意図的な膝や腰の屈曲をできるだけ避け、リラックスした立位姿勢を保持するように指示した。最初に、安静立位姿勢で、手指運動を 1 分間行わせた（これをコントロール試行とする）。次に、

床振動時に立位姿勢を保持する試行を６回繰り返した。１試行は１分間とし、試行間に１分間の休憩を設けた。手指運動は第１試行と第６試行で負荷した。手指運動は、床振動開始５秒後から始めた。第２試行～第５試行は閉眼条件下で行った。被験者には、可能な限り正確に視標の移動を手指で追従するよう指示した。

後の分析のために、ポテンショメータ、床反力計、多機能シンセサイザの出力及び、眼振図を、A/D 変換器（Contec、AD12-16U (PCI)E）を介して、サンプリング周波数 1 KHz、分解能 12 ビットでパーソナルコンピューター（iiyama、M533MS）に取り込んだ。

データ処理

分析は、床振動開始 10 秒後から 50 秒間のデータを対象に行った。

床振動時の前後方向の足圧中心動揺の平均移動速度を分析した。足圧中心動揺の平均速度は、サンプリング周波数を 20Hz に再変換した後、重みづけのある５点移動平均法を用いて算出した。平均速度値には以下の式にて身長補正を行った。

補正値＝実測値×160／身長(cm)

手指運動の成績は、標的光源の移動を制御する多機能シンセサイザの出力と手指で操作するポテンショメータの出力に 10 Hz のローパスフィルターをかけた後に、両データの相互相関係数を算出した。

これらの分析には、多用途生体信号解析プログラム BIMTAS-Ⅱ(KISSEI Comtec Co. Ltd.)、および Excel97 (Microsoft Corp.) で作成したプログラムを用いた。

統計処理

足圧中心動揺の平均速度の試行間の差異は、一元配置分散分析を用いて検討した。分散分析の結果示された差異は、Newman-Keuls による多重比較検定を用いて詳細に検討した。標的光源と追従光源の位置の相互相関係数は、z スコアに変換してから検定を行なった。特定の 2 試行間の平均速度の差異は paired-t テストを用いて検討した。有意水準はすべて $p<0.05$ とした。これらの統計は Excel97 (Microsoft Corp.) に加えた Statcel (OMS Co. Ltd.) を用いて行なった。

表１　被験者の身体特性

男子

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	足長(cm)
S	21	169	64.8	24.3
K	19	174	72.6	25.1
M	20	169	61.8	24.3
MM	19	180	76.4	26.3
MMM	19	170	62.2	24.2
I	21	172	60.6	26.3
O	21	168	55.6	24.6
Z	21	168	64.2	26.1
MM	20	183	73.4	27.2
SS	21	171	72.0	25.2
KK	21	176	63.2	25.8
OO	19	169	64.2	25.4
T	20	165	60.4	24.5
SSS	22	163	68.6	25.0
II	22	174	56.4	25.6
人数	15	15	15	15
平均値	20.4	171.4	65.1	25.3
SD	1.1	5.3	6.2	0.9

女子

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	足長(cm)
M	21	164	51.4	24.1
K	21	157	50.0	22.9
S	22	161	49.8	24.2
I	23	156	49.6	21.6
A	19	163	63.4	24.3
KK	19	164	55.6	24.1
SS	23	148	43.6	22.4
N	22	154	47.8	22.5
M	19	160	52.4	23.7
O	19	167	59.0	24.7
Y	22	162	53.2	23.5
T	21	163	47.0	23.3
II	22	155	51.2	22.0
TT	22	160	64.2	23.0
KKK	22	165	47.4	22.7
人数	15	15	15	15
平均値	21.1	159.9	52.4	23.3
SD	1.5	5.1	5.9	0.9

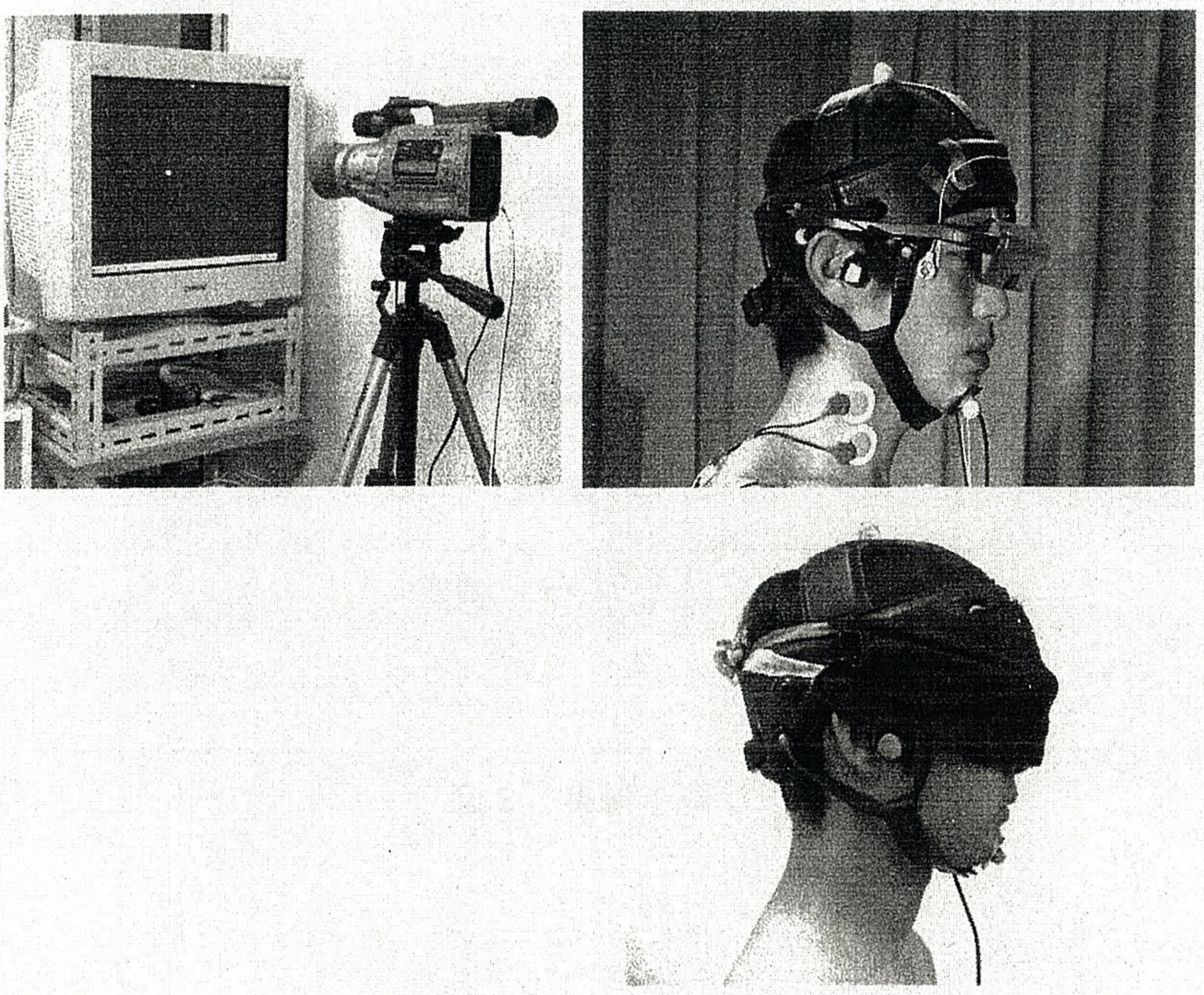
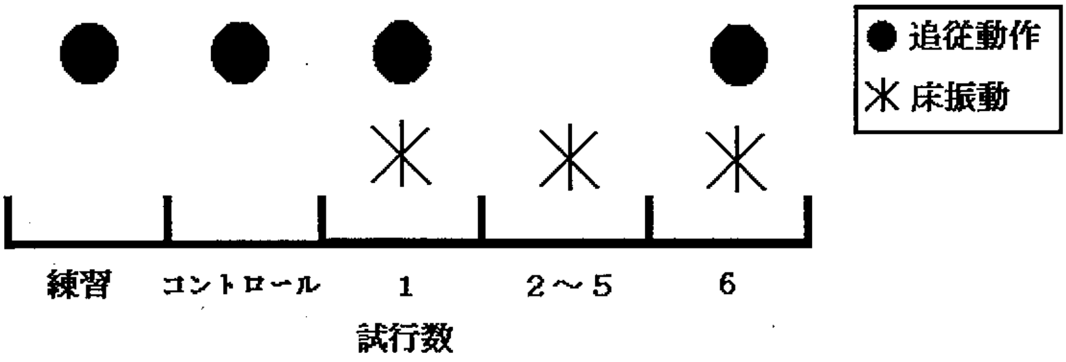


図１　視標



実験プロトコル

図２　実験手順

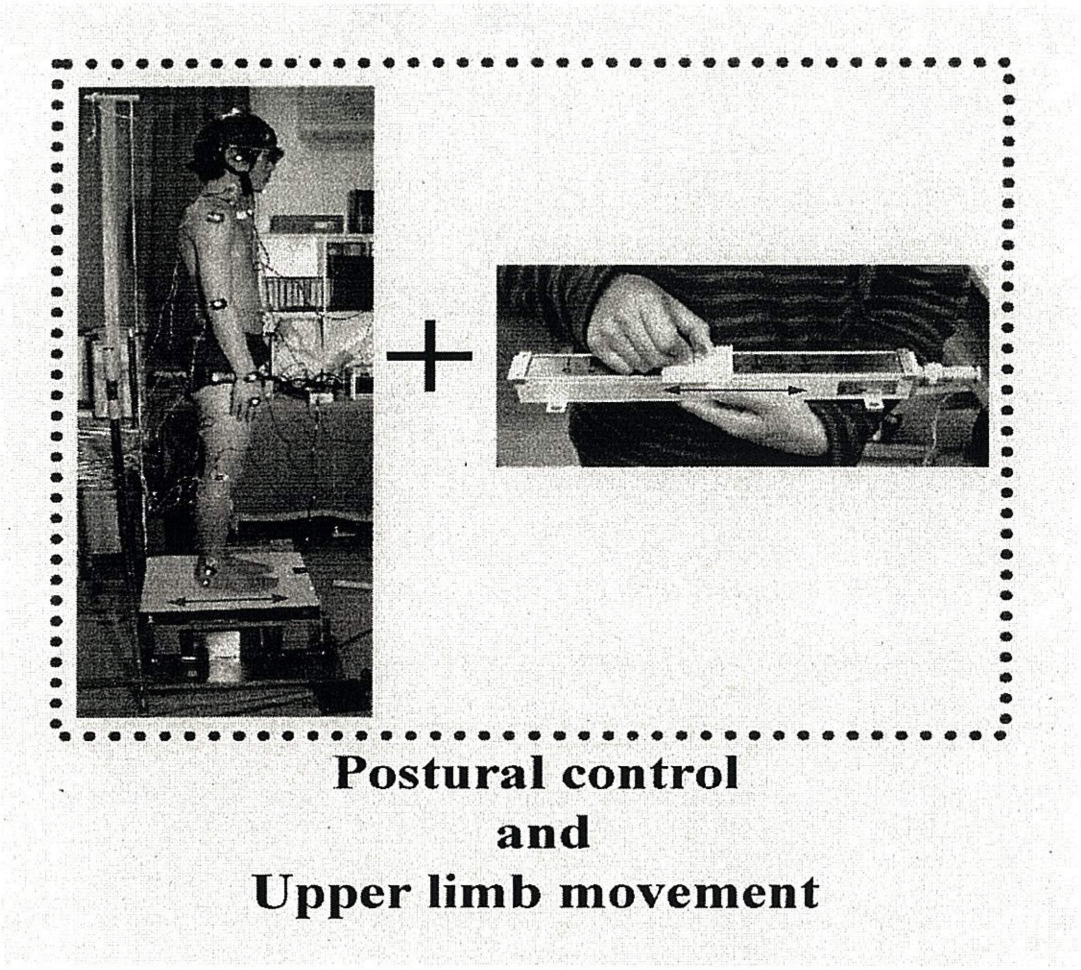


図３　測定状況

実　験　1

結　　果

実験１

結果

第１試行と第６試行における足圧中心動揺と手指運動の代表的な記録波形を**図４**に示した。第１試行では、足圧中心動揺が著しく、標的視標を追従する手指の運動も正確に行えなかった。第６試行では、足圧中心動揺が減少するとともに、標的視標を追従する手指の運動の正確性も向上した。

動的姿勢制御

足圧中心動揺の平均速度（**表２**、**図５**）は、男女ともに、第３試行まで大きく減少した（男子 $F_{5,70}$=9.64, $p<0.001$、女子 $F_{5,70}$=13.24, $p<0.001$)。第３試行～第５試行までは殆ど変化がなく低い値を維持した。第５試行に比べて、それ以前の試行で有意に高い値が認められた試行は、男女ともに第１試行と第２試行であった（$p<0.001$)。第６試行における足圧中心動揺の平均速度は、第５試行に比べて増加する傾向を示し、男女ともに有意差が認められた（$p<0.05$)。ただし、第６試行における足圧中心動揺の平均速度は、男女ともに、第１試行に比べて有意に低い値であった（$p<0.01$)。コントロール試行、第１試行、第６試行における足圧中心動揺の平均速度には、有意な性差が認められなかった。

手指の追従運動

標的視標と追従視標の相互相関係数とそのｚスコアは、男女ともに、第１試行で最も低い値を示した（**表３**、**図６**)。コントロール試行、

第 1 試行、第6試行の相互相関係数は、男子が r=0.994 ± 0.002、r=0.929 ± 0.072、r=0.986 ± 0.013 であり、女子が r=0.993 ± 0.003、r=0.953 ± 0.063、r=0.989 ± 0.007 であった。それぞれの相互相関係数のｚスコアは、男子が 2.916 ± 0.150、1.987 ± 0.670、2.602 ± 0.329 であり、女子が 2.821 ± 0.178、2.109 ± 0.484、2.670 ± 0.253 であった。ｚスコアには、男女ともに、試行による有意差が認められ（男子 $F_{2,28}$=18.93, p<0.001、女子 $F_{2,28}$=29.99, p<0.001）、第 1 試行の値は、コントロール試行と第6試行の値に比べて有意に低かった（p<0.001）。コントロール試行と第6試行との間には有意差が認められなかった。各試行におけるｚスコアには、有意な性差は認められなかった。

Postural control
and
Upper limb control

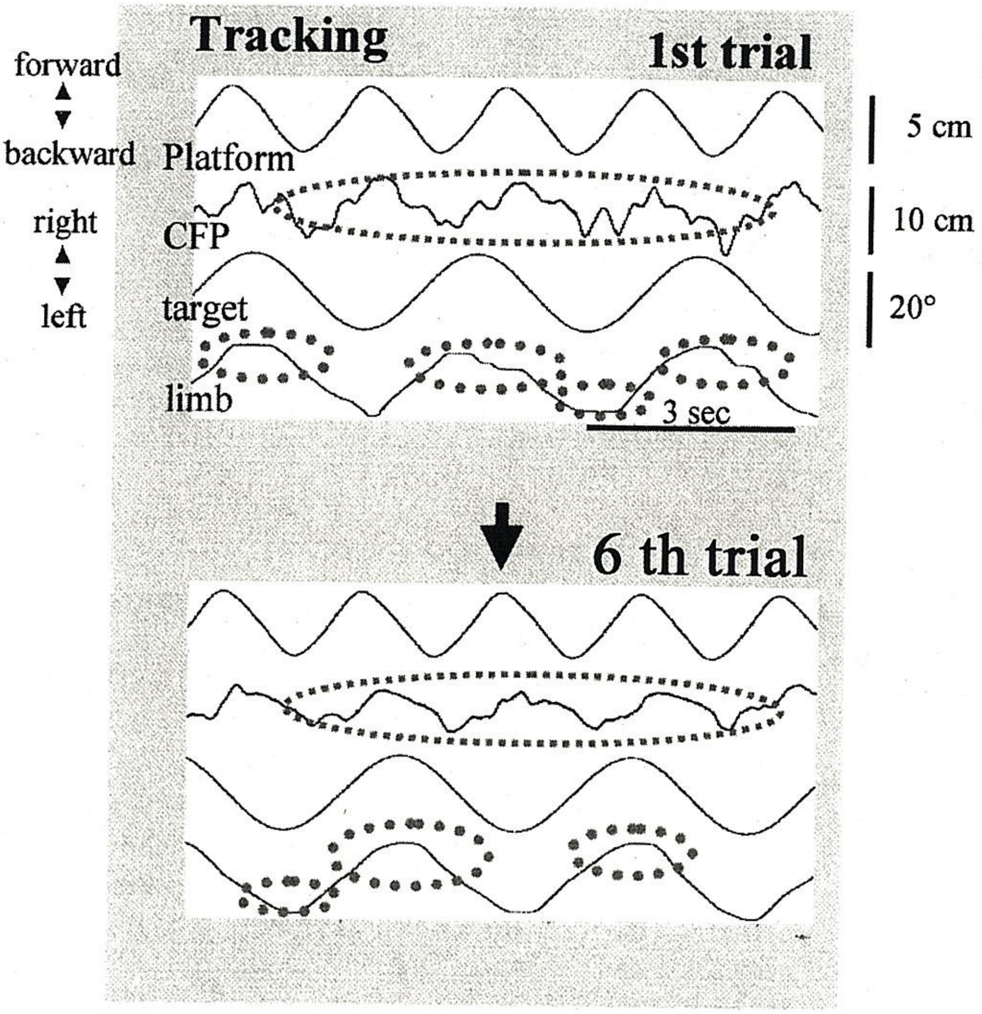


図４　第１試行と第６試行にける代表波形

表２　足圧中心動揺の平均速度（mm/sec.）の変化

男子 被験者	試行 1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
S	109	98	90	65	56	82
K	185	191	190	163	124	139
M	138	121	123	62	66	69
MM	164	161	153	151	130	101
MMM	105	72	82	80	69	84
I	196	118	48	56	49	114
O	165	223	93	51	53	74
Z	95	220	179	159	145	96
MM	102	85	61	63	56	76
SS	141	152	148	112	101	90
KK	230	146	95	107	80	112
OO	67	61	51	54	48	62
T	108	85	58	57	45	78
SSS	73	89	58	47	50	95
II	70	122	107	91	51	71
人数	15	15	15	15	15	15
平均値	130	130	102	88	75	90
SD	50	52	47	41	34	21

女子 被験者	試行 1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
M	112	109	83	89	66	84
K	101	51	50	46	45	87
S	132	83	67	67	61	86
I	77	92	76	68	53	58
A	88	95	60	48	40	66
KK	160	260	84	69	84	85
SS	178	143	94	97	92	123
N	88	64	67	60	57	70
M	124	82	69	69	69	93
O	91	69	69	74	63	95
Y	90	56	63	47	45	69
T	105	104	85	60	57	90
II	79	82	62	52	51	68
TT	115	90	85	77	64	94
KKK	80	59	52	47	39	67
人数	15	15	15	15	15	15
平均値	108	96	71	65	59	82
SD	30	51	13	16	15	16

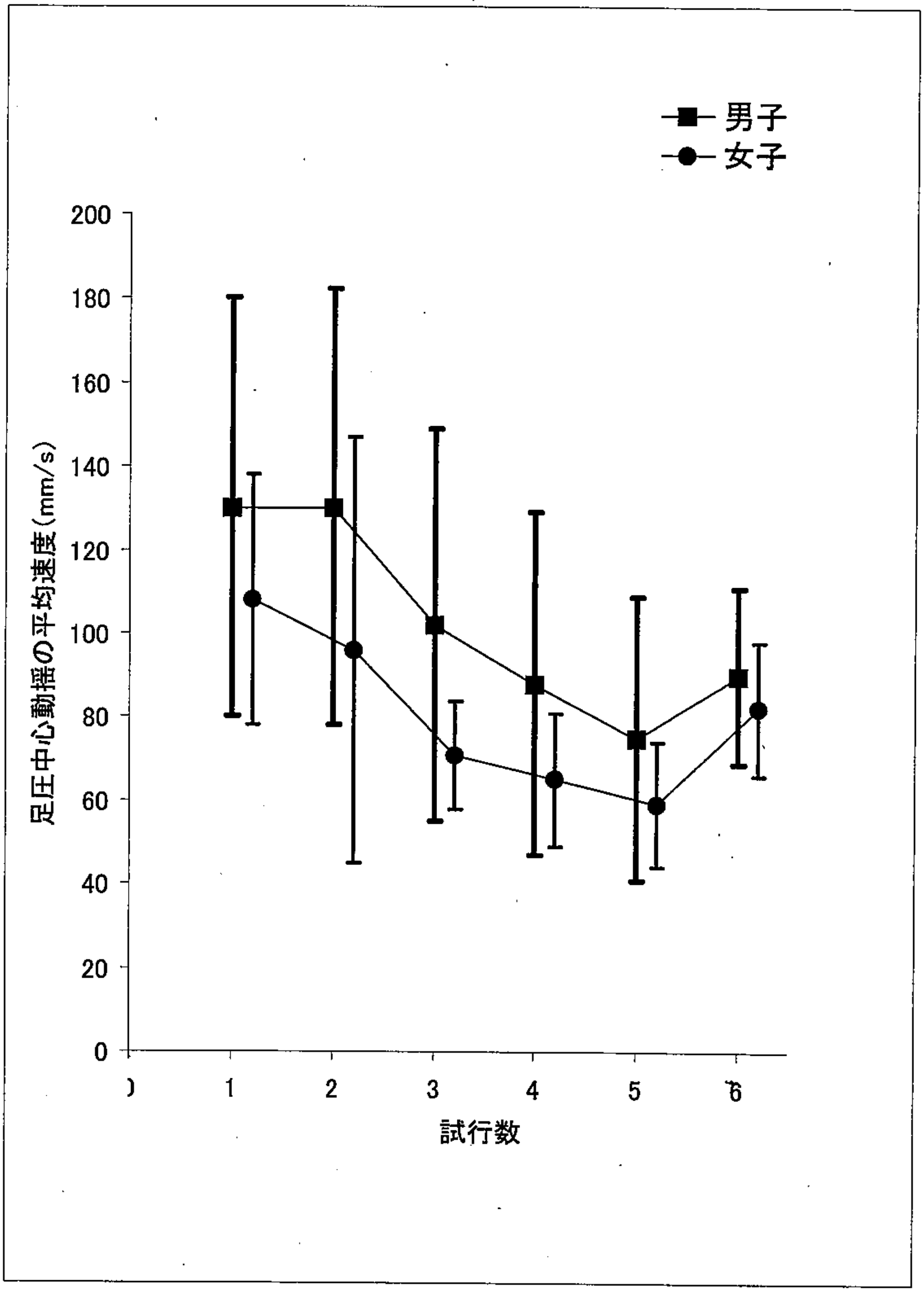


図５　足圧中心動揺の平均速度の変化

表３　標的視標と追従視標との相互相関係数、およびそのz-スコア

男子

氏名	相互相関係数（r）			z-スコア		
	コントロール	1st	6th	コントロール	1st	6th
S	0.996	0.900	0.995	3.136	1.471	2.947
K	0.996	0.817	0.943	3.133	1.148	1.768
M	0.993	0.836	0.995	2.832	1.208	3.007
MM	0.995	0.780	0.992	2.954	1.045	2.747
MMM	0.993	0.987	0.989	2.834	2.524	2.605
I	0.993	0.935	0.983	2.826	1.700	2.392
O	0.993	0.940	0.985	2.838	1.739	2.435
Z	0.996	0.993	0.992	3.136	2.840	2.761
MM	0.992	0.985	0.994	2.758	2.431	2.884
SS	0.992	0.913	0.990	2.738	1.545	2.632
KK	0.994	0.892	0.969	2.925	1.430	2.080
OO	0.993	0.989	0.993	2.808	2.580	2.805
T	0.995	0.990	0.990	3.011	2.629	2.652
SSS	0.992	0.992	0.992	2.731	2.788	2.758
II	0.996	0.992	0.988	3.083	2.728	2.561
人数				15	15	15
平均値				2.916	1.987	2.602
SD				0.150	0.670	0.329

女子

氏名	相互相関係数（r）			z-スコア		
	コントロール	1st	6th	コントロール	1st	6th
M	0.995	0.986	0.993	2.981	2.485	2.800
K	0.992	0.970	0.991	2.756	2.094	2.718
S	0.988	0.883	0.994	2.573	1.389	2.944
I	0.995	0.981	0.993	2.957	2.336	2.792
A	0.993	0.980	0.981	2.857	2.296	2.330
KK	0.993	0.902	0.988	2.853	1.482	2.566
SS	0.994	0.973	0.989	2.873	2.143	2.596
N	0.987	0.755	0.985	2.530	0.985	2.450
M	0.995	0.984	0.994	2.992	2.417	2.903
O	0.992	0.981	0.970	2.737	2.314	2.088
Y	0.989	0.966	0.988	2.591	2.021	2.559
T	0.995	0.984	0.992	3.010	2.397	2.788
II	0.991	0.967	0.991	2.673	2.049	2.706
TT	0.993	0.982	0.991	2.801	2.360	2.702
KKK	0.996	0.994	0.996	3.131	2.868	3.098
人数				15	15	15
平均値				2.821	2.109	2.669
標準誤差				0.178	0.484	0.253

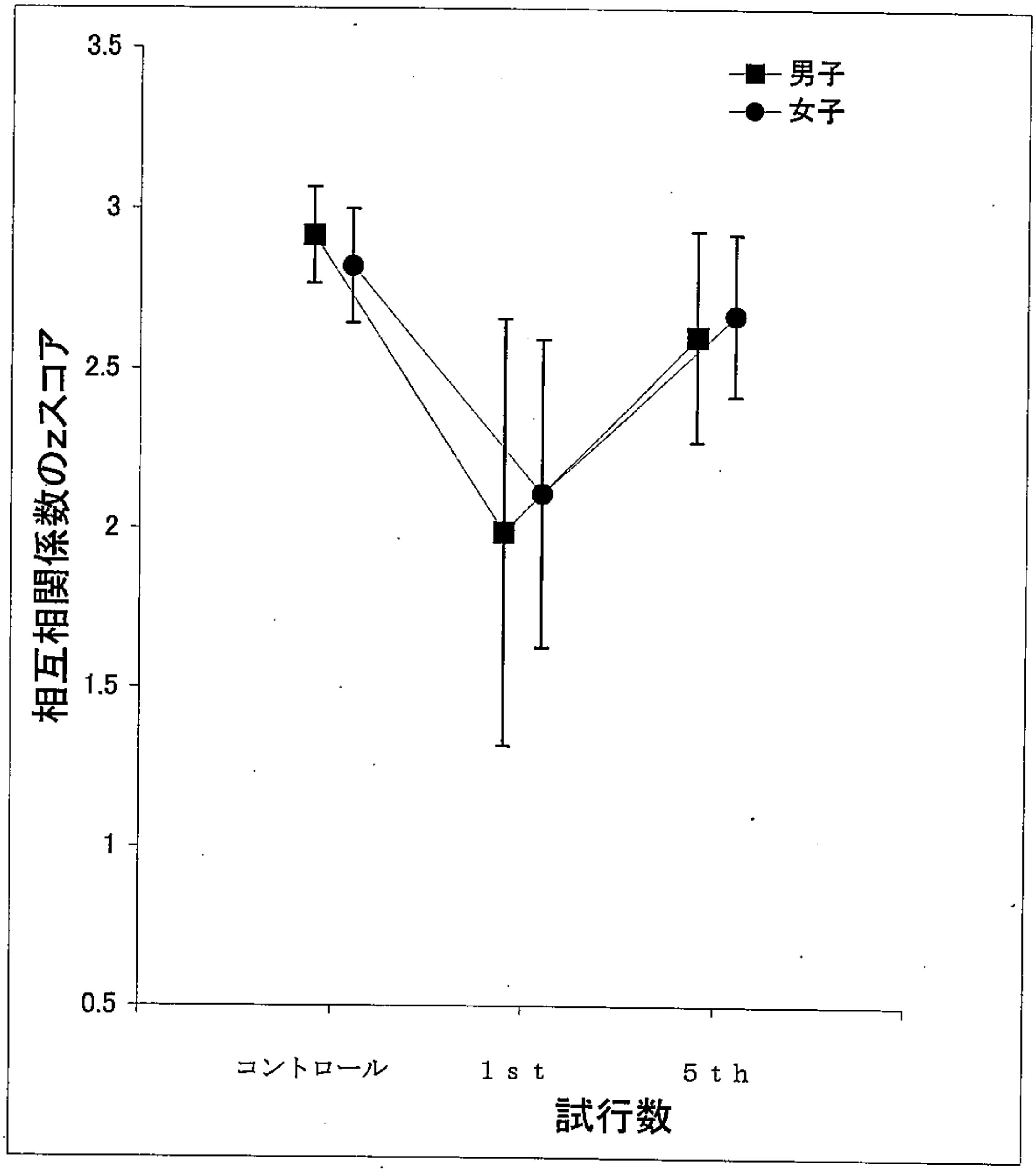


図６　標的視標と追従視標との相互相関係数、およびその z-スコア

実　験　2

方　　法

実験２

方法

被験者

被験者は、過去に床振動刺激を負荷されたことがない健康な５～６歳の幼児３１名（男子２０名、女子１１名）とした。実験の趣旨および課題内容、安全性等について、予め保育園の責任者および保育士に説明し、測定の了承を得た。また、測定の際には、幼児に課題を説明し、積極的に参加する意向を示した者のみを被験者とした。被験者の身体特性を表４に示した。男女の年齢に有意差は認められなかった。

装置

手指運動を把握するために被験者に持たせる直線型ポテンシオメータ以外の装置は、実験１で使用したものと同じである。直線型ポテンシオメータは、実験１に比べて小型、軽量の物を用いた（緑測器、LP-100S、重さ 150 g）。標的指標を追従する際の左右方向への移動距離は、 7 cm とした。

実験手順

実験手順は、実験１と同じである。測定開始前に、椅座位姿勢で、1 分間の手指運動を 3 回練習させた。練習では、保育士の協力を得て、幼児が手指運動の課題を十分に理解したことを確認した。

測定状況を図７に示した。

データ処理と統計処理は、実験１と同様に行った。

表４　被験者の身体特性

男子

被験者	月齢(月)	身長(cm)	体重(kg)	足長(cm)
OK	80	113.0	18.8	17.2
IR	81	112.6	18.4	17.9
KT	80	110.3	18.2	16.5
HT	79	116.0	21.0	17.8
OT	79	119.7	27.4	18.7
ISR	78	118.6	18.7	18.8
SK	78	116.5	19.2	17.5
NT	78	114.6	19.5	18.2
NT	77	116.7	21.0	18.1
NR	76	113.1	17.7	18.1
TR	76	120.4	23.0	20.2
INR	75	111.7	16.2	16.1
KS	74	110.2	17.5	17.3
YK	72	113.4	19.5	17.2
SS	71	108.8	20.3	16.0
SJ	70	112.2	17.5	17.0
YS	64	108.1	17.2	17.4
MM	62	110.4	19.2	17.5
HY	62	110.0	17.5	17.9
IH	60	109.0	18.0	17.7
人数	20	20	20	20
平均値	73.6	113.3	19.3	17.7
SD	6.7	3.7	2.5	1.0

女子

被験者	月齢(月)	身長(cm)	体重(kg)	足長(cm)
KT	79	121.1	21.8	18.5
MK	76	117.0	25.4	19.1
TT	72	112.9	19.4	17.4
KS	71	121.8	23.5	19.2
IA	71	105.1	17.4	17.4
KA	66	107.8	18.0	16.6
YA	65	109.0	18.0	16.2
OS	63	108.0	18.7	17.3
MK	63	107.5	17.6	16.8
TR	62	104.0	15.5	16.3
AM	61	108.4	16.5	16.3
人数	11	11	11	11
平均値	68.1	111.1	19.3	17.4
SD	6.1	6.2	3.1	1.1

図７　練習（左）と測定（右）の状況

実　験　2

結　　果

実験２

結果

動的姿勢制御

足圧中心動揺の平均速度（表５、図８）は、男女ともに、第３試行まで大きく減少した（男子 $F_{5,85}=9.33$, $p<0.001$、女子 $F_{5,50}=3.55$, $p<0.01$）。第３試行～第５試行までは殆ど変化がなく低い値を維持した。第５試行に比べて、それ以前の試行で有意に高い値が認められた試行は、男子では第１試行～第３試行であり（$p<0.05$）、女子では第１試行であった（$p<0.05$）。第６試行における足圧中心動揺の平均速度は、第５試行に比べて男子においてのみ有意に増加した（$p<0.05$）。第６試行における足圧中心動揺の平均速度は、男女ともに、第１試行に比べて有意に低い値であった（$p<0.01$）。コントロール試行、第１試行、第６試行における足圧中心動揺の平均速度には、有意な性差が認められなかった。

手指の追従運動

標的視標と追従視標の相互相関係数とそのｚスコアは、男女ともに、第１試行で最も低い値を示した（表６、図９）。コントロール試行、第１試行、第６試行の相互相関係数は、男子が $r=0.895 \pm 0.075$、$r=0.498 \pm 0.250$、$r=0.757 \pm 0.231$ であり、女子が $r=0.824 \pm 0.133$、$r=0.491 \pm 0.237$、$r=0.635 \pm 0.272$ であった。それぞれの相互相関係数のｚスコアは、男子が 1.419 ± 0.308、0.526 ± 0.380、0.973 ± 0.456 であり、女子が 1.170 ± 0.387、0.537 ± 0.359、0.750 ± 0.443 であった。ｚスコアには、男女ともに、試行による有意差が認められ

（男子 $F_{2,34}$=53.65, p<0.001、女子 $F_{2,20}$=20.70, p<0.001）、第１試行の値は、コントロール試行と第６試行の値に比べて有意に低かった（p<0.001）。また第６試行のｚスコアは、男女ともに、コントロール試行に比べて有意に低かった（p<0.05）。各試行におけるｚスコアには、有意な性差は認められなかった。

表５　足圧中心動揺の平均速度（mm/sec.）の変化

男子	試行					
氏名	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
OK	173	126	134	129	118	135
IR	154	75	155	80	76	130
KT	127	84	87	91	79	111
HT		113	166	149	107	145
OT	161	158	145	116	89	116
ISR	186	238	231	241	161	192
SK	159	54	63	96	98	156
NT	122	118	88	97	86	105
NT	150	98	100	90	116	93
NR		158	131	140	104	144
TR	147	68	71	75	83	99
INR	112	112	125	107	84	110
KS	160	128	119	104	70	97
YK	161	152	106	167	130	140
SS	158	170	116	99	79	136
SJ	294	284	213	220	221	243
YS	103	89	88	56	78	89
MM	116	133	118	106	99	94
HY	126	149	151	99	80	130
IH	156	160	147	157	144	120
人数	18	20	20	20	20	20
平均値	154	133	128	121	105	129
SD	42	55	43	47	37	37

女子	試行					
氏名	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
KT	90	79	71	89	79	85
MK	121	121	129	116	107	121
TT	223	193	110	69	92	180
KS	152	127	142	131	146	146
IA	112	99	97	98	94	101
KA	91	94	102	90	77	69
YA	222	198	174	176	175	202
OS	95	104	80	85	97	86
MK	153	179	168	130	127	87
TR	93	79	50	64	58	64
AM	138	134	122	108	119	111
人数	11	11	11	11	11	11
平均値	135	128	113	105	106	114
SD	49	44	39	32	33	45

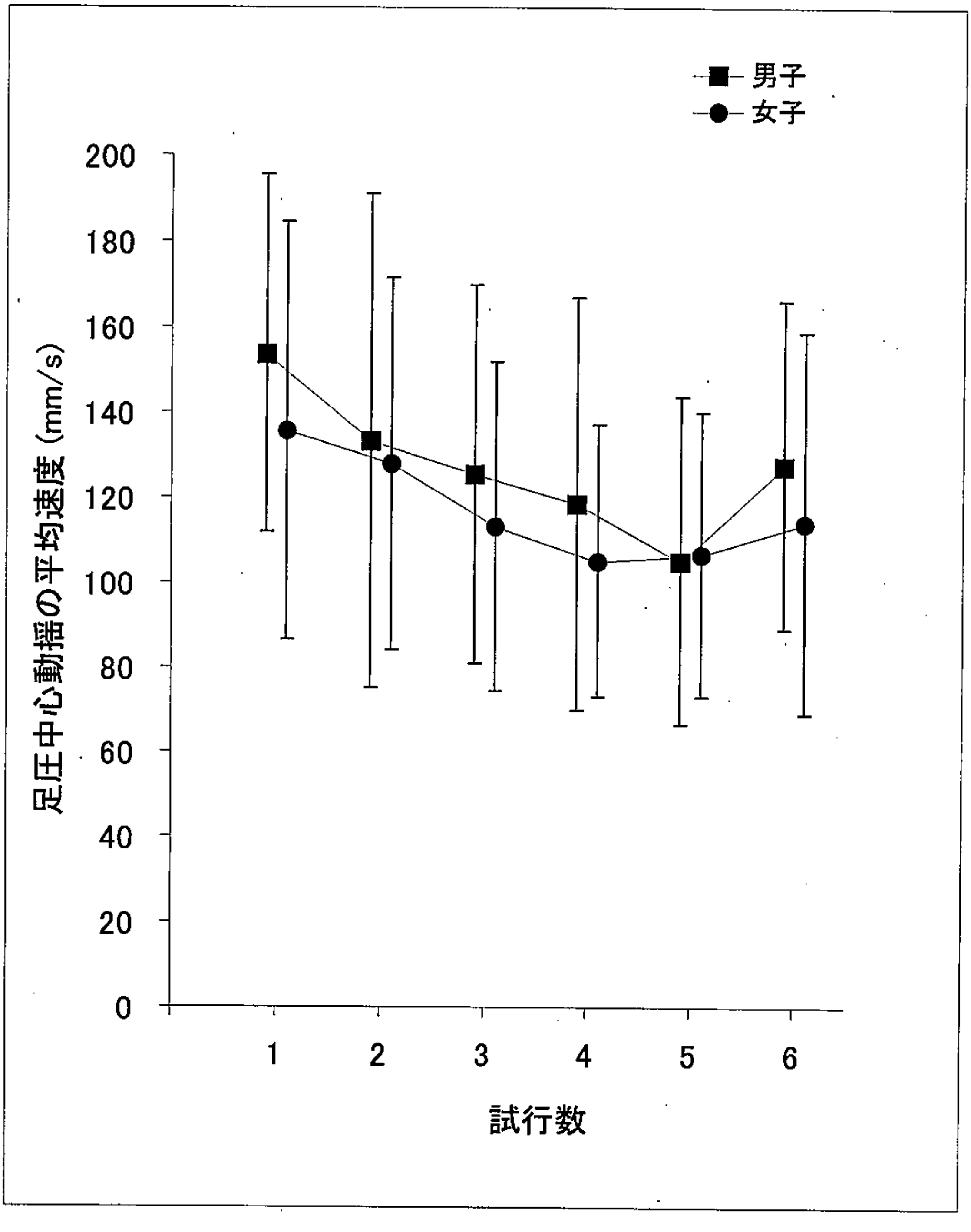


図８　足圧中心動揺の平均速度の変化

表６　標的視標と追従視標との相互相関係数、およびその z-スコア

男子	相互相関係数 (r)			Z-スコア		
氏名	コントロール	1st	6th	コントロール	1st	6th
OK	0.952	0.436	0.827	1.853	0.467	1.179
IR	0.877	0.463	0.805	1.363	0.501	1.113
KT	0.912	0.300	0.289	1.539	0.310	0.297
HT	0.782	0.242	0.754	1.050	0.247	0.982
OT	0.898	0.407	0.841	1.462	0.432	1.225
ISR	0.948	0.444	0.912	1.812	0.477	1.539
SK	0.876	0.779	0.762	1.358	1.043	1.001
NT	0.954	0.840	0.964	1.874	1.221	2.000
NT	0.899	0.644	0.681	1.467	0.765	0.831
NR	0.861	0.401	0.592	1.297	0.425	0.681
TR	0.765	0.140	0.723	1.008	0.141	0.914
INR	0.953	0.836	0.841	1.863	1.208	1.225
KS	0.930	0.228	0.871	1.658	0.232	1.337
YK	0.931	0.869	0.908	1.666	1.329	1.516
SS	0.884	0.301	0.554	1.394	0.311	0.624
SJ	0.897	0.157	0.232	1.457	0.158	0.236
YS	0.819	0.389	0.810	1.154	0.411	1.127
MM	0.813	0.456	0.680	1.136	0.492	0.829
HY	0.673	0.231	0.282	0.816	0.235	0.290
IH	0.817	0.120	0.468	1.148	0.121	0.508
人数				**20**	**20**	**20**
平均値				**1.419**	**0.526**	**0.973**
SD				**0.308**	**0.380**	**0.456**

女子	相互相関係数 (r)			Z-スコア		
氏名	コントロール	1st	6th	コントロール	1st	6th
KT	0.884	0.822	0.838	1.394	1.163	1.214
MK	0.955	0.828	0.870	1.886	1.182	1.333
TT	0.853	0.249	0.338	1.267	0.254	0.352
KS	0.661	0.299	0.186	0.795	0.308	0.188
IA	0.837	0.479	0.867	1.211	0.522	1.321
KA	0.803	0.407	0.592	1.107	0.432	0.681
YA	0.569	0.200	0.134	0.646	0.203	0.135
OS	0.736	0.544	0.777	0.942	0.610	1.038
MK	0.586	0.422	0.387	0.672	0.450	0.408
TR	0.882	0.593	0.716	1.385	0.682	0.899
AM	0.916	0.101	0.595	1.564	0.101	0.685
人数				**11**	**11**	**11**
平均値				**1.170**	**0.537**	**0.750**
SD				**0.387**	**0.359**	**0.443**

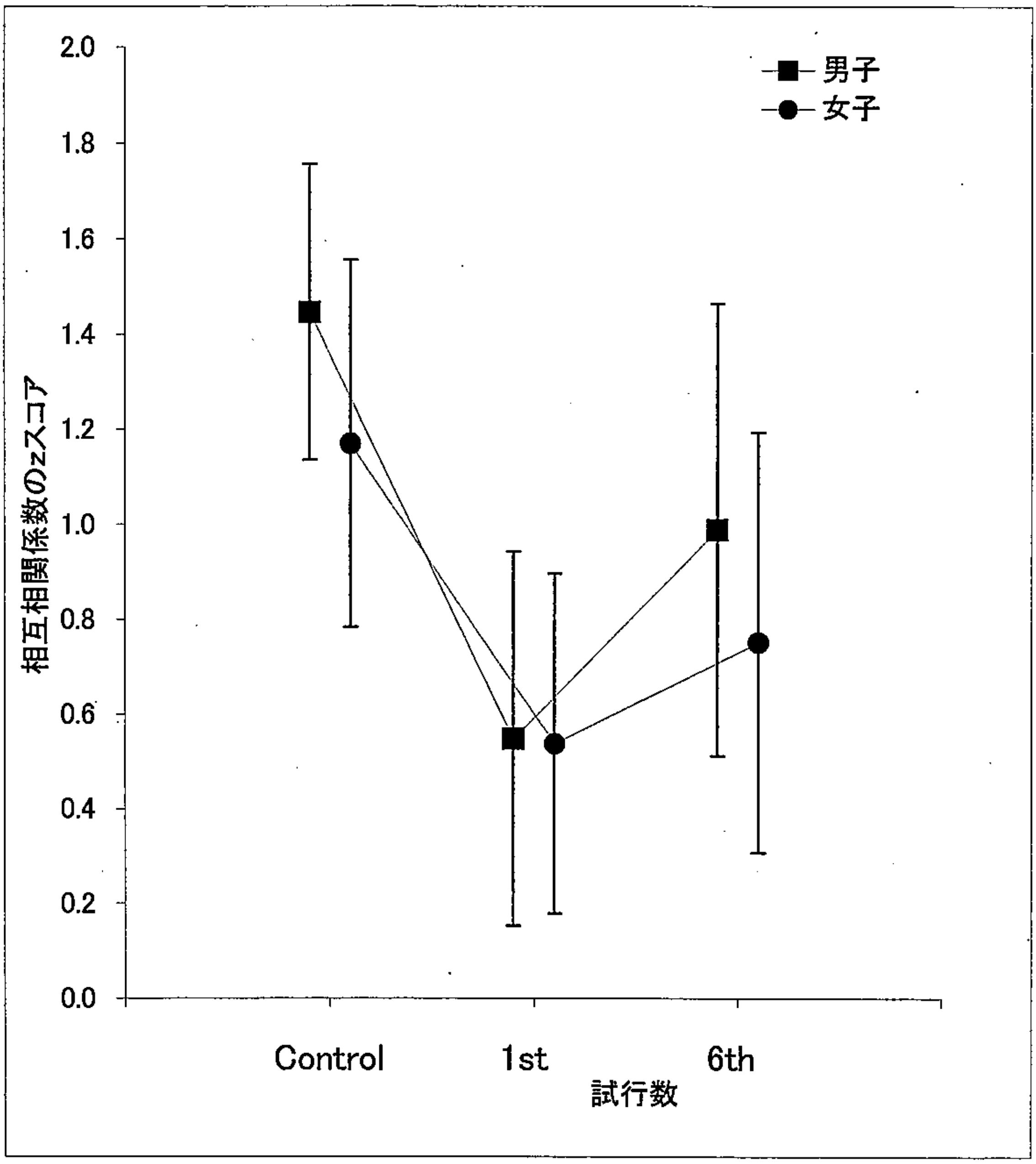


表９　標的視標と追従視標との相互相関係数、およびその z-スコア

考　　察

考察

足圧中心動揺の平均速度は、大学生と幼児ともに、床振動負荷を反復することで有意に減少し、第４試行と第５試行ではほぼプラトーに達した。床振動時の動的姿勢制御が早期に学習され、その後一定の状態を維持するという藤原[7]の先行研究の結果の報告と一致する知見であり、姿勢制御の自動化か進んだことを示すものと考えられる。

大学生では、床振動時の姿勢制御と手指運動を同時に行った第６試行では、その直前の床振動時の姿勢制御のみを行った第５試行に比べて、足圧中心動揺の平均速度が有意に増加した。この現象は、男女に共通していた。５回の床振動による動的姿勢制御の自動化では、手指運動による姿勢制御への干渉があることを示すものと考えられる。一方、幼児では、第６試行にけるこの様な有意な足圧中心動揺の平均速度の増加が、男子では認められ、女子では認められなかった。この結果からは、同一試行数を反復することによる床振動時の動的姿勢制御の自動化が、女子において顕著に進んでいたことが推察される。

標的視標と追従視標の位置の相互相関係数で評価した手指の追従運動の成績は、大学生と幼児の男女において、第１試行がコントロール試行に比べて有意に低下した。動的姿勢制御の自動化が進んでいない場合には、成人でも子どもでも、姿勢を制御することによる干渉が手指運動の制御に現れたものと推察される。第６試行における標的視標と追従視標の位置の相互相関係数のｚスコアは、第１試行に比べて有意に高い値を示した。しかも、大学生では、第６試行のｚスコアはコントロール試行のそれと有意差がなかった。５回の床振動による動的姿勢制御の自動化によって、手指運動の制御を安静立位時と同程度に可能になったものと考えられる。一方、幼児における第６試行のｚスコアは、第１試行に比べて有意に高い値を示したが、コントロール

試行に比べて有意に低い値であった。これらの結果からは、床振動反復負荷による動的姿勢制御の自動化に伴う姿勢と手指運動の並行制御能の向上は、成人に比べて、幼児で低いと考えられる。

本研究の幼児の結果では、動的姿勢と手指運動の並行制御能にける発達に性差のあることが示唆された。男子においてのみ、第6試行における足圧中心動揺の平均速度が、第5試行のそれに比べて有意に高い値を示した。幼児の年齢には、有意な性差が認められていない。男子は、女子に比べて、動的姿勢と手指運動の並行制御能の発達は遅いことが推察される。この様な発達における性差は、上肢運動と下肢運動の並行制御能の発達[26)]や、他の運動機能の発達に関する多くの研究結果[4,6,8,9,15,22)]と一致するものである。

文　　献

文献

1) Bahrick H P, et al. : Time sharing as an index of automation. Journal of Experimental Psychology **56** : 288-293, 1958

2) Brooks V B : The neural basis of motor control. Oxford University Press, Oxford, 1986

3) Cohen L : Interaction between limbs during bimanual voluntary activity. Brain **93** : 259-272, 1970

4) Erbaugh S. J.: The relation of stability performance and the physical growth characteristics of preschool children. Res. Quart.: Exerc. Sport, 55, 8-16, 1984.

5) 藤原勝夫, 他：床振動時の立位姿勢の応答特性. 体育学研究 **29** : 251-261, 1984

6) 藤原勝夫：幼児における床振動時の立位姿勢調節能. 姿勢研究, 6 (1), 19-28, 1986.

7) 藤原勝夫, 他：水平床振動を繰り返し負荷した場合の立位姿勢調節の変化. 体力科学 **37** : 25-36, 1988

8) Fujiwara K, et al. : The learning ability of postural control during horizontal floor vibration for preschool children and adult . Seoul Olympic Scientific Congress Organizing Committee (eds.), NEW HORIZONS OF HUMAN MOVEMENTS, Sport Science Institute Dankook University, Cheonan, 1990

9) Fujiwara K. et al.: Development of the adaptability of postural control during floor vibration. Disorder of posture and gait, 1990 (Brandt T. et al. Eds.), Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 185-189, 1990.

10) 藤原勝夫，外山　寛，浅井　仁，山科忠彦：５歳児における床振動時の動的平衡機能に及ぼす散歩の影響．金沢経済大学人間科学研究所　telos，7，51-55，1991.

11) Fujiwara K, et al.：Adaptability of postural control during floor vibration in the elderly. Taguchi K, et al.(eds.), Vestibular and neural front, Elsevier Science, 1994

12) 福岡義之，他：成人と６歳児における床振動時の立位姿勢調節の学習．姿勢研究８：73-81，1988

13) Gazzaniga M S, et al.：The integrated mind. Plenum Press, New York, 1978

14) 猪飼道夫：動作学．藤森聞一編：運動系の生理学，生理学体系Ⅶ．医学書院，pp717-766，1966

15) Illingworth R. S.：The normal children: some problems of early years and their treatment. Churchill Livingstone, New York, 1979.

16) Jackson J H：Relations of different divisions of the central neurons system to one another and to parts of the body. Lancet, In. Selected writings of John Hughlings Jackson. (1932), vol. Ⅱ (Tailor J. Ed.), 422-443, Hodder and Stoughton, London, 1898

17) Takeo Kiyota and Katsuo Fujiwara: Development of the adaptability of anticipatory postural control while floor oscillation in children. Josef Kollmitzer and Manfred Bijak (eds.), Proceedings of XIVth Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology, Vienna, pp. 370-371, 2002.

18) 国田賢治：眼球運動反応時間に及ぼす頚部前屈姿勢保持の影響．金沢大学大学院自然科学研究科博士論文，1997
19) 水野祥太郎：ヒトの足の研究．医歯薬出版株式会社，1973
20) Ohtsuki T : Increase in simple reaction time of knee extension induced by simultaneous bilateral performance. Percept. Motor Skills 53, 27-30, 1981
21) Posner M I, et al. : Attention demands of movements. In., Proceedings of the 16th international congress of applied psychology (Swets and Zeitliger Eds.), Amsterdam, 418-422, 1969
22) Sattler J. M. and Engelhardt J.: Sex differences on purdue pegboard norms for children. J. Clin. Child Psychol., 11, 72-73, 1972.
23) Smyth M M, et al., 小坂健二監訳：運動行動のメカニズム．pp155-172，建帛社，1990
24) 外山寛，他：自動化水準の異なる下肢の周期運動に対する上肢運動の干渉．体力科学 **37**：44-52，1990
25) 外山寛，他：上・下肢運動の自動化水準に及ぼす運動学習の影響．体力科学 **43**：45-57，1994
26) Toyama H. and Fujiwara K.: Developmental change in insertion phase of transitory upper limb movement while stepping. In., Vestibular and neural front (Taguchi K. et al. Eds.) Elsevier, Amsterdam, 139-142, 1994.
27) 外山寛：上肢運動と下肢運動の干渉現象から見た自動化水準の検討．金沢大学大学院自然科学研究科博士論文，1997
28) Toyama H, et al. : Difference in level of automatization of

upper and lower limb movement. Anthropol Sci **105** : 1-14, 1997

29) 外山寛、藤原勝夫：床振動時の姿勢制御の自動化に伴う眼球と手指の運動制御の変化. 平成12年度～平成13年度科学研究費補助金（(基盤研究（C）(2)）研究成果報告書. 2002.

30) 梁瀬度子：手作業の習熟過程における中枢機能の研究. 奈医誌. 19：240-262, 1968

31) Wyke M : The effects of brain lesions on the performance of bilateral arm movement. Neuropsychologia **9** : 33-42, 1971