

身體姿勢的平衡控制機轉

黎俊彥／育達商業技術學院
林威秀／慈濟技術學院

摘要

人類自嬰兒時期便開始嘗試如何調整與控制身體姿勢與肢體動作，從緩慢爬行，逐漸到學習站立和緩慢的步行，乃至於快速的移動與跳躍，都需要適當的身體姿勢平衡控制機轉來加以完成。人體的平衡包含了三個不同的特性：一、穩定性（Steadiness）；二、對稱性（symmetry）與三、動態穩定性（dynamic stability），而身體姿勢的平衡狀態又分為：一、靜態平衡；二、半動態平衡；三、動態平衡與四、功能性平衡。身體姿勢控制系統主要是利用感覺、運動系統與中樞神經系統組成的協同與交互作用，來維持身體姿勢的穩定性，本文收集相關研究來說明與探討平衡與身體控制的相關機轉。

關鍵詞：身體姿勢、平衡控制。

壹、前言

人類自嬰兒時期便開始嘗試如何調整與控制身體姿勢與肢體動作，從緩慢爬行，逐漸到學習站立和緩慢的步行，乃至於快速的移動與跳躍，都需伴隨生理結構與機能的適當發育與學習，來摸索並熟練生活中各種平衡狀況，方能隨心所欲地進行各種活動，甚至藉由適當的肢體活動與精湛的平衡技巧，來完成許多令眾人為之讚嘆的特技動作與表演，這些都是有賴適當的身體姿勢平衡控制機轉來加以完成。

人體身體姿勢的平衡控制是獨特而重要的，因為所有的肢體動作皆須保持適當平衡，以維持身體姿勢的穩定性與動作的流暢，與避免跌倒與身體傷害，由於人體所有活動皆是藉由細長的雙腳，來提供一個狹小的支持基礎（腳掌），而呈現出一種動態連續且不斷變動的平衡狀態與過程，尤其是在激烈或快速的肢體活動中，維持



身體姿勢穩定與平衡控制的能力，對於動作的完成與傷害的預防更是重要。

貳、平衡的重要性

在日常身體活動中，維持重心平衡而不致跌倒是重要的，平衡或說是均衡 (balance, or equilibrium)，其定義為「人體重心保持在一定的身體基底 (base of support) 範圍內的能力」(Nashner, 1993)，或是維持身體重力中心 (center of gravity, COG) 在一定支撐面的能力，意即維持身體站立姿勢的地心引力中心，在身體的支撐基底最大穩定度之內，通常這個區域是在個體雙腳與接觸面積的範圍內。

人體的平衡包含了三個不同的特性：一、穩定性 (steadiness)：是指靜止時，維持身體最小的搖晃程度；二、對稱性 (symmetry)：是指靜止時，肢體兩側重量均衡分佈；與三、動態穩定性 (dynamic stability)：是指動態動作中維持身體姿態平衡而不跌倒。身體姿勢的平衡狀態可劃分為四類：一、靜態平衡 (Static Balance)：當站立於一穩定表面，維持COG在一固定的支撐基部（單腳或是雙腳）；二、半動態平衡 (Semi-Dynamic Balance)：當站立於一移動中或是不穩定的表面，維持COG在一固定的支撐基部，或者是當站立於一穩定表面，在穩定度的限制 (limit of stability, LOS) 內來選擇範圍或是方向，以傳送COG到一固定住的支撐基部上；三、動態平衡 (Dynamic Balance)：當站立於一穩定表面時，在一個移動的支撐基部維持COG在LOS之內；四、功能性平衡 (Functional Balance)：要求個體完成數種不同動作或情境中的平衡要求，以動態多元的測試方式，將平衡能力與運動特殊性 (sport specific tasks) 相結合 (Guskiewicz, 1997)。

穩定性的限制 (LOS) 主要需考量：一、個體的生物力學，如身體的型態學 (morphology) 與表面型態 (configuration)、關節的扭力、速度與關節活動度；二、測驗的需求以及是否給予身體任何的支撐或回饋；三、支撐表面的狀況，包括角度、(compliance) 與摩擦力 (friction) (Alexander, 1994)，個體對於這些限制的感覺 (自覺的穩定性限制perceived stability limits)，可能與其實際的穩定性限制有所差異，並導致一種不適當的身體姿勢反應，特別是在生理的疾病與老化 (Maki et al., 1990) 與踝關節傷害 (Mcguine, 2000) 後。



參、身體姿勢的控制機轉

維持身體姿勢穩定性的能力對於流暢的完成每日的肢體動作是相當重要的，它包含了不僅只是站立與行走，而其他如從椅子上起身的工作、下樓梯、用手提物等動作的施行與完成，都需要適當與完善的身體姿勢平衡控制系統。

身體姿勢控制系統主要是利用感覺、運動與中樞神經系統組成的協同與交互作用，來維持身體姿勢的穩定性（Nashner, 1993; Shumway-Cook & Horak, 1986），下表一為身體姿勢平衡控制系統的整理簡表，感覺系統可提供個體重力中心相對於支撐面，相關位置與重力作用的訊息；而運動系統則可提供自主動作與重力中心位置變化的關係，並啟動個體改變與修正肢體位置，已使重力中心重回穩定位置以維持個體重心平衡；而在中樞神經系統則是整合與協同肢體動作、肌肉收縮及平衡策略，以維持身體姿勢平衡控制的協調與穩定性。

表一、身體姿勢的平衡控制系統

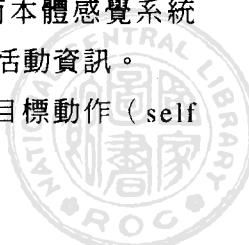
系統	說明
感覺系統 (sensory system)	視 覺 (vision) 內耳前庭 (vestibular sense) 本體感覺 (proprioception) 觸 覺 (touch) 震動覺 (vibration sense)
運動系統 (motor system)	肌 力 (muscle strength) 神經肌肉控制 (neuromuscular control)
中樞神經系統 (central nervous system)	感覺與運動因素的整合 (integration of the sensory & motor factors)

引自 Lord, S. R., Clark, R. D. & Webster, I. W. (1991).

一、感覺系統

身體姿勢控制的感覺系統可協助精確的感知來自於視覺、內耳前庭與本體感覺等受器所輸入的相關身體姿勢訊息，使中樞神經能正確的察覺與辨認身體中心與支撐面、重力與週遭事物的相對位置與關係（Nashner, 1993），視覺系統可提供頭部於外在環境中垂直與水平的參考座標，而內耳迷路前庭系統（labyrinthine vestibular system）則可提供頭部外界重力與慣性變化的資訊，而本體感覺系統（proprioceptive system），則提供身體相對於支撐地面之空間位置與活動資訊。

視覺系統可藉由量測眼及頭與週遭物體的方位，並提供自我與目標動作（self



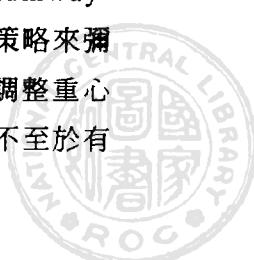
(motion & object motion) 可感知的動作感覺，視覺也會顯著的影響身體重心的調準 (*alignment*)，當個體支撑底基不穩定或是缺乏（損）身體感知組成 (*somatosensory component*) 時，此系統所提供的感知訊息便非常重要 (Paulus et al., 1984)。

內耳前庭系統可提供頭部重力、線性與角加速度，並感知頭部與週遭事物的方位 (*orientation position*) 訊息 (Guskiewicz, 1999)，並獨立與精準的控制頭與眼的位置 (Nashner, 1993)。當身體姿勢搖擺晃動時，內耳前庭系統可藉由主要的平衡控制肌群的收縮與活化，來協助修正 (*modification*) 以維持身體姿勢的平衡，並擔任為一種固定的重力參考值 (*gravitational reference*)，以作為視覺與身體感知訊息的對照，來判斷身體姿勢搖擺的幅度，因此失去重力參考值通常是內耳前庭受損的首要特徵，當視覺或是身體感知輸入被干擾或是阻斷時，內耳前庭輸入對平衡是重要而不可或缺的 (Bles & DeJong, 1986)。

本體感覺系統或是體感覺 (*somatosensory*)，可提供身體部位間以及與週遭環境間相互方位與關係訊息的重要感知系統，Grigg等人 (1994) 指出本體感覺是一種特殊的感覺形式，包含了關節活動與位置的感受與察覺 (*joint movement & position sense*)，本體感覺系統包括關節內的觸覺感覺器官 (*tactile sense organs*)，皮膚內感覺神經終端的橢圓小體，游離的神經終點，與關節外的肌梭與高基氏腱器官，這些皆有助於提供關於關節位置感覺與關節動作的訊息 (Shumway-Cook & Horak, 1986)。由於本體感覺、中樞神經與骨骼肌肉系統間的神經肌肉協調與回饋機制最主要的功能是保護關節維持穩定，避免過度與不正常的動作，以有效避免運動傷害的發生，因此近年來許多研究都著重於此 (Bernier & Perrin, 1998; Lephard et al., 1997)，欲深入了解者可進一步閱讀這些論文與報告。

二、運動系統

運動系統通常是指肌肉協調與動作的模組策略，當身體姿勢平衡被外在干擾擾亂時，個體會依過去經驗與感知訊息來產生適當的身體姿勢動作，以平衡干擾的效果與影響，並恢復身體重心回到正常的平衡位置與穩定性限制內，這些策略能單獨獨立的被使用，或是與其他動作協調相結合，這些策略可概分為三種 (Shumway-Cook, 1995)：（一）踝關節策略 (*ankle strategy*)：人體通常使用此策略來彌補較小的干擾，其特徵為遠端小腿肌肉群會先收縮，並以踝關節為支點來調整重心平衡；（二）髖關節策略 (*hip strategy*)：當干擾比上述的程度大，但還不至於有

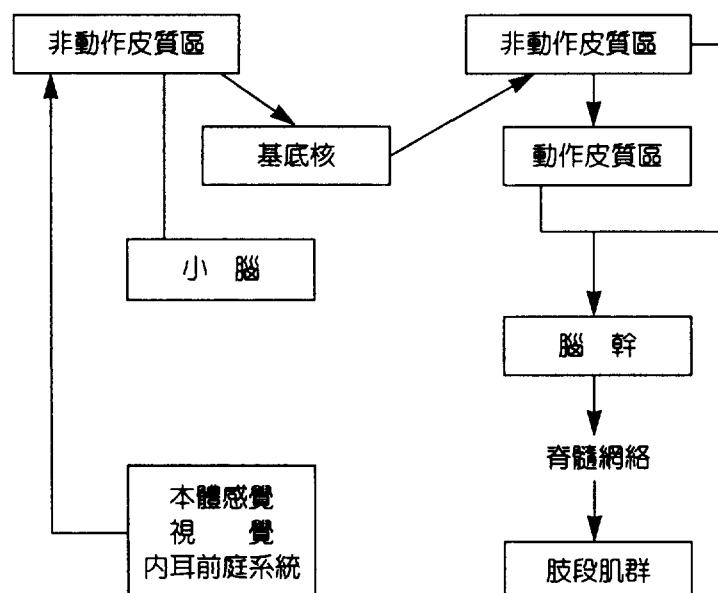


跌倒的危險時，人體會使用此策略處理干擾，其特徵為近端大腿肌肉群會先收縮，身體以髖關節為支點來調整重心位置；（三）跨步策略（step strategy）：當干擾比上述的程度大，且足以使人體有跌倒的危險時，人體會使用此策略來應付此類干擾，特別是在較大程度的干擾與重心快速晃動時（Nashner, 1993; Guskiewicz, 1999）。

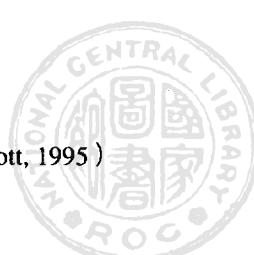
三、中樞神經系統

如圖二所示，當有外界干擾時，刺激由本體感覺、視覺和內耳前庭系統的接收，經脊髓上傳至大腦的非動作皮質區（Nonmotor cortical areas），經由下視丘（thalamus）判斷後，再分別傳給動作皮質區（motor cortex）、基底核（basal ganglia）與小腦（cerebellum）。基底核的某些功能包含了較高階層動作控制的認知部分，如運動模式策略的計劃。

大腦的皮質（cerebral cortex）在動作控制上扮演非常重要的角色，它必須在接受訊號之後，立刻判斷要做那些動作，並安排這些即將發生動作的順序，運動前皮質區（ premotor area）的神經訊號主要送至運動皮質（motor cortex），藉由皮質脊髓束（corticospinal tract）與大腦皮質與延髓系統（corticobullar system）來傳送命令至腦幹（brain-stem）。



圖二、運動控制的中樞神經系統（摘譯自Shumway-Cook & Woollacott, 1995）



小腦（cerebellum）雖不會引起主動性的運動，但在運動的整合及學習、身體姿勢及平衡的控制上是一個重要的中樞。小腦可接受肌肉、關節及皮膚等體感覺、與視覺、前庭覺及大腦其它參與運動的區域傳來的訊息。兩者整合後的訊號全部彙整至腦幹，再經由脊髓來控制肌肉的收縮與身體姿勢的平衡。

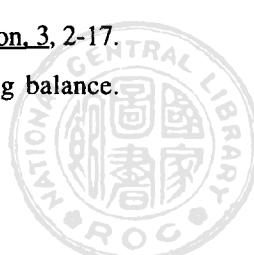
肆、結 語

人體要維持一種直立且平衡的姿勢是個複雜的挑戰，包含了許多不同的受器、骨骼肌肉活動與神經肌肉的控制（作用肌與攏抗肌）與整合，不僅要對抗重力來平衡身體各肢段，而且還要應付外在環境的干擾。身體姿勢的平衡控制主要由三種不同的感知與控制系統，與適當模組化的身體姿勢計劃（postural body scheme）來操控。人類為了要維持平衡，必須隨時知道本體與環境的關係，以使身體受外界干擾時，可以應用適當的策略來維持的平衡。沒有一個獨立的系統能單獨判斷身體位置與維持身體姿勢的穩定性，每一個系統都提供獨特、有用與連續的感知訊息，以協助中樞神經系統整合以控制良好與精準的平衡。

身體姿勢控制系統為大腦與肌肉骨骼系統間的回饋控制迴路（Guskiewicz & Perrin, 1996），然後決定與執行適當的動作反應，正常的平衡是這些系統適當交互作用的結果，因此身體姿勢失去平衡可能是感知輸入的不正確（Lord et al., 1991）、關節活動度的限制（Wolfson et al., 1994）、不適當的肌力（Lord et al., 1994）或是動作策略的不適當選擇（Panzer et al., 1995），良好的身體姿勢的平衡控制，在動作學習、運動訓練與傷害復健上是重要的，希望本文能提供運動科研與訓練，相關學者與教練一個完整的概念，並啟發後續研究與探討之領域與動力。

參考文獻

- Alexander, N. B. (1994). Postural control in older adults. *Journal of American Geriatrics Society*, 42, 93-108.
- Bernier, J. N. & Perrin, D. H. (1998). Effect of coordination training on proprioception of the functionally unstable ankle. *Journal of Orthopedic Sports Physical Therapy*, 27, 264-275.
- Grigg, P. (1994). Peripheral neural mechanisms in proprioception. *Journal of Rehabilitation*, 3, 2-17.
- Guskiewicz, K. M., & Perrin, D. H. (1996). Research and Applications of assessing balance. *Journal of Sport Rehabilitation*, 5, 45-63.



- Guskiewicz, K. M. (1999). Chapter 7: Regaining Balance and Postural Equilibrium. In: W. E. Prentice (Ed.). Rehabilitation Techniques in Sports Medicine. New York: McGraw-Hill.
- Guskiewicz, K. M., Riemann, B. L., Perrin, D. H., & Nashner, L. M. (1997). Alternative approaches to the assessment of mild head injury in athletes. Medicine & Science in Sports & Exercise, 29, S213-21.
- Lephart, S. M. Pincivero, D. M., Giraldo, J. L., & Fu, F. H. (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. The American Journal of Sports Medicine, 25, 130-137.
- Lord, S. R., & Castell, S. (1994). Physical activity program for older persons: effect on balance, strength, neuromuscular control, and reaction time. Archive of Physical Medicine and Rehabilitation, 75, 643-652.
- Lord, S. R., Clark, R. D., & Webster, I. W (1991). Postural stability and associated physiological factors in a population of aged person. Journal of Gerontology, 46, M69-76.
- Maki, B. E., Holliday, P. J., & Tropp, A. K. (1994). A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. Journal of Gerontology, 49, M72-84.
- McGuine, T. A., Greene, J. J., Best, T., & Leverson, G. (2000). Balance as a predictor of ankle injuries in high school basketball players. Clinical Journal of Sport Medicine, 10, 239-244.
- Nashner, L. M. (1993). Chapter 12: Practical Biomechanics and Physiology of Balance. In G. Jacobsen, C. Newman, & J. Kartush (Eds). Handbook of balance function and testing (pp.261-279). St. Louis MO: Mosby Year Book.
- Panzer, V. P., Bandinelli, S., & Hallett, M. (1995). Biomechanical assessment of quiet standing and changes associated with aging. Archive of Physical Medicine and Rehabilitation, 76, 151-157.
- Paulus, W. M., Straube, A., & Brandt, T. H. (1984). Visual stabilization of posture: Physiological stimulus characteristics and clinical aspects. Brain, 107, 1143-1163.
- Shumway-Cook, A. & Wollacott, M. (1995). Motor control: Theory and practical applications. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Wolfson, L., Whipple, R., Derby, C. A., Amerman, P., & Nashner, L. (1994). Gender differences in the balance of healthy elderly as demonstrated by dynamic posturography. Journal of Gerontology, 49, M160-167.