

主題論文

老化與運動介入對平衡控制之影響

吳孟恬¹、詹元碩²

摘要

台灣高齡化社會結構儼然成爲當前社會必需面對之重要議題，老年族群中，跌倒是最常見的問題之一，造成跌倒發生的最主要原因乃是失去平衡，因此本文整理平衡訊息處理系統及老化對平衡控制所造成之影響，分別從神經學、感覺系統、動作系統及認知系統的老化改變進行探討，並介紹國內外研究爲改善高齡者平衡控制能力及預防跌倒所制定之運動訓練模式，包含平衡訓練、肌力訓練、知覺動作訓練、調整式太極拳訓練及綜合訓練模式等，期藉由了解國內外運動訓練之模式及成效，發展成台灣高齡者所適之運動訓練指引，並實際於社區推展，期以運動訓練方式增進老年人功能性活動能力，提升其生活品質，減少因跌倒而住院之機會，進而減輕社會國家之醫療成本負擔。

關鍵詞：老化、預防跌倒、平衡控制、運動訓練

¹ 台灣體育大學失能者運動與休閒研究所碩士生

² 台灣體育大學適應體育學系助理教授

前言

台灣老人跌倒盛行率，由 1999 年的 18.7% 增加至 2005 年的 20.5% (行政院衛生署國民健康局〔國健局〕，2005)，平均每五人就有一人有跌倒經驗，老年人跌倒會造成擦傷、挫傷、扭傷、撕裂傷及骨折，其中最嚴重的傷害是髖骨骨折(黃子庭、廖秀珠，1993)，老年人一旦因跌倒而住院，有 10% 於住院時死亡、50% 於一年內死亡 (CDC, 1996)，跌倒可能造成老年人嚴重甚至致命的意外傷害，且跌倒亦對社會醫療成本造成嚴重負擔，國內老人跌倒，平均每人住院花費新台幣 9 萬至 13 萬 (陳玉枝、林麗華、簡淑芬，2002)。依據「疾病壓縮理論」而言，大部分殘障和疾病發生的時間會壓縮到人生最末階段發生 (Fries, 1980)，倘若可以縮短疾病與死亡之間的歷程，不僅可以減少老年人罹病的痛苦及提升生活品質，更可以減少醫療成本的負擔，因此研擬老年人預防跌倒之企劃是極為重要且刻不容緩之課題。

壹、老化對於平衡控制機轉之影響

失去平衡乃是老年人發生跌倒意外的最主要原因 (Berg, Maki, Williams, Holliday, & Wood-Dauphinee, 1992)，平衡能力會受到生理各機能的老化而逐漸衰退，本文整理平衡訊息處理系統及老化影響平衡能力之改變，分別從神經、感覺、動作、認知系統之變化來探討。

一、訊息處理動態平衡模式

藉由身體感覺系統接受來自外在環境的多元訊息，感覺系統透過視覺、體感覺、前庭覺接受器，將所接收的訊息傳入中樞神經系統 (central nervous system) 進行比較、整合，接著身體開始判別身體目前所處的位置，決定即將做的動作，開啓動作系統，選擇且調節肌肉收縮的部位，將動作訊息傳遞至身體決定欲動作的部位，產生動作回饋，當身體開始動作時，感覺系統仍持續地接受來自環境的訊

息，訊息傳遞至中樞神經系統，經由系統對於訊息的解讀，迅速地調整動作策略，改變動作計畫，產生下一個動作。這種持續在感覺系統與動作系統之間交互作用的模式，即稱為知覺動作循環 (perception-action cycle)，如 Nashner (1990) 建構之知覺動作循環動態平衡模式 (圖 1)。

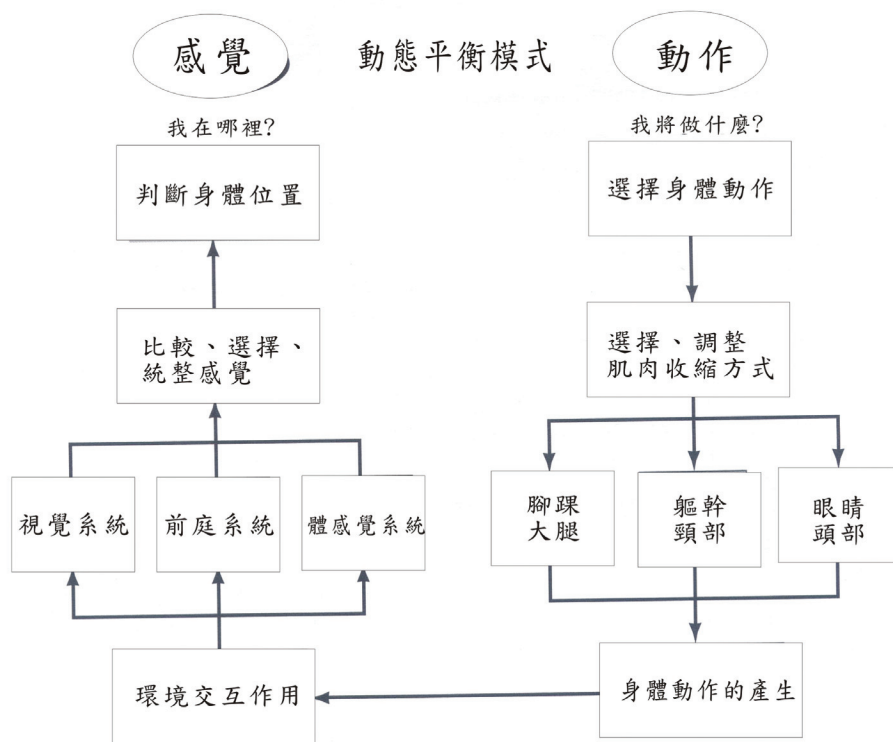


圖 1、訊息處理動態平衡模式 (資料來源：Nashner, 1990)

二、老化過程影響平衡控制能力

身體系統發生結構性及功能性的老化現象，可從神經學、感覺系統、動作系統和認知系統等面向做探討。

(一) 神經學的變化

老化過程中人體的神經元會發生許多變化。神經元和軸突會相互纏繞，產生神經纖維結 (neurofibrillary tangles) 或神經元斑 (neuritic plaques)，樹突產生漸進

性的退化及損失，造成訊息處理能力受損，而神經傳導介質，如：多巴胺 (Dopamine)、乙醯膽鹼 (Acetylcholine)、血清素 (Serotonin)，會隨老化減少 (Rogers & Bloom, 1985)，影響訊息傳遞效率，甚至可能導致不完整的訊息發生，造成無法正確地回饋環境訊息，做出不完整或遺漏的動作反應。

(二) 感覺系統的變化

正常老化現象在 55 歲之後感覺動作系統開始逐漸衰退，65 歲後發生劇烈的功能衰退 (Lord, Sherrington, & Menz, 2002)，胡名霞 (1994) 在評估台灣台北地區居民站立穩定度時發現老年人感覺整合能力有下降之趨勢，認為老年人感覺整合能力下降是造成跌倒之重要原因。感覺系統可分為視覺、體感覺及前庭覺，視覺 (vision) 的老化改變包括視覺敏銳度、對比物的敏感度、高低深度知覺覺察、閃爍光亮的敏感性、陰暗的適應性等功能的下降以及視野變狹窄 (行政院衛生署國民健康局 [國健局]，2007)，這些改變影響身體在空間中的知覺能力；體感覺 (somatosensation) 的老化改變造成振動閾值 (vibration threshold) 2~10 倍的提高，使得體感覺接受器較不敏感，降低感覺振動反應的能力 (Perret & Reglis, 1970)，直接影響姿勢穩定性；前庭系統 (vestibular system) 包括：耳石 (otolith organs) 及三個半規管 (semicircular ducts)，負責身體在空間中的定位能力，成年人在 30 歲以後，隨著身體老化，前庭系統內的毛細胞密度逐漸減少，毛細胞 (hair cells) 在前庭系統的主要功能是感應頭部移動的位置，當毛細胞的數量明顯減少時，偵測頭部移動的敏感性隨之降低，造成身體搖晃的程度增大 (Rose, 2003)。

(三) 動作系統的變化

肌(耐)力是日常生活中相當重要的能力，包括走路、爬樓梯、從椅子上起身等皆需要靠足夠的肌力才有辦法完成動作，老化造成肌(耐)力及身體協調性下降，協調性與中樞神經系統之調節能力有關，當中樞神經系統促進和抑制達平衡時，身體呈現穩定且良好之協調性 (許樹淵，2007)，然而因老化影響神經系統調節功能及肌(耐)力衰退，使得老年人日常生活能力降低且無法快速的反應突如其來的干擾 (perturbations) 及有效的維持平衡。除肌力的流失外，關節內結構的變化，

更會造成柔軟度 (flexibility) 下降，影響身體姿勢及動作表現的品質，而其他特殊影響的疾病，比如：骨性關節炎 (osteoarthritis)、類風濕性關節炎 (rheumatoid arthritis) 更嚴重影響關節整合，造成平衡及動作障礙，且關節炎所引起的疼痛亦會限制功能性關節活動度 (functional range of motion) 的表現。

(四) 認知系統的變化

動作反應的速度與精確度被輸入的感覺訊息影響著，當我們同時需要處理一個以上的工作，如何分配注意力在各個工作上，將會影響動作反應的速度與精確度，任何認知或注意力的障礙會嚴重的拖累平衡控制系統有效的選擇及反應正確動作的發生 (Rose, 2003)，老年人必須將更多的注意力分配在維持平衡的控制上，尤其是當可利用的感覺訊息減少時，對於老年人而言，同時使用注意力處理一個以上的認知工作將會增加其困難度，且對於曾發生跌倒或平衡障礙的老年人而言更為困難 (Brauer, Woollacott, & Shumway-Cook, 2002)，有平衡障礙的老年人容易在邊走邊做其他事或說話時造成跌倒狀況的發生。

貳、運動介入對平衡控制之影響

面對老化造成平衡能力衰退之問題，運動介入可以有效促進身體感覺運動系統的角色，有助身體姿勢與平衡控制 (林威秀、黎俊彥，2004)，陳怡如 (2005) 統整 1990 年至 2002 年國內外常見之預防跌倒訓練運動模式，包括平衡、肌力、肌耐力、伸展運動、姿勢控制、協調能力、太極拳與有氧運動等，以下對各運動元素作介紹。

(一) 平衡訓練

平衡訓練可以包含靜態平衡及動態平衡訓練。傅麗蘭 (1998) 隨機分派 23 位 60 歲以上無跌倒經驗的老年人進行 4 週的平衡訓練，每週 3 次，每次 20~30 分鐘，訓練內容包含向前後直線走路、以腳尖及腳跟走路、側走、行走間突然轉身 360°、單腳站立練習及團體球類活動等，研究結果指出 4 週的平衡訓練課程即可顯著改

善行走之步寬 (step width) 及增加單腳站立平衡時間；Shimada (2003) 以 34 位身體虛弱的老年人隨機分派進行 12 週的靜態平衡及步態 (動態平衡) 訓練，每週 2~3 次，每次 40 分鐘，靜態平衡訓練項目以不移動腳步為主，包含身體向前伸展碰觸目標物之活動 (forward reaching exercise)、平衡板站立、單腳站立、腳跟貼腳尖前後站立 (tandem standing)，而動態平衡項目則以走路活動為主，包括一般走路、側走、腳跟貼腳尖走 (tandem walking)、上下樓梯等活動，結果發現靜態及動態平衡對於功能性平衡量表 (functional balance scale) 評估指數皆有顯著改善；Shumway-Cook 等人 (1997) 執行較大受測樣本之研究，針對 105 位 65 歲以上曾跌倒的老年人執行平衡活動訓練 6 個月，亦發現對於其平衡能力有顯著改善。

(二) 肌力訓練

下肢肌力及肌耐力衰退造成下肢無力以維持平衡表現，因此肌力訓練常被列為增進平衡之訓練項目之一。Pijnappels (2008) 進行 16 週阻力訓練，發現阻力訓練可以有有效的恢復老年人之平衡能力，同時對跌倒後及時反應能力亦有所改善，許多學者亦對預防跌倒執行肌力訓練並發現有顯著改善 (Chandler, Duncan, Kochersberger, & Studentski, 1998; McCool & Schneider, 1999)，而肌力訓練執行部位主要以下肢為主，訓練器材多以經濟實惠且方便的彈力帶、椅子、負重袋及個人身體重量作阻抗訓練，此方式被廣泛推行於居家及社區運動，而以健身中心之重量訓練器材作為老年人肌力訓練之方式，則以機構及醫院訓練居多 (陳怡如、黃璉華、鄭舜平，2005)。

(三) 知覺動作訓練 (sensorimotor training)

知覺動作訓練通常包括：感覺訓練 (含視覺、嗅覺、聽覺、觸覺)、視覺動作協調訓練、創造力訓練 (含注意力訓練) 以及音樂韻律活動 (洪清一，1999)，常用於兒童之感覺統合訓練，在老年人之運用則較少。Gauchard (2003) 隨機分派 26 位 60 歲以上老年人進行前庭脊髓反射 (vestibulospinal reflex) 及視覺動作協調訓練 (包含注視、追視、視覺敏銳度之訓練)，發現運動組之本體感覺及前庭覺敏銳度有效提升，視覺追溯能力也較控制組好，反應能力亦有顯著改善現象；Granacher

(2006) 以 13 週知覺動作訓練隨機分派 20 位老年人進行訓練，發現知覺動作訓練可以有效的增強遭遇干擾與障礙物時之及時反射動作 (reflex activity) 且可以改善踝關節之角速度 (angular velocity)，並認為知覺動作訓練方式相當適合成為老年人預防跌倒之課程。

(四) 調整式太極拳訓練 (adapted Tai-Chi)

傳統太極拳運動需倚賴良好的身體動作控制能力及下肢肌力，對於剛開始接觸運動的老年人來說甚為困難，因此許多學者取其太極拳運動之精髓，以較為簡單之動作來訓練老年人之平衡及動作控制能力，以改善其體能狀況。Fong (2006) 觀察 48 位參予太極拳運動之中高齡者，發現長期參予 (1~3 年) 太極運動者之腿後肌群 (hamstrings) 及腓腸肌 (gastrocnemius) 接受外界刺激肌肉回饋反應時間較快，且可在傾斜板 (tilt board) 上維持較長的平衡時間；國內學者林佩欣等人 (1999) 亦指出太極拳對老年人動態平衡有顯著功效，太極拳運動已成為老年族群常見之運動項目，並被國內外學者廣泛使用以訓練老年人之平衡、動作控制、肌力及肌耐力等促進身體功能表現。

(五) 綜合訓練模式

為因應老年人經常發生跌倒造成臥床不起之危險，許多國家研究單位紛紛為老年人制定專屬之預防跌倒運動計畫，以統整各有效增進平衡能力之運動項目作為老年人預防跌倒運動訓練項目。英國 Imperial College School of Medicine, London 制定之預防跌倒運動課程 (FaME, Falls Management Exercise Programme)，其訓練項目包括：動靜態平衡訓練、步態訓練、協調及反應速度訓練、肌力訓練、功能性地板運動 (functional floor activities)、姿勢控制、伸展運動及調整式太極拳等運動課程，並且教導老年人如何在跌倒後靠自己的能力爬起，其訓練已成為英國國家預防跌倒運動課程，施行成效發現得以有效改善平衡能力、增加功能性能力、增加骨頭及肌肉質量、增加自信心及減少害怕跌倒的恐懼感 (Skelton & Dinan, 1999)；紐西蘭 Otago Medical School, University of Otago 近年執行 Otago 居家預防跌倒運動計畫(Otago exercise to prevent falls in older adults)，累積多達 2000 位老年

人之研究成果，其主要課程內容為兩項：肌力與平衡訓練，所需器材除了肌力訓練需以負重袋加重作為阻力來源外，不需使用其他特殊器材，推行既方便又實惠，且對於改善老年人平衡能力、肌肉力量、體適能及獲得良好的生活品質皆有顯著之成效 (Campbell & Robertson, 2003)；美國 Center for Successful Aging, California State University 制定 FallProof™ Program 綜合平衡及動作訓練課程，其主要六大項訓練重點為：身體重心控制、多重感覺、姿勢控制、步態、肌（耐）力及柔軟度，其成果發現可以有效改善老年人之平衡及動作能力表現 (Rose, 2003)；日本國家衛生研究院提供民眾「老人介護法新設預防照護給付項目」衛教內容中提及預防跌倒之運動訓練模式，主要以伸展運動、抗重力肌訓練、平衡訓練為訓練元素，藉由鍛鍊平衡及全身肌力，可以避免身體不平衡而導致跌倒，即使當身體搖晃或絆倒時，也能夠快速反應維持站立平穩，將跌倒可能造成之傷害減至最低（大淵修一，2007）。

參、結語

老化影響平衡能力逐漸衰退，雖無人可避免經歷老化的過程，但可以有策略地減輕退化影響正常生活之程度，運動訓練即是有效改善老年人平衡能力之方式之一，擁有良好的平衡控制能力可以避免跌倒的發生，即使不小心發生跌倒也能及時做出適當的動作反應，以避免意外傷害發生或減輕其傷害嚴重性，國外面對跌倒危害之挑戰已相繼推行預防跌倒國家政策，台灣近年也開始重視預防跌倒之議題，行政院衛生署國民健康局（2007）在社區內推行「保命防跌」之課程，然而其運動訓練項目所述甚少，內容僅提及大肢體關節暖身活動、下肢肌力組合活動及改良式太極拳運動之文字描述，因此筆者綜合上述運動訓練之介紹，建議就現有之運動規劃再加入平衡訓練及知覺動作訓練，期未來發展成台灣老年人專屬之居家預防跌倒運動指引，以明確且簡單之運動項目讓老年人可自行在家操練，藉此有效增進老年人之體能狀況及平衡控制能力，進而提升其生活品質，減少因跌倒而住院之機會，運動可說是最經濟實惠的預防跌倒及改善平衡能力的金鑰。

參考文獻

- 大瀨修一 (2007)。愈活愈好—我的健康我做主。臺北縣：樂天文化。
- 行政院衛生署國民健康局 (2005)。民國 94 年國民健康訪問調查「1999 年與 2005 年台灣地區老人跌倒狀況之比較」。
http://www.bhp.doh.gov.tw/bhpnet/portal/Them_Show.aspx?Subject=200712270001&Class=2&No=200712270007。
- 行政院衛生署國民健康局 (2007)。保命防跌寶典。臺北市：作者。
- 林佩欣、曾旭民、鄭寶釵、黃美娟、鄧復旦 (1999)。太極拳對老年人感覺運動功能的影響。中華民國物理治療學會雜誌，24 卷 4 期，231-241 頁。
- 洪清一 (1999)。知覺—動作訓練。臺北市：五南。
- 胡名霞、林慧芬 (1994)。成年人站立平衡之研究—感覺整合與年齡效應之分析。中華民國物理治療學會雜誌，19 輯，66-77 頁。
- 許樹淵 (2007)。體能的生物力學機轉。國民體育季刊，36 卷 2 期，39-45 頁。
- 陳玉枝、林麗華、簡淑芬 (2002)。住院病患傷害性跌倒的影響因素與其醫療資源耗用之相關性。慈濟護理雜誌，1 輯，66-77 頁。
- 陳怡如、黃璉華、鄭舜平 (2005)。預防老人跌倒之運動訓練研究趨勢探討。台灣公共衛生雜誌，24 卷 2 期，93-102 頁。
- 傅麗蘭 (1998)。Balance performance and step width before and after balance training in the elderly. 中華民國物理治療學會雜誌，23 卷 2 期，98-105 頁。
- 黃子庭、廖秀珠 (1993)。台北市北投區社區居家老人跌倒的情形及其相關因素之探討。公共衛生，20 卷 3 期，234-246 頁。
- Berg, K. O., Maki, B. E., Williams, J. I., Holliday, P. J., & Wood-Dauphinee, S. L. (1992). Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 73(11), 1073-1080.
- Brauer, S. G., Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). The influence of a concurrent cognitive task on the compensatory stepping response to a perturbation in balance-impaired and healthy elders. *Gait & Posture*, 15, 83-93.
- Campbell, A. J., & Robertson, M. C. (2003). *Otago exercise programme to prevent falls in older adults*. New Zealand: University of Otago Press.

- Centers for Disease Control and Prevention. (1996). *National Summary of Injury Mortality Data, 1988-1994*, from <http://www.cdc.gov/>
- Chandler, J. M., Duncan, P. W., Kochersberger, G., & Studentski, S. (1998). Is lower extremity strength gain associated with improvement in physical performance and disability in frail, community-dwelling elders? *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 79, 24-30.
- Fong, S.-M., & Ng, G. Y. (2006). The effects on sensorimotor performance and balance with Tai Chi Training. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 87, 82-87.
- Fries, J. F. (1980). Aging, natural death, and the compression of morbidity. *The New England Journal of Medicine*, 330(3), 130-135.
- Gauchard, G. C., Gangloff, P., Jeandel, C., & Perrin, P. P. (2003). Physical activity improves gaze and postural control in the elderly. *Neuroscience Research*, 45, 409-417.
- Granacher, U., Gollhofer, A., & Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. *Gait & Posture*, 24(4), 459-466.
- Lord, S. R., Sherrington, C., & Menz, H. B. (2002). *Falls in older people: risk factors and strategies for prevention*. Australia, IL: Cambridge University Press.
- McCool, J. F., & Schneider, J. K. (1999). Home-based leg strengthening for older adults initiated through private practice. *Prevention Medicine*, 28, 105-110.
- Nashner, L. M. (1990). *Sensory, neuromuscular, and biomechanical contributions to human balance*. (P. W. Duncan ed.): Balance: Proceedings of the APTA Forum. Virginia, US: American Physical Therapy Association.
- Perret, E., & Reglis, F. (1970). Age and the perceptual threshold for vibratory stimuli. *European Neurology*, 4, 65-76.
- Pijnappels, M., Reeves, N. D., Maganaris, C. N., & vanDieën, J. H. (2008). Tripping without falling; lower limb strength, a limitation for balance recovery and a target for training in the elderly *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(2), 188-196.
- Rogers, J., & Bloom, F. E. (1985). Neurotransmitter metabolism and function in the aging central nervous system. In C. E. Finch & E. L. Schneider (Eds.), *Handbook of the biology of aging* (2 ed., pp. 645-691): New York: Van Nostrand Reinhold.
- Rose, D. J. (2003). *Fall Proof! A Comprehensive Balance and Mobility Training Program*. Australia, IL: Human Kinetics.

Shimada, H., Uchiyama, Y., & Kakurai, S. (2003). Specific effects of balance and gait exercises on physical function among the frail elderly. . *Clinical Rehabilitation*, *17*, 472-479.

Shumway-Cook, A., Gruber, W., Baldwin, M., & Liao, S. (1997). The effect of multidimensional exercises on balance, mobility, and fall risk in community-dwelling older adults. *Physical Therapy*, *77*, 46-57.

Skelton, D. A., & Dinan, S. M. (1999). Exercise for falls management: Rationale for an exercise programme aimed at reducing postural instability. *Physiotherapy Theory and Practice*, *15*, 105-120.

The Effects of Aging and Exercise Intervention on Balance Control in the Elderly

Meng-Tien Wu¹, Yuan-Shuo Chan²

Abstract

Along with the medical science and technology progress and the rising life expectancy, the aging society has become an important issue. However, falls and fall related injuries are the most common injuries among the 65-year-old people. Lack of good postural control is one of the major factors to cause falls, therefore the aim of this review paper is to understand the neurological, sensory and motor mechanisms of balance control and the impact of age related changes in balance control. A further aim is to introduce fall prevention strategies and develop balance training for older people. According to the foreign and domestic researches, designing a fall prevention guideline for Taiwan seems necessary in order to enhance life quality of elders and to reduce health costs by creating a healthier aging population through guided exercise training.

Key words: aging, falls prevention, balance control, exercise training

¹ Graduate Institute of Sports and Leisure for the Disabled People, National Taiwan Sport University

² Department of Adapted Physical Education, National Taiwan Sport University