

# 兒童平衡控制能力之發展

林尚武 / 陳重佑

國立臺灣體育學院

## 摘要

兒童姿勢平衡控制發展的過程，是動作發展領域中一個相當重要的課題。過去有關於姿勢平衡控制的發展，多從神經成熟觀點加以探討。然而，由於在兒童平衡控制發展的過程當中可以發現，兒童平衡控制並非呈線性的發展，此外，兒童平衡控制也受許多不同因素的影響。因此，本文除了整理過去兒童平衡控制研究結果，以了解不同年齡兒童平衡控制外，最主要的在於透過動態系統觀點，從環境、工作及個體三個向度，對影響兒童平衡控制發展的相關因素加以探討，以更進一步了解兒童平衡控制發展的過程，並提供未來兒童平衡控制研究的新思考方向。

關鍵詞：動態系統、平衡、兒童、動作發展

## 壹、緒論

在日常的生活當中，不論是靜態或是動態的活動，平衡控制是影響動作表現相當重要的基本技能（Gallahue & Ozmun, 2002；Massion & Woollacott, 1996），也是避免跌倒或是運動傷害發生的重要因素。平衡控制如同其它的動作基本能力，也會因年齡的增長而發展（Gallahue & Ozmun, 2002）。由於人體的平衡與姿勢控制對人類的生活是如此的重要，因此有關兒童平衡控制的發展情形，也就值得進一步深入探討。

## 貳、平衡控制發展的理論基礎

### 一、反射層級模式（reflex-hierarchical model）

早期動作發展研究對於動作發展的原因，主要持神經成熟觀點（Gesell, 1954；McGraw, 1943），此學派的學者認為動作的發展是由於中樞神經系統的成熟，因此主要由遺傳基因所決定，具有普遍的共通性。而姿勢控制發展的過程，則可由反射層級模式加以說明。反射層級模式認為隨著個體的成熟，更高水準的反射會取代較為低水準、基本的反射，因而產生更高水準的動作（Woollacott, Assaiante & Amblard, 1996）。而從爬、坐、站到獨立行走或是平衡的不同動作的發展，則是因為更高水準的中樞神經成熟所致（Woollacott & Shumway-Cook, 1990）不過，之後開始有許多學者對這樣的觀點提出質疑，Thelen（1983）認為在兒童出生後2個月這段時期，腿的重量迅速增加，然而肌力卻沒有同時增加，因此相對而言，腿的肌力不足以將腳舉起，使得兒童的走路反射（walking reflex）消失。這顯示出基本反射的消失，並非只是因為神經成熟的過程；相反的，某些個體（individual）因素的改變，也會造成基本反射的消失。另外，Haas及Diener（1988）以6個月到15歲的兒童為實驗參與對象發現，活動練習增多，會使得幫助姿勢平衡控制的預期姿勢控制行為增加。因此研究者認為，姿勢平衡控制的發展，並不能只是以更複雜的神經成熟來加以解釋。

## 二、動態系統（dynamic systems）觀點

自從Bernstein（1967）提出自由度的問題、周邊不確定性及功能協同等對動作發展與控制的解釋，動作發展的思維開始趨向於動態系統的概念模式。這個模式與動作發展成熟觀點（maturational perspective）不同，成熟觀點認為，中樞神經的成熟是主要影響動作發展的要素；然而動態系統認為，某些動作的出現，是受到許多關鍵因素的控制。這些因素可分為環境（environment）、工作（task）與個體（individual）三個次系統（sub-systems），中樞神經只是個體次系統的其中一個要素，而由於這三個次系統的交互作用，人體透過自發的自成組織（spontaneous self-organization），產生了特定的動作型態。另外，這三個次系統它們對動作的發展有所謂速率限制（rate-limiting）的影響，意思是在這些因素的某些限制下，新的動作並無法出現，而當這些速率限制中最慢的因素成熟後，另一個新的動作才會出現。最後，動態系統認為動作的發展是不連續性的（discontinuous），動作常是以突現（emerging）的階段方式發展，例如隨著跑步速度的持續增加，馬會產生從走到小跑（trot）再到快跑（gallop）的三種不同腳步動作型態（Haywood & Getchell, 2001）。此外在動作穩定的階段，由於動作本身吸引子（attractor）的影響，動作不

易產生改變，然而由於環境、工作與個體某些條件的變化，動作開始產生不穩定的狀態（instability），而此時即是動作轉換（transition）的關鍵期，經過這個階段的發展後，動作即進入另一個穩定階段（Magill, 1998）。

## 參、兒童平衡控制感覺訊息運用的發展

人體平衡控制機制的感覺訊息來源，主要可以分為視覺系統（visual system）、前庭系統（vestibular system）與身體感覺系統（somatosensory system）。這些訊息提供中樞神經系統有關於身體的位置或活動狀態，並在比較這些不同來源的訊息後，加以整合評估（integration evaluation），產生適當的肌肉反應，以維持人體的平衡（Diener & Dichgans, 1988）。

就姿勢平衡控制發展過程中，不同年齡兒童對於感覺訊息來源的運用方面，早期兒童如坐、爬、站、走等動作發展，以及其它基本運動能力的獲得，在3歲以前，主要是以視覺為姿勢平衡控制的訊息來源（Woollacott, Shumway-Cook & Williams, 1989）。Bertenthal、Rose 和 Bai（1997）發現5到13個月大的兒童，即使前庭與本體感覺並沒有身體擺動的訊息，也會因為視覺房間移動所產生的視線流動（optical flow），以為是自己身體產生了擺動，而產生調整姿勢的肌肉反應。因此這個時期的兒童，主要是以視覺為姿勢調整的訊息來源。到了4到6歲這個階段，兒童開始學習使用其它如前庭、身體感覺訊息，並將這些視覺、前庭與身體感覺三種不同來源的感覺訊息加以整合，以完成身體的平衡控制（Woollacott, Shumway-Cook & Williams, 1989）。此外，有關於解決外在環境改變，所產生不同感覺訊息衝突的能力方面，Forssberg 和 Nashner（1982）以1.5歲到10歲的兒童為實驗參與對象，發現當來自於支撐表面的本體感覺及視覺，均隨著身體擺動相對不變，而造成與前庭訊息相衝突的情況下，7.5歲以下兒童，其肌電訊號反應前潛伏時間與幅度的變化，均比7.5歲以上的兒童要大。研究結果因此認為，7.5歲以下的兒童，還沒有能力去應付來自於支撐表面及視覺環境，所傳達的不正確感覺訊息。而 Shumway-Cook 及 Woollacott（1985）以15個月大到10歲的兒童為實驗參與對象，研究結果發現15到31個月大的兒童，無法解決不同的感覺衝突。這種解決不同感覺衝突的能力，在4到6歲時才會出現，到了7歲以後才會有充分的發展。

## 肆、兒童平衡控制的發展

### 一、靜態平衡 (static balance) 控制發展

平衡發展的相關研究，以往在一般正常情境下，以不同條件靜態平衡動作發展的調查研究結果中可以發現，對於5歲以前的兒童而言，單足站立並不是適當的靜態平衡測量方式。這時期兒童靜態平衡測量方式，最好採用雙足站立，隨著年齡增加減少雙足分開的距離。4歲時的兒童即可以併足站立，到了7歲時，兒童才能表現閉眼單足站立動作 (Cratty, 1986)。此外，大部份的研究結果發現，兒童的靜態平衡控制隨著年齡的增長而進步 (Cratty, 1986; DeOreo & Wade, 1971; Gallahue & Ozmun, 2002)。不過值得注意的是，這些研究大都以平衡的時間，或是可以達到什麼難度的平衡動作，為靜態平衡控制的評量方式。但是其缺點在於即使達到相同的平衡時間，或是表現出相同的動作難度，不同兒童身體的擺動 (sway) 情形可能並不相同。因此在實驗室中又有使用測力板 (force platform) 為測量工具，針對人體平衡時壓力中心 (centre of pressure) 的變化，以更深入了解靜態平衡控制時，身體擺動的年齡差異情形。如 Taguchi 及 Tada (1988) 以4到29歲的60名健康實驗參與對象，通過平衡穩定測量板 (stabilometer platform)，測量1分鐘開眼與閉眼雙足站立平衡。研究的結果發現，雖然平衡控制隨著年齡的增加而逐漸成熟，然而各參數達到成熟的年齡則略有不同。在身體重心面積 (area occupied by the body's center of gravity) 方面，開眼時9到12歲、閉眼時12至15歲即達到成人水準；在重心軌跡長度 (locus length traced by the body's center of gravity) 及身體擺動速度 (velocity of body sway) 方面，不論是開眼與閉眼，到了12至15歲即達到成人水準；在身體擺動最大幅度 (maximum amplitudes of body sway) 的表現上，前後方向的擺動幅度9至12歲組即達到成人水準；但是在左右方向的擺動幅度，則要到12至15歲組才會達到成人水準。

### 二、動態平衡 (dynamic balance) 控制發展

對於一般情境動態平衡控制的調查研究，幼童動態平衡的測量，一開始通常是以沿著地面上的線行走為方式加以評估。到了4、5歲左右，兒童開始可以在4英吋寬、6英吋高的平衡木 (beam walking) 上，以後腳接在前腳 (shuffle step) 的方式前進。之後隨著練習的次數增加及年齡的增長成熟，才能以交換步 (alternate

step)的正常步態前進(Cratty, 1986)。就整體而言,兒童的動態平衡與靜態平衡控制情形相似,也是隨著年齡的增加而進步(Seashore, 1949; DeOreo & Wade, 1971; Cratty, 1986)。不過研究結果仍有不一致的地方。例如Bachman(1961)以平衡測量板(stabilometer)的平衡為測量方式,卻發現隨著年齡的增加,兒童的平衡控制有下降的現象。Eckert及Rarick(1975)利用平衡測量板為測量工具,研究結果發現雖然隨著年齡的增加,動態平衡穩定控制有愈好的趨勢,但是這些年齡上的差異情形並未達顯著差異。

近年來許多學者也開始從實驗設計方面著手,並以精密的肌電圖、裝置有測力板可以前後移動旋轉的平台,及影片分析技術為測量工具,以了解在不同情境的干擾下,兒童平衡控制發展的情形。從這些研究中雖然可以發現隨著年齡的增加,兒童的平衡控制愈接近成人的平衡控制型態,然而在動態平衡控制的發展過程當中,卻發現了幾個階段性發展的現象。如Woollacott及Sveistrup(1992)研究發現,出生到13個月大的兒童會經歷拉著東西站立、開始獨立站立與開始獨立行走等動作發展。當兒童面對新的動作時,一開始的動態平衡反應會有短暫退化的現象;然而等到兒童掌握了新的動作型式後,平衡控制又會回復應有的表現。此外,到了14個月大的時候,由於兒童在動態平衡時,開始嘗試軀幹伸肌(trunk extensor)、腓腸肌(gastrocnemius)、腿後肌腱群(hamstrings)結合反應,及腓腸肌、腿後肌腱群結合而軀幹伸肌延後反應,二種不同平衡控制策略,因此平衡反應又出現退化的現象。從這個研究中可以發現,當兒童開始面對不同的動作,或是學習不同的平衡控制策略時,由於造成了工作條件的改變,因此使得原有的平衡控制型態,產生了階段性退化的現象。另外在兒童平衡控制的發展當中,4到6歲這段時期,是平衡控制另一個不穩定的階段,這是因為這個時期的兒童開始改變姿勢控制感覺來源。從早期主要依賴視覺為感覺來源,轉換為與成人相同,將身體感覺與視覺加以整合,當作感覺訊息來源。而這個時期的階段性退化現象,與身體肢段、軀幹比例及身體質量並無關係(Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Woollacott, Debu & Mowatt, 1987)。因此,4到6歲這個時期的兒童,由於感覺訊息來源的個體條件改變,再次使得平衡控制型態,出現階段性退化的現象。

至於動態平衡控制的成熟時間,這類透過改變情境的動態平衡研究大致上認為,兒童在7到10歲這段時期,平衡控制就會達到成熟(Shumway-Cook & Woollacott, 1985; Woollacott, Shumway-Cook & Williams, 1989; Woollacott, Debu & Mowatt, 1987)。然而值得注意的是,在Woollacott、Debu及Mowatt(1987)的研究中對於平台移動速度加以操弄,發現在慢速移動的平台干擾下,雖

然7至10歲兒童會展現出類似成人的平衡控制；但是在更快速移動平台的環境條件要求下，這種成熟的平衡控制型態仍會消失。

對於以往動態平衡研究產生許多不同的研究結果，Haywood 及 Getchell (2001) 從動態系統觀點認為，以往動態平衡研究的平衡動作情境操弄並不一致，而不同平衡動作的工作與環境限制 (constraints) 並不相同，將可能造成不同的發展趨勢。Haywood (1993) 認為平衡控制並非是一般能力，而是與特定的平衡動作有關，在某一個平衡動作表現良好，並不代表在另外一個平衡動作也可以相同的表現。此外，Haywood 也認為某些時期動態平衡控制的退化 (regression)，可能是一種質的改變 (qualitative improvements)。兒童爲了要能夠更爲有效率的表現平衡控制，一開始可能會在表現上有短暫的退化現象；但是等到質的改變完成後，兒童將能更有效率地完成平衡控制。就動作發展的動態系統觀點而言，姿勢平衡控制的發展並不單只是神經成熟的作用，此過程是受環境、工作及個體三個次系統條件所共同影響。當這些條件的因素改變時，會產生平衡控制型態不穩定的短暫退化階段。而經過了這個階段的轉換後，平衡控制型態即發展到另一個穩定的階段。因此，姿勢平衡控制的發展，並非隨著年齡的增長呈線性的進展，而是在不同年齡呈現階段性的發展。而由此也可以發現，動態系統的觀點比反射層級模式的神經成熟觀點，更可以提供兒童平衡控制動作發展過程中，不同平衡控制型態的產生原因。

## 伍、結 論

平衡的控制機制是由神經肌肉、感覺系統等個體條件所共同參與完成的，此外平衡控制也受不同的環境與工作條件的影響。在平衡控制的發展上，雖然不論是靜態或是動態平衡控制，均隨著成長與成熟的歷程而愈趨成熟。但在這個發展的過程當中，也可以發現平衡控制並非呈線性的發展，當兒童面對新的動作、學習不同的動作控制策略、改變感覺訊息來源及外在環境要求不同時，會使得平衡控制產生退化現象。值得注意的是，不同的平衡動作可能因爲所造成的環境、工作條件的不同，而有各自不同的動作發展趨勢。因此，透過動態系統的觀點來了解兒童平衡控制的發展，將能使我們更深入了解平衡控制發展的過程，也提供未來平衡控制發展研究的新思考方向。

## 引用文獻

- Bachman, J. C. (1961). Motor learning and performance as related to age and sex in two measures of balance coordination. Research Quarterly, 32, 123-137.
- Bernstein, N. A. (1967). The coordination and regulation of movements. Oxford : Oxford University.
- Bertenthal, B. I., Rose, J. L., & Bai, D. L. (1997). Perception-action coupling in the development of visual control of posture. Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, 23, 1631-1643.
- Cratty, B. J. (1986). Perceptual and motor development in infants and children. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
- DeOreo, K. L., & Wade, M. G. (1971). Dynamic and static balancing ability of preschool children. Journal of Motor Behavior, 3, 326-335.
- Diener, H. C., & Dichgans, J. (1988). On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. Progress in Brain Research, 76, 253-262.
- Eckert, H. M., & Rarick, G. L. (1975). Stabliometer performance of educable mentally retarded and normal children. Research Quarterly, 47, 619-623.
- Forsberg, H., & Nashner, L.M. (1982). Ontogenetic development of postural control in man : Adaptation to altered support and visual conditions during stance. The Journal of Neuroscience, 2, 545-552.
- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (2002). Understanding motor development : Infants, children, adolescents, adults (5th ed.). Singapore : McGraw-Hill.
- Gesell, A. (1954). The ontogenesis of infant behavior. In L. Carmichael (Ed.), Manual of child psychology (pp. 225-331). New York : Wiley.
- Haas, G., & Diener, H. C. (1988). Development of stance control in children. In B. Amblard, A. Berthoz, & F. Clarac (Eds.), Posture and gait development, adaptation and modulation (pp. 49-58). Amsterdam : Elsevier Science.
- Haywood, K. M. (1993). Life span motor development (2<sup>nd</sup> ed.). Champaign, IL : Human Kinetics.
- Haywood, K. M., & Getchell, N. (2001). Life span motor development (3<sup>rd</sup> ed.). Champaign, IL :

Human Kinetics.

- Magill, R. A. (1998). Motor learning : Concepts and applications. Singapore : McGraw-Hill.
- Massion, J., & Woollacott, M. H. (1996). Posture and equilibrium. In A. M. Bronstein, T. Brandt, & M. H. Woollacott (Eds.), Clinical disorders of balance, posture and gait (pp. 1-18). New York : Oxford University.
- McGraw, M. B. (1943). The neuromuscular maturation of the human infant. New York : Columbia University.
- Seashore, H. G. (1949). The development of a beam walking test and its use in measuring development of balance in children. Research Quarterly, 18, 246-259.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1985). The growth of stability : postural control from a developmental perspective. Journal of Motor Behavior, 17, 131-147.
- Taguchi, K., & Tada, C. (1988). Change of body sway with growth of children. In B. Amblard, A. Berthoz, & F. Clarac (Eds.), Posture and gait development, adaptation and modulation (pp. 59-65). Amsterdam : Elsevier Science.
- Thelen, E. (1983). Learning to walk is still an "old" problem : A reply to Zelazo. Journal of Motor Behavior, 15, 139-161.
- Woollacott, M. H., & Shumway-Cook, A. (1990). Changes in posture control across the life span - a systems approach. Physical Therapy, 70, 799-807.
- Woollacott, M. H., Assaiante, C., & Amblard, B. (1996). Development of balance and gait control. In A. M. Bronstein, T. Brandt, & M. H. Woollacott (Eds.), Clinical disorders of balance, posture and gait (pp. 41-63). New York : Oxford University.
- Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A., & Williams, H. G. (1989). The development of posture and balance control in children. In M. H. Woollacott & A. Shumway-Cook (Eds.), Development of posture and gait across the life span (pp. 77-96). Columbia : University of South Carolina.
- Woollacott, M., & Sveistrup, H. (1992). Changes in the sequencing and timing of muscle response coordination associated with developmental transitions in balance abilities. Human Movement Science, 11, 23-36.
- Woollacott, M., Debu, B., & Mowatt, M. (1987). Neuromuscular control of posture in the infant and child : Is vision dominant? Journal of Motor Behavior, 19, 167-186.