

## 風船把持による指先感覚入力が姿勢制御をアシストする

## Body sway decreased on using a floating balloon as a postural control aid

○ 島谷康司(県立広島大学) 島圭介(横浜国立大学)

佐藤元(横浜国立大学) 坂田茉実(横浜国立大学)

Koji SHIMATANI, Prefectural University of Hiroshima

Keisuke SHIMA, Yokohama National University

Gen SATO, Yokohama National University

Mami SAKATA, Yokohama National University

**Abstract:** The purpose of this study was to evaluate the use of a floating balloon as a postural control aid for infants in order to improve unstable walking. Participants were normal initial walking period children, recruited 6 children (4 girls, 2 boys). We calculated body sway using root mean square error (RMS) of the acceleration data of the X-Y-Z axis and examined step length, step width, and center of pressure (COP) in 5 meters normal walking and walking with floating balloon. Floating balloon was significantly smaller than normal walking in RMS. COP in one leg standing phase was well-controlled when using the balloon as a walking aid. Yagurumaki reported that infant walking could become stable when the body sway of one leg standing decreases as an infant walking develops. This study was able to determine that floating balloon could become a walking aid for children.

**Key Words:** floating balloon, walking aid, infant, somatosensory

## 1. はじめに

健やかな発達を促すために養育者による保育実践が展開されてはいるものの、初期歩行の遅れや不安定な歩行を呈する乳幼児の相談が増え、より具体的な対策が望まれている。しかし現状では、初期歩行発達遅延の確立した支援方法はない。

我々は、初期歩行直後の乳児に風船付きの紐を把持させると歩行が安定し、歩行距離が延長することに気付いた。このことは、初期歩行期における乳幼児の新しい歩行支援方法の可能性を示唆している。そこで本研究では、乳児の歩行を支援するために、初期歩行期の乳児に対してヘリウムガス入りの風船付きの紐を把持させた場合の姿勢制御について検証した。

## 2. 対象と方法

本研究の実験構成は、①乳児の通常歩行と風船把持歩行の比較、②乳児風船把持歩行の歩行特性、③若年成人の静止立位時の風船把持の姿勢制御への影響について検証した。

### 2-1 乳児の通常歩行と風船把持歩行の比較

対象は、生後発達に異常をきたしていない初期歩行期乳児3名(男1名,女2名)とした。初期歩行を“3m歩行可能となった時期”と定義し、計測対象期間を初期歩行期から週に1回、合計5回計測した。実験環境は、母親の付添のもと、慣れた実験環境で行った。計測機器は、小型3軸加速度計(MicroStone社製)1機とデジタルビデオカメラ(Sony社製)1台とした。加速度センサの固定部位は、幼児の重心の高さを考慮し、かつ成人の体重心加速度を反映されるとする第3腰椎棘突起に貼付し<sup>(1,2)</sup>、側方成分・垂直成分・前後成分の加速度をとらえられるようにベルトでしっかりと固定した。また、加速度の測定周期は10msとした。デジタルビデオカメラは歩行を正面からとらえるように配置し、実験中の歩行の確認のために使用した。計測条件は、5m歩行距離を自由歩行とし、直径33cmで約10lのヘリウムガス入りキャラクターUFO風船(約2gの浮力)の紐を把持する位置は一定にした。歩行条件は通常歩行を

行うNormal条件と風船付きの紐を把持させるBL条件の2条件としてそれぞれ3試行実施し、各条件のRMSが最小値を示すデータを採用した。統計にはWilcoxonの符号順位と検定を用い、有意水準を5%未満とした。

### 2-2 乳児風船把持歩行の歩行特性

対象は、生後発達に異常をきたしていない初期歩行から約8~10週を経過した乳児3名(男1名,女2名)とした。歩行計測にはシート式下肢加重計(anima社製 ウォークWay MW-1000,歩行路2.4m)を使用した。計測条件は実験①と同様とした。下肢荷重計データ(2.4m間)から左右脚への足底圧軌跡長、左右の各片脚支持期における足底圧中心の変動係数を算出した。統計にはWilcoxonの符号順位と検定を用い、有意水準を5%未満とした。

### 2-3 静止立位時の風船把持の影響

対象は、健常若年成人67名(男性:30名,女性:37名)とした。そのうち28名は動画像測定を同時に行った。重心動揺測定機器としてアニマ社製重心動揺計(GP-6000)を使用した。また、揺らぐ風船を把持した場合の右手関節と体幹部の位置関係を測定するためにmicrosoft社製のKINECT for windowsを使用した。なお、体幹部とは両肩関節と上前腸骨棘を対角に結んだ線の交点とした。測定条件は、何も把持しないNo Contact条件(以下、NC条件)、風船を右手で把持する条件(以下、BL条件)の2条件を設定し、被験者ごとにランダム化して計測を行い、データを比較した。測定肢位は利き足を前に出して踵とつま先を接地させるタンデム立位とした。被験者にはアイマスクを装着させ、さらに閉眼させた。また、NC条件の右上肢は「あたかも風船の紐を持っているかのような姿勢をお願いします」と指示して計測を行った。測定時間は60秒とした。測定の開始は被験者が安定したと感じた際に合図を出させ、その時点から測定を開始した。統計には、総軌跡長、実効値面積(以下、RMS)、左右軌跡長、前後軌跡長の項目それぞれについて、NC条件とBL条件の2群間で対応のあるt検定を行った。なお、有意水準は5%未満とした。

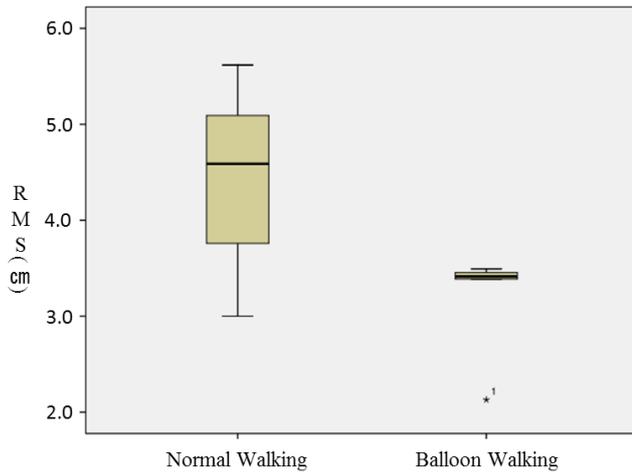


Fig. 1 Result of RMS, comparison with Normal Walking and Balloon Walking.

また，身体の位置関係については右手部と体幹部を指標として，NC条件とLC条件を一元配置分散分析およびTukeyの多重比較検定にて処理を行った。

3. 結果

3-1 乳児の通常歩行と風船把持歩行の比較

風船を把持させた場合のRMSは把持させなかった場合よりも有意に低値 ( $p < 0.05$ ) を示した (Fig.1)。

3-2 乳児風船把持歩行の歩行特性

風船の有無によって歩幅，歩隔，各左右下肢への足底圧軌跡長には有意差はなかった (Table 1)。一方，風船を把持させた場合の各片脚支持期中の足底圧中心の変動係数は有意に低値 ( $p < 0.01$ ) を示した (Table 2)。

Table 1 Comparison with Normal Walking and Balloon Walking of Step Length and Step Width.

		Normal Walking	Balloon Walking
Step Length (cm)	Rt	23.1±3.4	21.2±3.4
	Lt	20.5±4.6	18.2±2.5
Step Width (cm)	Rt	12.3±2.4	11.2±2.5
	Lt	12.0±3.5	14.1±2.4

Table 2 Comparison with Normal Walking and Balloon Walking of COP.

	Normal walking		Balloon Walking		P value
	AV·CV	SD	AV·CV	SD	
Sift of stance phase (n=29 sifts)	16.3 (cm)	8.57 (cm)	14.92 (cm)	8.43 (cm)	0.76
One leg stance phase (n=58 steps)	0.15	0.09	0.05	0.03	0.01 **

Coefficient of Variation (CV), CV=SD/AV

\*\* :  $p < 0.01$

3-3 静止立位時の風船把持の姿勢制御への影響

重心動揺計測の結果，NC条件とBL条件を比較したところ総軌跡長 ( $p < 0.01$ )，左右軌跡長 ( $p < 0.01$ )，前後軌跡長 ( $p < 0.01$ )，RMS ( $P < 0.05$ ) で有意差を認めた。KINECT動画による各身体部位の位置情報から，NC条件とBL条件の右手部と体幹部のRMSについて群間比較した結果，右手部間・体幹部間の両部位に有意差は認められなかった。

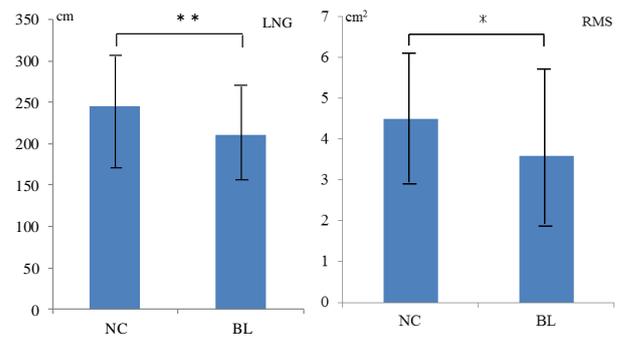


Fig. 2 Result of LNG and RMS, compare with NC and BL.

4. 考察

風船把持歩行の姿勢制御の解釈として，①100g以下の力で指尖が物に軽く触れること (light touch contact: 以下LTC) によって身体各部位と外界との相対的な位置関係を知覚し，姿勢が調整される<sup>(3)</sup>。そして，幼児や高齢者の運動学的歩行特性には多くの共通点があり<sup>(4)</sup>，LTCがその不適当な戦略を好転換すること，②LTCが乳児の姿勢制御の力学的特性を自立歩行後の姿勢制御に類似するように変化させること<sup>(5)</sup>，③乳児の手を介助することによって歩行時の姿勢制御を有意に改善すること<sup>(6)</sup>，④体性感覚の応答潜時は短く，不安定性が生じた場合の姿勢制御は優先的に体性感覚に依存すること<sup>(7)</sup>から，風船を把持することによって手からの体性感覚による感覚情報転換戦略 (Sensory Re-Weighting Theory)をとっていることが予想される。

Sensory Re-weightingとは，高位中枢がすべての感覚を統合し，常に状況に応じて各感覚の再調整と重みづけを行うことであり，多くの研究者に支持されている<sup>(8-12)</sup>。この理論は，乳児にも適用可能な方法であることが報告されている<sup>(5,13)</sup>。つまり，風船把持によって指先からの体性感覚による感覚情報転換戦略をとっていることが予想される。

本研究の乳児の通常歩行と風船把持歩行の比較結果から，風船を把持させた場合のRMSは把持させなかった場合よりも有意に低値を示し，初期歩行間もない乳児にヘリウムガス入り風船付きの紐を把持させると身体動揺が減少することが示唆された。また，乳児の風船把持時の歩行特性として，片脚支持期の動揺を減少させることが明らかとなった。乳児の歩行の発達に関してYaguramakiら<sup>(14)</sup>は，乳児の歩行が安定していく過程の重要な因子として「片脚支持期の身体動揺の減少」を挙げていることから，不安定な状態にある乳児歩行を，風船把持によって歩行の発達過程に近づけることができる可能性があり，つまり風船把持は初期歩行支援法として有意義であることが示唆された。

さらに風船把持の姿勢制御の影響を考察するために，健康成人の静止立位条件で検証した結果，健康成人の静止立位においても風船把持によって重心動揺が減少することが明らかとなった。神崎ら<sup>(15)</sup>は指先触覚が身体と環境との定位に関する求心性情報となり，中枢神経系を介して姿勢制御に寄与していると述べている。また，ヒトの姿勢制御は，フィードバック制御とフィードフォワード制御の両方の形で行われ，様々な環境において平衡を保持しているとも述べている。今回の実験では，風船の紐を把持することで，浮遊する風船付きの紐からの触・圧覚や，指先から上肢にかけての固有受容感覚といった体性感覚情報のフィードバック量が増大し，指，手，腕，体幹部などの各身体部位と外界との相対的な位置関係を知覚することで，姿勢コントロールに働くと考えていた。しかし，KINECTデータより

風船を把持している右手部と腹部の RMS について比較を行った結果、NC 条件と BL 条件の右手部と体幹部の両部位の RMS にそれぞれ有意差は認められなかった。つまり、風船を把持した右手部と体幹部の位置関係には NC 条件と BL 条件では、想定したほど大きな違いがないことが明らかとなった。

しかし、ヒトの身体重心位置の動きと身体部位の左右、前後の動きには相関があり、立位時には各身体部位を前後、左右に微妙に動かしながらバランスをとっていると示していることが報告されている<sup>(16)</sup>。本研究では、実際に風船条件では重心動揺が減少していること、風船把持という条件以外に実験条件に違いがないことから、風船を把持した紐を基準として、主に上肢・体幹を微妙に揺らすことで姿勢制御を行うなど、風船が何らかの影響を及ぼしている可能性が高いことが分かる。

今後は、風船の挙動も含め、風船把持が姿勢制御に与える影響について検証する必要がある。

#### 参考文献

- (1) Auvinet B, Berrut G, Touzard C, Moutel L, Collet N, Chaleil D, Barrey E., Reference data for normal subjects obtained with an accelerometer device. *Gait and Posture* 16, pp. 124-134, 2002.
- (2) Moe-Nilssen R, Helbostad JL., Trunk accelerometry as a measure of balance control during quiet standing. *Gait Posture*. 16, pp. 60-8, 2002.
- (3) Jeka JJ, Light touch contact as a balance aid, *Physical Therapy*, 77, pp. 476-87, 1997.
- (4) Brill B and Brenie`re Y., Posture and independent locomotion in early childhood, learning to walk or learning dynamic postural control?, *The Development of Coordination in Infancy*, edited by Savelsbergh GJP, Amsterdam, Elsevier, pp. 337-358, 1993.
- (5) Chen LC, Metcalfe JS, Chang TY, Jeka JJ, Clark JE., The development of infant upright posture: sway less or sway differently?, *Exp Brain Res*, 186, pp. 293-303, 2008.
- (6) Ivanenko YP, Dominici N, Cappellini G, Lacquaniti F., Kinematics in newly walking toddlers does not depend upon postural stability, *J Neurophysiol*, 94, pp. 754-63, 2005.
- (7) Horak F. B., Diener H. C., Cerebellar control of postural scaling and central set in stance, *Journal of Neurophysiology* Vol. 72, pp. 479-493, 1994.
- (8) Hwang S, Agada P, Kiemel T, Jeka JJ., Dynamic reweighting of three modalities for sensor fusion, *PLoS ONE*, 9(1): e88132. doi:10.1371/ journal.pone.0088132, 2014.
- (9) Polastri PF, Barela JA, Kiemel T, Jeka JJ., Dynamics of inter-modality re-weighting during human postural control, *Exp Brain Res*, 223, pp. 99-108, 2012.
- (10) Mahboobin A, Loughlin P, Atkeson C, Redfern M., A mechanism for sensory re-weighting in postural control, *Med Biol Eng Comput*, 47, pp. 921-929, 2009.
- (11) Polastri PF, Barela JA, Kiemel T, Jeka JJ., Dynamics of inter-modality re-weighting during human postural control, *Exp Brain Res*, 223, pp. 99-108, 2012.
- (12) Hwang S, Agada P, Kiemel T, Jeka JJ., Identification of the Unstable Human Postural Control System, *Front Syst Neurosci.*, 11, pp. 10:22, 2016.
- (13) Bair WN1, Kiemel T, Jeka JJ, Clark JE., Development of multisensory reweighting for posture control in children, *Exp Brain Res*, 183, pp. 435-446, 2007.
- (14) Yaguramaki N, Kimura T., Acquirement of stability and mobility in infant gait, *Gait and Posture*, 16, 69-77, 2002.
- (15) 神崎素樹, 政二慶, 指先接触による求心性情報が高齢者の立位バランス能力向上に及ぼす影響, 第25回健康医科学研究助成論文集, pp. 52-62, 2010.
- (16) 山本撰, 柴田典子, 重心動揺と身体動揺, 理学療法 進歩と展望8, pp. 28-29, 1993.