

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

► 高活動量女性長者之視覺空間工作記憶：行為與事件相關 電位之研究

Visuospatial Working Memory in Highly Physically Active Female
Elders: A Behavioral and ERP Study

doi:10.30074/FJMH.201109_24(3).0001

中華心理衛生學刊, 24(3), 2011

Formosa Journal of Mental Health, 24(3), 2011

作者/Author：王駿濠(Chun-Hao Wang);蔡佳良(Chia-Liang Tsai)

頁數/Page：345-380

出版日期/Publication Date：2011/09

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

[http://dx.doi.org/10.30074/FJMH.201109_24\(3\).0001](http://dx.doi.org/10.30074/FJMH.201109_24(3).0001)



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，
是這篇文章在網路上的唯一識別碼，
用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

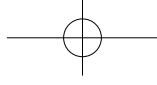
For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE





高活動量女性長者之視覺空間工作記憶： 行為與事件相關電位之研究

王駿濠 蔡佳良

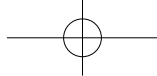
研究目的：比較不同身體活動量的女性老年人在執行視覺空間工作記憶情境下，其行為與認知電生理的表現差異。**研究方法：**以簡式智力測驗量表及七日身體活動回憶問卷篩選出12位心智正常且為高活動量的女性桌球運動老年人當作運動組，以及12位年齡相仿低身體活動量之女性控制組，施測延遲與不延遲視覺空間工作記憶作業情境並同步收錄腦波。**研究結果：**運動組在執行視覺空間工作記憶情境時，有較快反應時間以及較高正確率的行為表現；從事件相關電位來看，在編碼階段，運動組有較短的頂葉P3潛時及較大的P3振幅，在需要執行動作反應的階段，運動組有較小的N2振幅與較大的P3振幅，不過，在延遲階段則兩組間的CNV面積無顯著差異。**研究結論：**女性運動組老年人有較佳的視覺空間工作記憶的表現，其隱含的內在神經機轉可能是運動組能有較快且投入較多的注意力資源做空間刺激的編碼，並且在反應階段時，能減少作業相關的反應衝突或監控過程的努力程度，以投入較多的注意力資源做執行反應。因此，從事桌球運動似乎可以達到促進女性老年人的中樞神經功能，以提高視覺空間工作記憶的表現。

關鍵詞：老年人、身體活動、視覺空間工作記憶、事件相關電位

王駿濠：國立成功大學體育健康與休閒研究所碩士班研究生；國立高雄師範大學體育學系學士。專長領域與研究興趣為認知神經科學、健康促進。

蔡佳良：國立成功大學體育健康與休閒研究所副教授；國立體育學院體育研究所運動保健組適應體育運動學博士；專長領域與研究興趣為特殊族群動作科學、認知神經科學。(通訊作者；E-mail: andytsai@mail.ncku.edu.tw)

收稿：2009年10月06日；接受：2010年06月20日。



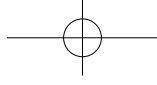
airiti

一、前言

全世界目前已邁入人口快速老化的階段，截至98年底止，我國戶籍登記的65歲以上老人達245萬7,648人，占總人口數之10.63%，因此，台灣老年人口已超過聯合國所定義的標準(7%)，正式邁入高齡化的社會。此外，值得注意的是，台灣老化指數高達65.05%，而此數據亦呈現持續增加之現象(內政部，2010)，這些現象皆說明台灣老化的議題需要受到高度的重視。

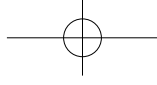
老化是一種漸進性且動態的過程，會造成人類心生理的功能性退化、降低對環境適應的能力以及提高患病的機率等(Roubenoff, 2000)。即使是健康的老年人，其認知功能仍會受到老化的影響而導致多方面的損害，包括：情節記憶(episodic memory)、抑制能力(inhibition)、注意力(attention)、執行功能(executive function)及工作記憶(working memory)……等(Hedden & Gabrieli, 2004)。雖然，輕度的認知功能衰退並不會明顯地影響老年人日常生活的自理能力，但研究卻發現此類的老年人有可能在3年之內，會有高達50%機率演變成失智症(Mechling, 2008)，有鑑於此，正處於快速高齡化社會階段的台灣社會必須特別重視此議題。

工作記憶是一種較為高階的認知功能，其功能為暫時性的儲存以及操作訊息的能力，例如：計算能力、計畫、推理、學習及理解等(Baddeley, 1992)。在功能性的分類之下，工作記憶主要是由前額葉皮質的中樞執行系統(central executive system)所負責，此系統可調節位於主要與次要視覺皮質及後頂葉皮質區的視覺空間畫板(visuo-spatial sketchpad)，以及調節口語訊息處理的語音迴路(phonological loop)系統(Baddeley, 1992)。近十年已有許多研究指出：工作記憶是會隨著老化而衰退，這些表徵可藉由一些行為上的表現來說明，例如：老年人執行工作記憶作業時，需要較長的反應時間，而且反應正確率也比較低(Pelosi & Blumhardt, 1999; McEvoy, Pelouchoud, Smith, & Gevins, 2001; Müller & Knight, 2002; Knott et al., 2004; Missonnier et al., 2004; Mattay et al., 2006; Goffaux, Phillips, Sinai, & Pushkar, 2008)。造成此現象可歸因為：老年人的注意力資源減少(Craik & Byrd, 1982)、降低需抑制無關訊息的處理效率(Hasher & Zacks, 1998)、或是認知處理速度有全面性遲緩的現象(Salthouse,



1996)。值得一提的是，Jenkins、Myerson、Joerding與Hale(2000)曾比較年輕人與老年人的工作記憶表現，結果發現：老年人無論在處理速度、記憶廣度以及對新訊息的學習能力皆較年輕人差，特別是在視覺空間表現方面最為明顯，此現象亦可從其他研究得知(Myerson, Hale, Rhee, & Jenkins, 1999)。此外，Chen、Hale與Myerson(2003)也從物件工作記憶(object working memory)及空間工作記憶(spatial working memory)發現：空間工作記憶受老化的影響較大。因此，欲藉由工作記憶來探討老年人認知功能的衰退問題，似乎可從受老化影響較大的視覺空間工作記憶的面向來做探討。

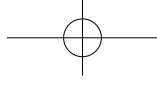
事件相關電位(event-related potential, ERP)是藉由執行某些內在或外在事件來誘發大腦電性活動，同步紀錄大腦各皮質區電位差的微量改變，以了解行為發生的認知歷程。由於ERP可以同時記錄大腦多處皮質區在毫秒數間的電位變化(Kutas & Dale, 1997)，因此，在處理作業事件情境時，的確可藉由此方式來加以解釋行為表現上的大腦認知處理歷程。執行視覺空間工作記憶情境時，內在認知歷程所誘發的成份波包含：早期注意力及刺激辨識N2波(Pritchard, Shappell, & Brandt, 1991; Suwazono, Machado, & Knight, 2000)、認知反應P3波(Linden, 2005)與記憶維持階段的負慢波CNV(contingent negative variation)(Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune, & Ritter, 1997)。從不同的心理認知歷程來講，刺激後300毫秒至800毫秒的正極性特殊成份波—P3(或P300)，目前已被廣泛地運用於心生理學研究中來探討有關認知的功能，並且此波亦被普遍地使用於臨床上有關神經及心理層面的疾病機轉(Polich, 2004)。舉例來說，P3波可運用於觀察失智疾病的早期特徵，以及不同類型失智症的診斷依據(Linden, 2005)。因此，欲探討老年人的認知功能(例如：注意力、工作記憶)，似乎可從P3波來解釋其認知上的功能性能力。的確，老年人與年輕人在執行工作記憶情境時，其P3表現是有所差異的一老年人的P3振幅(amplitude)會較年輕人小(McEvoy et al., 2001; Müller & Knight, 2002; Knott et al., 2004)，且潛時(latency)較長(McEvoy et al., 2001; Knott et al., 2004)，這些結果意味著老年人在注意力資源的招募(Wickens, Kramer, Vanasse, & Donchin, 1983)或工作記憶更新(Donchin, 1981; Donchin & Cole, 1988)的效率較差，並且對於刺激的分類(Duncan-Johnson, 1981)及評估(Kutas, McCar-



thy, & Donchin, 1977)速度較遲緩。另外，研究也指出N2波亦會隨著老化而拉長潛時及減少振幅，顯示著老化會影響中樞神經系統的處理(Enoki, Sanada, Yoshinaga, Oka, & Ohtahara, 1993)。而老年人誘發的負慢波CNV則較年輕人往正極偏移，意味著老年人的記憶維持的功能有損害的現象(Müller & Knight, 2002)。可見，從各個事件相關電位成份波確實可以評估出老年人認知功能的衰退。

從事規律性運動或身體活動可以獲得全面性的健康促進及抵抗疾病的正面效果(Burnham, 1998)，有學者同時認為此行為亦能提升老年人的認知功能(Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; Erickson & Kramer, 2009)，甚至更能達到預防或延緩失智症的發生(王駿濠、蔡佳良，2009)。研究已發現：身體活動量較大的老年人在執行認知作業時，除了有較好的認知行為表現之外(Colcombe et al., 2004; Hatta et al., 2005; Bugg, DeLosh, & Clegg, 2006; Hillman, Kramer, Belopolsky, & Smith, 2006)，從事件相關電位的P3波表現更能反映出行為效益的機轉(Hillman, Belopolsky, Snook, Kramer, & McAuley, 2004; Hatta et al., 2005; Hillman et al., 2006)。不過，有些研究卻未能發現不同活動量的老年人在某些認知表現上會有所差異，例如：在反應正確率(Hillman et al., 2004; Hillman et al., 2006)、反應時間(Hillman et al., 2004)及P3潛時(Hatta et al., 2005)等。針對此層面，已有不少研究指出：運動或身體活動對於認知功能提升的效益，會因認知面向(Kramer et al., 1999; Colcombe & Kramer, 2003; Hillman et al., 2004; Hillman et al., 2006; Stroth, Hille, Spitzer, & Reinhardt, 2009; Hillman, Buck, Theman-son, Pontifex, & Castelli, 2009)或運動特性(王駿濠、蔡佳良，2009；Black, Isaacs, Anderson, Alcantara, & Greenough, 1990; Pontifex, Hillman, Fernhall, Thompson, & Valentini, 2008; Liu et al., 2009)的不同，而有所謂的“選擇性效益”。因此，這個概念暗示了從事此類研究似乎須仔細考量運動型態與認知面向的特性。值得一提的是，曾有研究指出：身體活動對於大腦結構及功能的益處，似乎要在涉及視覺空間的認知系統上，才可發揮較大的效益(Shay & Roth, 1992; Stroth et al., 2009)，其中的內在神經機轉可能是運動訓練可以促進涉及視覺空間工作記憶的額葉和頂葉灰質突觸的相互連結，進而提升這些皮質區的動員效率(Colcombe et al., 2004)。

過去有關運動或身體活動對認知功能影響的相關研究，大部分皆探討有氧或耐力性運動的效益(Kramer et al., 1999; Colcombe et al., 2003; Colcombe et al., 2004; Col-



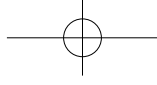
combe et al., 2006; Stroth et al., 2009)，不過，動物實驗已證實：從事技巧性運動亦可以透過不同於有氧運動的生理機轉，進而達到促進認知功能的目的(Black, Isaacs, Anderson, Alcantara, & Greenough, 1990)。事實上，富含技巧及策略性的持拍運動是需要手眼協調及知覺反應的偶合(Lees, 2003)，舉例來說，Tsai(2009)針對發展協調障礙(developmental coordination disorder, DCD)兒童施以桌球訓練，並試圖藉以改善此類兒童在內因性視覺空間注意力的障礙，結果發現：桌球運動的介入確實可以促進注意力與抑制性控制的神經網路。因此，富含策略性的開放性運動似乎也能促進認知神經功能，達到與有氧運動類似的認知改善效果。

性別似乎也會影響身體活動與認知改善的研究結果，例如：王駿濠、蔡佳良(2009)曾搜集1985至2009年之有關運動(或身體活動)與失智症有關的文獻，結果發現運動的確可以預防或延緩失智症的發生，然而卻會受到性別的影響，隱含的機制可能是女性賀爾蒙代謝所致(Laurin, Verreault, Lindsay, MacPherson, & Rockwood, 2001)。的確，Colcombe與Kramer(2003)的統合分析(meta-analysis)研究也發現：當研究受試者的女性老年人人數過半時，較能突顯出身體活動對認知功能的效益。因此，性別或許是影響老年人身體活動/運動對認知功能改善的外在因子(extraneous factor)之一。

綜合以上所述，我們可以了解工作記憶的確會受老化的影響，其中又以視覺空間工作記憶所受的影響較大，其原因可能是此作業所涉及的腦皮質區(如：額葉及頂葉)(Smith & Jonides, 1997; Crutis, 2006; Scherf, Sweeney, & Luna, 2006)會因老化影響而流失較多的皮質量所致(Colcombe et al., 2003)，不過相關文獻支持身體活動會對大腦在視覺空間的認知系統有較大的效益(Shay & Roth, 1992; Stroth et al., 2009)。有鑑於此，本研究將嘗試以視覺空間工作記憶來探討不同身體活動量的女性老年人(僅招募老年女性受試者是希望能排除性別的影響因素)在認知上的行為與認知電生理差異。藉由上述文獻，我們推測規律從事桌球運動的高活動量女性老年人在視覺空間工作記憶力情境下，將比低身體活動量的女性老年人有較佳的行為與ERP表現。

本研究目的包括：

(一)比較從事開放性桌球運動且達到高活動量的女性老年人與低身體活動量的女性老年人，在視覺空間工作記憶情境下其反應時間及正確率的行為表現差異。



airiti

(二)比較從事開放性桌球運動且達到高活動量的女性老年人與低身體活動量的女性老年人，在視覺空間工作記憶情境下其事件相關電位成份波的表現差異。

二、方 法

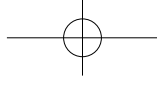
(一)研究對象

本研究以立意取樣方式於台南市松柏育樂中心與高雄市長青俱樂部，共招募37位有意願參與本研究之65至69歲女性老年受試者(桌球社團：18位；其它非運動類社團：19位)，先以簡式智能檢測量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)篩選出無認知功能損害者(24分以上)，再以七日身體活動回憶問卷挑選出從事規律桌球運動且達高活動量的女性老年人16位，隨後在腦波量化過程中又排除了4位雜訊過高的受試者，最後以12位(66.58 ± 1.44 歲)從事規律桌球運動的女性老年人做為本研究正式研究對象的運動組。在控制組方面也以相同的評估流程與方式，篩選出年齡相仿、無從事任何運動習慣且為低活動量的女性控制組12位(67.33 ± 1.15 歲，已排除4位不符量表篩選標準及3位腦波雜訊過高的控制組受試者)。所有受試者過去與現在皆無腦部與心臟相關疾病，且未服用任何會影響神經系統功能的藥物，視力均達正常或矯正後正常的標準，可清楚看見電腦螢幕內所出現的刺激圖案。篩選完成後，所有的受試者皆施以視覺空間工作記憶作業測驗，並同步收集大腦相關事件電位。本研究經由成功大學人體試驗委員會同意，並於施測之前，皆完成受試者同意書簽署。

(二)研究工具

1. 簡式智能檢測量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)

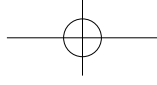
MMSE是由Folstein、Folstein與McHugh(1975)所創立，此量表能將受試者認知功能以量化方式做區分。由於操作上僅需5~10分鐘的施測時間，淺顯易懂，而且可以重覆施測，因此，至今已成為臨床與流行病學研究中最常見的認知功能損害評估工具。此量表共包含11題測驗題，篩選項目包括：時間與地方定向之能力、立即記憶、短期記憶、注意力、語言能力、視覺繪圖能力…等。量表滿分為30分，分數越



高代表功能越好，24分以上即為認知功能正常，未滿24分代表可能有認知功能的損害或痴呆狀態(Anthony, LeResche, Niaz, VonKorff, & Folstein, 1982)。MMSE在心理測量學的評估方面，再測信度(test-retest reliability)為0.56~0.98；評量者之間的一致性(inter-rater reliability)為0.82，內在一致性為0.96(Anthony et al., 1982; Folstein et al., 1975)，在台灣翻譯成中文版之後，並經返譯(back-translation)之程序，同時修正中外文化之差異(Katzman et al., 1988)，所得的內在一致性為0.86(戴玉慈、葉炳強、黃貴薰、羅美芳，1999)。

2. 七日身體活動回憶問卷(7-day physical activity recall)

七日身體活動回憶問卷是由Sallis等人(1985)所創立，經過數次修改後(Sallis et al., 1993; Sarkin et al., 1997)，對於一般對象的施測極具實用性。其方法是讓受試者回憶過去七日身體活動的情況，以推斷受試者日常身體活動量。此問卷是透過調查受試者從事不同強度活動(例如：輕度、中度、重度、激烈活動及睡眠時間)所花費的時間，以計算每日活動所消耗的能量。睡眠的定義為受試者開始上床睡著至起床所花費的時間，而輕度活動則是一日24小時扣除中度、重度、激烈以及睡眠時間所剩下的活動時間。此問卷內容分成兩階段：第一階段為週一至週五；第二階段為週六及週日，並以不同強度的活動以及睡眠時間來估算每天的卡路里消耗量。每一類的活動各以不同的代謝當量(metabolic equivalent, MET; 1MET=1 kcal/kg/hour)來表示：睡眠=1MET、輕度活動=1.5METs、中度活動=4METs、重度活動=6METs、激烈活動=10METs。每日身體活動所消耗能量為週一至週日的活動量總和除以7，再乘以體重(公斤)以獲得該受試者的每日平均身體活動量。此問卷的再測信度在男性為 $r=0.60(p<.01)$ 、女性為 $r=0.36(p=.05)$ (Richardson, Ainsworth, Jacobs, & Leon, 2001)。在中譯版信效度方面，呂昌明等人(2000)曾經讓研究者佩帶心搏率監測器(Polar Vantage NV Heart Rate Monitor, HRM)做為效標，連續監測一週，結果發現：此問卷效度為Spearman's $\rho=.378(p<.001)$ ，兩週後的再測信度為Spearman's $\rho=.912(p<.001)$ (呂昌明、林旭龍、黃奕清、李明憲、王淑芳，2000)。上述結果顯示七日身體活動回憶問卷具有良好的信度及效度，並且適用於65歲以上老年人(Sallis et al., 1985; Hale, Pal, & Becker, 2008)，因此，本研究採用此問卷來評估受試者的身體活動量大小，以



做為組別區分用。

3. 電生理工具

- (1)美國Neuroscan發行之神經刺激系統STIM2(Neuroscan Ltd., El Paso, USA)。
- (2)美國Neuroscan公司發行之NuAmps放大器系統與SCAN 4.3應用軟體與電極帽—Quick Cap C190(Electrode Positioning Cap)(Neuroscan Ltd., El Paso, USA)。
- (3)神經刺激系統應用軟體STIM2於IBM筆記型電腦(型號：Lenovo T61)內實施操作。
- (4)腦波SCAN4.3應用軟體於BenQ筆記型電腦(型號：Joybool S41-T08)內進行腦波紀錄。
- (5)導電膠、接地導線(銅線)、棉花棒、3M白色通氣膠帶。

(三) 施測流程

1. 受試者篩選

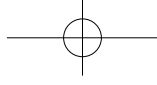
本研究在正式施測前，先讓受試者瞭解研究目的及施測流程，待完成受試者同意書後，填寫個人基本資料，再施以MMSE以排除有認知損害者，隨後藉由七日身體活動回憶問卷挑選出規律從事桌球運動且為高活動量者，及無任何運動習慣且為低活動量者，分別做為本研究之運動組及控制組。

2. 腦波實驗步驟

受試者舒服地坐在光線適中且無聲音干擾的地方，以距離60cm平視30.5cm × 19cm的IBM筆記型電腦螢幕進行實驗操作，並以食指和中指分別置於鍵盤的K鍵與L鍵上，以進行按鍵反應。在施測之前，告知受試者如何進行實驗操作，待其明瞭後，要求受試者雙眼注視電腦螢幕正中央，並給予10次的練習，讓受試者瞭解實驗情境的操作過程。在正式施測前，告知受試者必須做出正確的判斷，並以最快的按鍵速度完成每一次測試。

(1) 腦波資料收錄

本研究在使用神經刺激系統STIM2來檢測受試者的反應時間及正確率表現時，

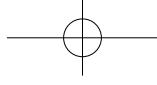


使用同公司所發行之NuAmps放大器與SCAN4.3應用軟體和電極帽，同步收集受試者的ERP。

ERP的記錄是由18個Ag/AgCl材質的電極點，採用國際通用10-20的腦波記錄系統。收集的電極點包含：F3、F4、F7、F8、C3、C4、P3、P4、T3、T4、T5、T6、Fz、Cz、Pz、O1、O2及Oz。電極帽以前額GND為接地電極，參考點A1、A2設置於左右兩耳後乳突(mastoid)的位置，左眼電極位置VEOU、HEOL、VEOL以及右眼電極位置HEOR為監控眼電(electrooculographic, EOG)活動，以記錄並排除會干擾ERP的眼動及眨眼行為。所有的電極皆與皮膚接觸良好，在電阻為5K歐姆以下進行收錄，濾波設為0.1-40 Hz bandpass，類比數位轉換為32 bites，取樣率設為1000Hz，放大為500倍。記錄的眨眼、眼動或放大器的阻斷雜訊都會在DATA流失率少於約5%的情況下排除掉。Epoch取段以刺激鎖定(stimulus-locked)分別做延遲情境及不延遲情境處理：(a)不延遲情境：以刺激設為零點，取刺激前200ms及刺激後1000ms；(b)延遲情境：以第一個刺激設為零點，取該刺激前200ms至第二個刺激出現後的1000ms。鎖定之刺激前200ms設定為該段腦波的基準線(baseline)。

(2) 視覺空間工作記憶情境(Non-delayed and delayed matching-to-sample tests)

Delayed matching-to-sample作業通常被研究者運用於工作記憶的研究中(McDowd & Oseas-Kreger, 1991; Löw et al., 1999; Müller & Knight, 2002)，Müller與Knight(2002)曾將此類作業設計成視覺空間刺激，並再增加不延遲情境的混合設計，藉此成功地比較出老年人與年輕人在視覺空間工作記憶的表現差異，因此，本研究實驗情境延用Müller和Knight(2002)所使用的non-delayed and delayed matching-to-sample的作業模式，以同時測量受試者在延遲及不延遲視覺空間工作記憶情境下的表現。為了符合本研究老年受試者的特性及有效地評估受試者群體間的認知能力，本研究做了以下的適度修正：(a)Müller與Knight(2002)研究中不延遲情境的刺激圖或然率較低，而且，不延遲情境與延遲情境的刺激圖不同，在此情況下，受試者可能會視不延遲的刺激為新奇刺激，而在額葉誘發出短潛時的P3a成份波(Müller & Knight, 2002)，而此成份波並非本研究所嘗試要探討的P3b成份波，為了降低干擾腦波誘發的因素，以及能與前人研究的P3b成分波做比較，因此本研究將延遲及不延遲情境改



為一致的或然率(50% vs. 50%)；(b)為了明確區分出每個嘗試次的出現及減少不相干刺激的影響，本研究將原本的嘗試次分隔圖(十字圖)改為素黑色底圖；(c)由於老年人需要較長的反應時間，因此本研究將Müller與Knight(2002)研究中施測年輕人與年紀較輕老年人的作答時間延長500 ms；(d)Müller與Knight(2002)研究中，老年人在3s及6s延遲情境僅達約6.5成的正確率，而且在6s情境更因年輕人的低正確率，而未達組間的差異，這說明了延遲時間長短會影響實驗的難易度，由於本研究僅招募65歲以上之受試者，為了避免難度太高而無法有效鑑別出老年受試者的真正能力，本研究將延遲時間調整為僅1.5秒的延遲。除了以上的適度調整之外，其餘的參數皆與原研究情境相似。

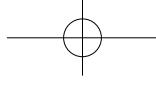
正式開始時，電腦螢幕正中央會出現「測驗開始」的提示訊息讓受試者做準備。每個刺激皆由一個紅點(直徑9 mm)隨機出現在一灰色矩形(視角 $3.8^{\circ} \times 7.4^{\circ}$)之50個可能的位置，紅點出現的範圍只會在螢幕正中央或離視角左邊或右邊 5.9° 的位置。受試者必須判斷螢幕正中央矩形內紅點位置是否與左邊(或右邊)矩形內紅點位置是否相同，如果相同，則按K鍵(食指)，反之則按L鍵(中指)。實驗情境共分延遲及不延遲情境兩種刺激形式，每一個嘗試次開始前皆有「下一個測驗！」以提醒受試者做下次測試的準備。按鍵反應後，會依照反應的正確或錯誤給予回饋(如圖一所示)。刺激圖的match、non-match以及左邊、右邊出現的或然率各占50%。此兩種情境出現的嘗試次各為108次，總共216次。為了避免受試者在長時間無法維持專注，因此將所有的測試次分成三段，每段72次大約在7分鐘左右完成，間隔休息時間為3~5分鐘，以舒緩受試者的精神，使其能在最佳的專注力下完成測驗。

(四) 資料處理與統計分析

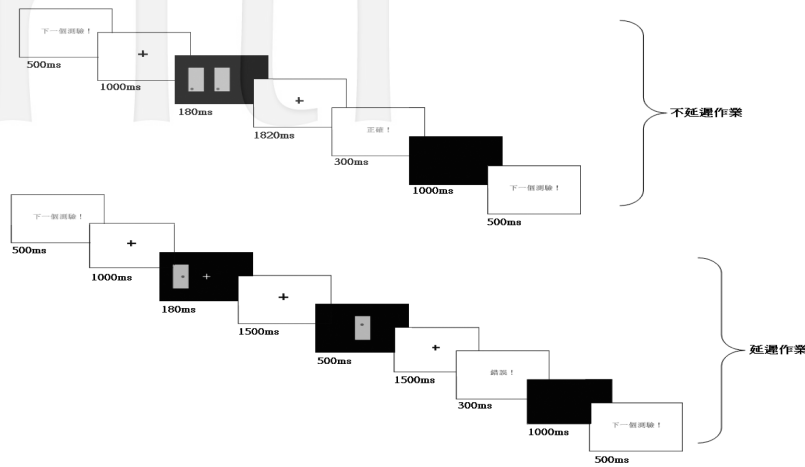
1. 行為表現與腦波資料處理

(1) 行為表現

反應時間低於150 ms，或超過1500 ms未執行按鍵動作，均視同該嘗試次反應失敗，不列入分析計算。在排除錯誤嘗試次後，再分別計算延遲情境與不延遲情境中，正確判斷的平均反應時間及正確率。



airiti



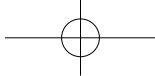
圖一 視覺空間注意力作業流程

(2)腦波資料分析

首先將分段的腦波記錄做校正合併，再執行去眼動步驟，接著進行腦波圖的切割分段(切割刺激前200ms及刺激後1000ms)、基線校正(刺激前200ms)、排除雜訊干擾(排除振幅超過正負 $100\mu\text{V}$)、濾波(頻寬設定於0.1 Hz至40 Hz band pass)、分析Fz、Pz電極點以及電位平均，並定位分析編碼階段的P3波(發生在目標刺激出現後350ms-600 ms的最大正波)、反應階段N2(發生在目標刺激出現後180ms-350 ms的最大負波)、P3波(發生在目標刺激出現後350ms-650 ms的最大正波)振幅與潛時，以及Pz電極記憶維持階段的準備電位CNV面積(第一張刺激後800 ms至第二張刺激後50 ms的負面積)(註：根據前人研究指出：空間訊息的維持主要作用於頂葉(parietal lobe)皮質區(Ruchkin, Johnson, Grafman, Canoune, & Ritter, 1997; Mecklinger & Pfeifer, 1996; Chafee & Goldman-Rakic, 1998; Rowe, Toni, Josephs, Frackowiak, & Passingham, 2000; Wager & Smith, 2003)。

2. 統計分析

本研究使用統計分析軟體SPSS 16.0分析行為及腦波數據。在行為資料方面，將以混合設計重複量數變異數分析(repeated measure ANOVA, RM ANOVA)計算兩組



在不同情境下，行為正確率與反應時間的差異。在腦波分析方面，以混合設計RM ANOVA比較兩組參與者在延遲情境下，Fz、Pz電極點的編碼P3振幅及潛時之差異；同樣以混合設計RM ANOVA分別分析兩組參與者在不同情境(延遲情境與不延遲情境)及不同電極點的反應N2與反應P3振幅與潛時的差異。統計數據如有違反環狀假設的情況，將以Geisser-Greenhouse(G-G)先予以修正，再進行分析。此外，在動作準備電位(或空間記憶維持(spatial memory retention))CNV則以獨立樣本 t 檢定分析兩組間在延遲情境時，Pz電極點波形下的面積大小(CNV面積計算方式參考Tsai、Pan、Cherng、Hsu與Chiu(2009)和Tsai、Pan、Chang、Wang與Tseng(2010)使用之方法)。顯著水準訂為 $p < .05$ ，如達顯著水準，則同時呈現partial eta square(partial η^2)值以告知效果量大小(partial η^2 值大於0.14代表高效果量、介於0.08-0.14為中效果量、小於0.08為小效果量(Bora, Vahip, & Akdeniz, 2006))。

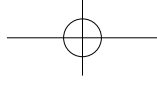
三、結 果

(一) 受試者基本資料

從表一顯示：運動組除了每日消耗卡路里與控制組有達顯著差異外，基本資料(年齡、身高、體重、BMI)與MMSE皆未達顯著差異。此外，由於簡式智能檢測量表滿分為30分，達24分以上為正常值，因此，本研究兩組受試者的認知功能皆達正常範圍。

表一 受試者基本資料摘要表

	運動組(N=12)	控制組(N=12)	t 值	p 值
年齡(歲)	66.58 ± 1.44	67.33 ± 1.15	-1.41	.174
身高(公尺)	1.56 ± 0.50	1.54 ± 0.40	.50	.620
體重(公斤)	54.03 ± 5.95	53.23 ± 10.35	.22	.832
BMI(kg/m ²)	22.30 ± 2.37	22.20 ± 3.88	.08	.939
MMSE	29.08 ± 0.90	28.50 ± 1.62	1.09	.288
卡路里(Kcal/d)	2082.67 ± 239.47	1745.96 ± 332.61	2.85	.010

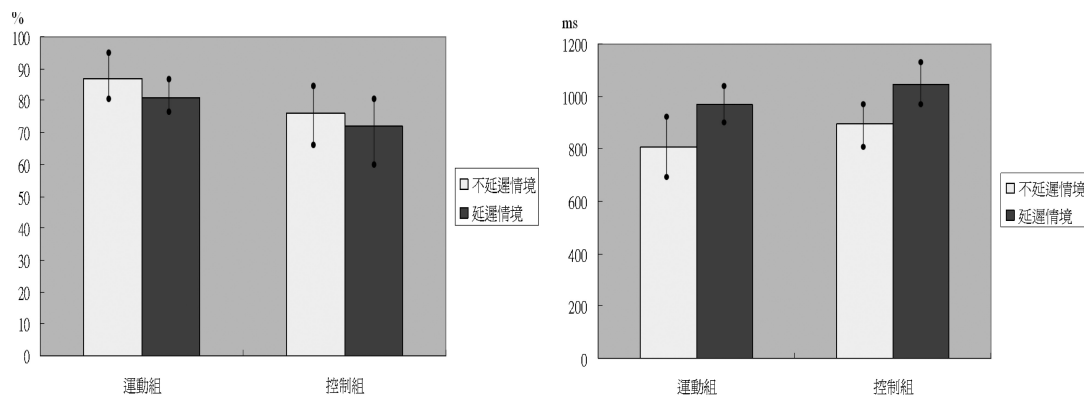


(二) 行為表現資料

圖二與表二是不同身體活動量的老年人在不同情境的行為表現資料分析摘要表。

1. 正確率

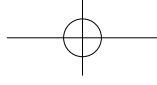
所有受試者在延遲情境中的正確率明顯地比不延遲情境低，而控制組老年人在兩種情境下，正確率明顯地比運動組表現差，效果量亦達0.37，顯示身體活動量與促進反應正確率的關係屬於高度關聯強度，且達臨床或實務顯著性。但情境與組別之間並無交互作用效果，代表本研究不受情境的不同而影響組間正確率的表現。



圖二 運動組與控制組在兩種情境的正確率(左)與反應時間(右)的表現

表二 不同活動量與各情境刺激之混合設計二因子變異數分析摘要表

	<i>F</i> 值(1,22)	<i>p</i> 值	partial η^2
正確率			
情境	8.13	.009	.271
組別	13.03	.002	.372
組別×情境	0.11	.740	
反應時間			
情境	61.74	<.001	.737
組別	5.84	.024	.210
組別×情境	0.19	.671	



2. 反應時間

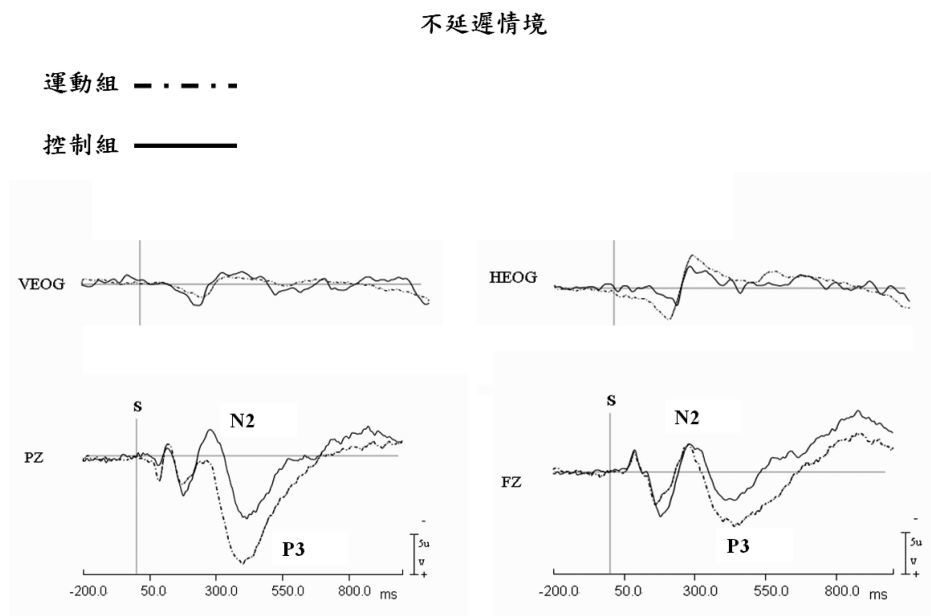
所有受試者在延遲情境皆明顯地需要較長的時間做反應，而運動組在這兩種視覺空間記憶情境下的反應時間與控制組達顯著差異，而且效果量亦達0.21，顯示身體活動量對反應時間改善的關係屬於高度關聯強度，且達臨床或實務顯著性。另外，情境與組別之間並無交互作用效果(見表二)。

(三) 事件相關電位

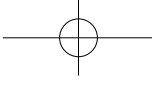
圖三與圖四為兩組受試者在不延遲及延遲情境時，Fz及Pz電極的腦波圖。ERP各成份波的振幅及潛時量化分析後，其統計數據呈現於表三、表四、表五和表六。

1. 編碼P3波

在延遲情境時，運動組的編碼P3潛時明顯比控制組早。此外，組別×電極的交互作用亦達顯著，經事後比較發現：只有在Pz電極點，兩組的P3潛時有達顯著差異($t(22) = -2.09; p = .010$)。在振幅方面，兩組受試者的編碼P3振幅達顯著差異，運動組



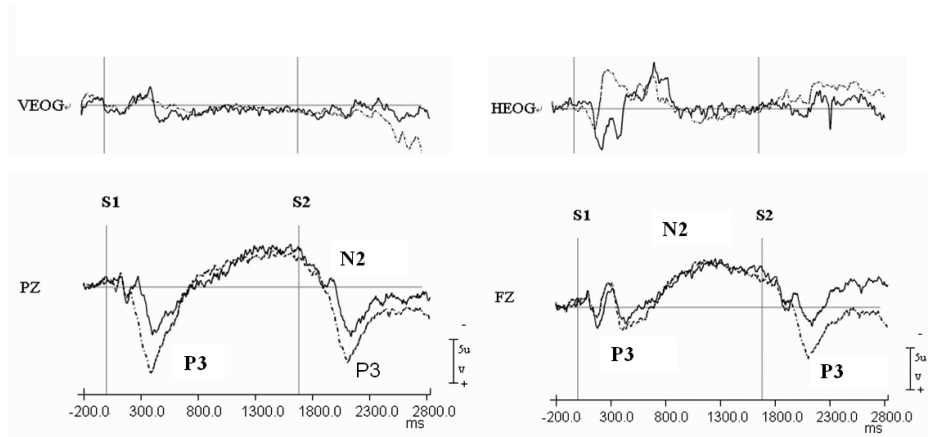
圖三 運動組與控制組在不延遲情境的Pz與Fz皮質區的事件相關電位表現



airiti

延遲情境

運動組 - - - - -
控制組 —————

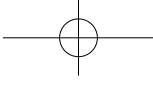


圖四 運動組與控制組在延遲情境的Pz與Fz皮質區的事件相關電位表現

表三 運動組與控制組在不同情境下的事件相關電位成份波潛時(ms)表現

情境	作用波	運動組		控制組	
		Fz	Pz	Fz	Pz
不延遲	反應N2	269.33 ± 34.37	256.42 ± 25.67	288.33 ± 23.49	280.75 ± 26.80
	反應P3	421.42 ± 42.48	394.17 ± 26.63	424.67 ± 45.37	424.17 ± 37.13
	編碼P3	413.25 ± 40.08	391.05 ± 41.74	422.58 ± 25.48	440.75 ± 44.83
延遲	反應N2	275.67 ± 79.05	253.42 ± 84.48	283.00 ± 83.33	258.33 ± 51.89
	反應P3	418.67 ± 56.26	422.42 ± 40.94	445.33 ± 87.71	450.25 ± 43.12

註：編碼P3為延遲情境的編碼階段所誘發的P3波；反應N2為不延遲與延遲情境中第二張刺激的反應階段所誘發的N2波；反應P3為不延遲與延遲情境中第二張刺激的反應階段所誘發的P3波



表四 運動組與控制組在不同情境下的事件相關電位成份波振幅(μV)表現

情境	作用波	運動組		控制組	
		Fz	Pz	Fz	Pz
不延遲	反應N2	-3.74 ± 4.91	-0.47 ± 3.00	-4.70 ± 5.52	-4.98 ± 4.52
	反應P3	8.20 ± 5.49	15.10 ± 5.97	5.35 ± 4.95	8.96 ± 4.56
延遲	編碼P3	5.04 ± 5.15	11.96 ± 5.13	3.10 ± 3.36	7.24 ± 4.27
	反應N2	0.67 ± 5.05	0.72 ± 5.93	-3.12 ± 4.11	-2.04 ± 4.90
	反應P3	7.50 ± 6.65	10.25 ± 5.57	4.04 ± 4.96	7.30 ± 4.06

註：編碼P3為延遲情境的編碼階段所誘發的P3波；反應N2為不延遲與延遲情境中第二張刺激的反應階段所誘發的N2波；反應P3為不延遲與延遲情境中第二張刺激的反應階段所誘發的P3波

的振幅比控制組大；Fz及Pz兩個電極點的振幅亦達顯著差異，Pz電極的振幅明顯地比Fz振幅大(見表五與圖四)。

2. 反應N2

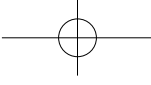
在潛時方面，N2波在極點、情境及組別間皆未達顯著差異(見表六)。在振幅方面，控制組的N2振幅明顯地較運動組大，不延遲情境較延遲情境大(見圖三與圖四)，而電極間則無達到顯著差異，其它因子的交互作用皆無達到顯著差異。

3. 反應P3波

在反應P3潛時方面，組別、情境、電極與彼此間交互作用皆未達顯著差異(見表六)。在反應P3振幅方面，組別、電極、情境三個因子個別達顯著差異，運動組明顯地比控制組的振幅大，Pz電極的振幅明顯大於Fz電極，而不延遲情境所誘發的振幅明顯大於延遲情境(見圖三與圖四)。

4. CNV波

在延遲情境的記憶維持階段，兩組在Pz的CNV波(運動組- 2681.33 ± 4258.42 ms μV vs. 控制組- 2581.33 ± 2711.70 ms μV)未達到顯著差異(見表六與圖四)。



表五 運動組與控制組在不同情境與不同電極的ERP潛時統計分析

作用波	組別	電極	情境	組別×電極	組別×情境	電極×情境	組別×電極×情境
編碼P3	$F(1, 22)=5.27$ $p=.032$	$F(1, 22)=0.04$ $p=.830$		$F(1, 22)=4.78$ $p=.040$			
反應N2	$F(1, 22)=0.88$ $p=.357$	$F(1, 22)=2.97$ $p=.099$	$F(1, 22)=0.24$ $p=.630$	$F(1, 22)=0.01$ $p=.941$	$F(1, 22)=0.39$ $p=.541$	$F(1, 22)=0.59$ $p=.452$	$F(1, 22)=0.05$ $p=.824$
反應P3	$F(1, 22)=2.36$ $p=.139$	$F(1, 22)=3.82$ $p=.064$	$F(1, 22)=0.33$ $p=.571$	$F(1, 22)=0.33$ $p=.571$	$F(1, 22)=0.71$ $p=.409$	$F(1, 22)=1.26$ $p=.275$	$F(1, 22)=0.62$ $p=.440$

註：編碼P3為延遲情境的編碼階段所誘發的P3波；反應N2為不延遲與延遲情境中第二張刺激的反應階段所誘發的N2波；反應P3為不延遲與延遲情境中第二張刺激的反應階段所誘發的P3波；ERP：事件相關電位

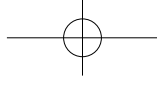
表六 運動組與控制組在不同情境與不同電極的ERP振幅統計分析

作用波	組別	電極	情境	組別×電極	組別×情境	電極×情境	組別×電極×情境
編碼P3	$F(1, 22)=4.51$ $p=.045$	$F(1, 22)=31.27$ $p<.001$		$F(1, 22)=1.20$ $p=.172$			
反應N2	$F(1, 22)=4.81$ $p=.039$	$F(1, 22)=1.55$ $p=.227$	$F(1, 22)=7.30$ $p=.013$	$F(1, 22)=0.57$ $p=.457$	$F(1, 22)=0.09$ $p=.774$	$F(1, 22)=0.50$ $p=.486$	$F(1, 22)=3.09$ $p=.093$
反應P3	$F(1, 22)=5.31$ $p=.031$	$F(1, 22)=26.06$ $p<.001$	$F(1, 22)=5.49$ $p=.029$	$F(1, 22)=0.74$ $p=.400$	$F(1, 22)=0.50$ $p=.486$	$F(1, 22)=2.70$ $p=.115$	$F(1, 22)=1.93$ $p=.178$
CNV	$t(22)=-.07$, $p=.946$						

註：編碼P3為延遲情境的編碼階段所誘發的P3波；反應N2為不延遲情境與延遲情境第二張刺激所誘發的N2波；反應P3為不延遲與延遲情境中第二張刺激所誘發的P3波；CNV為延遲階段的負面積；ERP：相關事件電位

四、綜合討論

本研究運動組和控制組的女性受試者在年齡、身高、體重、BMI及MMSE的表現皆無顯著差異，表示兩組受試者除了年齡與身體組成達一致性外，認知功能也都表現正常(超過24分，Anthony et al., 1982)。在七日身體活動回憶問卷上，兩組受試



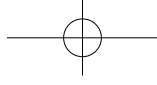
者的每日活動量的確明顯不同，由於本研究運動組受試者表示除了桌球運動外，幾乎沒有參與其他運動項目，顯示這些女性老年運動組藉由每日規律的桌球運動，已達到與控制組在身體活動量上的差異。在執行空間工作記憶作業時，運動組在行為表現(正確率與反應時間)優於活動量較低的控制組老年人，藉由 ERP也發現運動組在頂葉的編碼P3潛時較早、兩個電極的編碼P3振幅較大，而且在兩個情境及兩個電極的反應N2振幅較小，另外，運動組在兩個情境及兩個電極的反應P3的振幅明顯地比控制組大，不過，在記憶維持階段的CNV波則兩組未達顯著差異。以下將從行為與ERP表現來做個別探討：

(一) 行為表現

1. 正確率

從本研究的結果可以發現，運動組的老年人在非延遲及延遲視覺空間工作記憶情境的正確率表現皆比控制組的老年人好，顯示了從事桌球運動也能類似其它身體活動(如有氧運動，(Stroth et al., 2009))，可以促進視覺空間工作記憶的表現，這和先前的研究發現身體活動量增加可以改善視覺空間工作記憶力表現的結果相似，例如：Stroth等人(2009)藉由每週3次，每次30分鐘，連續6週的有氧運動，發現雖然這些活動訓練無法增加言語記憶力和專心表現，但是，身體活動量的增加的確能改善視覺空間記憶力的表現。然而，相較於其它相關研究，Hillman等人(2004)卻無法從Eriksen flankers作業情境發現不同活動量老年人之間在正確率表現的差異；此外，Hillman等人(2006)也無法從task-switching情境中，發現不同身體活動量的老年人在正確率表現上的差異，造成這些結果上的差異，可能的因素有兩個：

首先，身體活動對於大腦結構及功能的益處，似乎要在容易受老化影響的認知功能上，才可發揮較大的效益(Colcombe & Kramer, 2003)，的確，研究已證實：老年人的執行控制功能可從運動中獲得最大的促進效果(Kramer et al., 1999; Colcombe & Kramer, 2003)，而在需要執行控制功能的工作記憶中，又以空間工作記憶受老化的影響較大(Jenkins et al., 2000; Chen et al., 2003)，因此，似乎從空間工作記憶作業情境較有可能看出不同活動量老年人的認知表現差異。而且，已有學者發現：身體



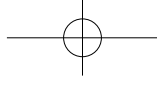
活動介入的效益，會在需要視覺空間訊息處理的作業上較為明顯(Shay & Roth, 1992; Stroth et al., 2009)。本研究使用視覺空間工作記憶情境，也確實比較出高低活動量的女性老年人在正確率表現上的差異，雖然有別於其它使用不同認知作業的研究結果(Hillman et al., 2004; Hillman et al., 2006)，然而，卻支持了身體活動會選擇性地促進大腦功能的說法(Kramer et al., 1999; Hillman et al., 2004; Hillman et al., 2006; Stroth et al., 2009)，也顯示了認知作業的選擇似乎會影響此類研究的結果。

其次，性別也可能是造成本研究與先前研究結果差異的原因之一。從大型的統合分析(meta-analysis)研究(Colcombe & Kramer, 2003)指出：當受試者人數的女性大於男性時，身體活動對認知功能的效果會比較明顯，其影響的主因可能是性賀爾蒙(雌激素)所引起(Laurin et al., 2001; Colcombe & Kramer, 2003)。事實上，已有研究發現雌激素剝奪會降低神經滋長因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)的濃度(Berchtold, Kesslak, Pike, Adlard, & Cotman, 2001)，而BDNF已被認為與老年女性的認知功能有直接的關係(Komulainen et al., 2008)，雖然研究發現使用雌激素取代治療可以回復BDNF的水準，不過，如能配合運動訓練的話其效果更佳(Berchtold et al., 2001)。可見，運動或身體活動與賀爾蒙的交互作用可能是間接造成性別間認知表現差異的要素之一。因此，在先前的研究中，男女受試者比例相等(Hillman et al., 2004)或所有受試者皆為男性(Hillman et al., 2006)研究結果，皆發現組間的正确率表現並無差異。有鑑於此，本研究結果和先前研究發現有所不同，可能是受試者的性別差異所致，值得後續研究做更深入的探討。

綜合以上所述，本研究招募僅有單一性別的老年女性受試者，在執行視覺空間工作記憶的作業情境時，確實發現了運動組的表現明顯地比身體活動低的控制組為佳，這個發現似乎支持高身體活動量對女性老年人視覺空間記憶力的認知功能會有一定的效益存在。

2. 反應時間

運動組在執行視覺空間記憶作業時，除了上述的正確率比控制組高之外，反應也比較快，此結果與其它使用不同認知實驗情境的發現相似(Hatta et al., 2005; Hillman et al., 2006)。Hatta等人(2005)研究發現：老年人從事多種型式(有氧運動、肌力



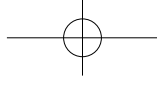
訓練、伸展運動)的運動介入後，在執行體感怪球(somatosensory oddball)認知情境時，比不活動的老年人有較快的反應時間，因此，身體活動介入的確可以促進中樞神經系統認知反應的處理速率。此外，Hillman等人(2006)也從task-switching的作業情境中發現高低身體活動量的老年人，在反應時間上有明顯的差異，這也顯示了身體活動量的不同會影響反應處理速度。事實上，較慢的反應時間能反映出認知處理速度全面性遲緩的現象(Salthouse, 1996)，而且，亦能顯示頂葉及額葉皮質間(涉及視覺空間注意力控制)網路連結功能的衰退(Knott et al., 2004)。從這些理論來看，本研究中規律從事桌球運動的受試者比低身體活動量的受試者反應還快，似乎可以推測：藉由規律的桌球運動，可以達到大腦皮質間網路連結功能的提升，以及認知處理速度加快的效益，使得行為上的反應表現較為迅速。的確，從事有氧或桌球運動可以促進認知智力的表現(Liu et al., 2009; Tsai, 2009)，這意味著身體活動會影響中樞神經系統(Polich & Kok, 1995)，進而達到改善動作行為上的效果。因此，本研究中從事規律性桌球運動的老年人，可能是藉由較高的身體活動量來提升認知表現，也因此行為上的表現較為優異。

(二) 事件相關電位表現

從神經照影的研究指出：在執行視覺空間工作記憶作業時，會活化頂葉及額葉皮質區(Smith & Jonides, 1997)，因此，本研究將從這兩個皮質區來解釋老年人在上述行為差異的機轉。此外，由於本研究涉及不同的認知情境，因此將分成不需動作反應的編碼階段、需動作反應階段、及記憶維持階段的事件相關電位波做個別的討論，藉此深入瞭解認知處理歷程對上述行為表現的影響。

1. 編碼P3

在本研究中，編碼P3是在延遲情境中，對空間刺激做編碼所誘發的事件相關電位。由於實驗中所有的刺激會在一個固定矩形中，以隨機方式出現在不同的空間位置上，因此，受試者在每個不同嘗試次的編碼階段，必須做空間位置的記憶更新，此心理行為類似於人類的記憶基模，因新的外在刺激物，而產生記憶內容更新的現象，此現象所產生的電生理訊號即為P3(P300)波的誘發(Donchin, 1981)。相同地，P3



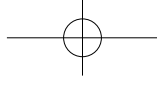
也可以被認為當中樞神經系統參與記憶內容更新的過程時，所表現的神經活動特徵(Polich & Kok, 1995)。有鑑於此，本研究將從上述理論來解釋編碼P3。

從單一神經元記錄或神經照影的研究指出：在執行空間編碼或空間訊息更新時，較會活化頂葉皮質區(Andersen, Essick, & Siegel, 1985; Merriam, Genovese, & Colby, 2003)。本研究的結果亦發現，受試者在頂葉皮質確實達到統計上較大的振幅表現，這個現象除了支持頂葉是處理視覺空間的訊息之外，亦表示本研究的受試者在執行視覺空間編碼時，動員較多頂葉皮質區的神經資源。另外，在兩組的比較之下，運動組老年人的振幅明顯地比控制組大，顯示了運動組的老年人能夠動員較多的注意力資源(Wickens et al., 1983)，或者有較佳的工作記憶更新的能力(Donchin, 1981)。而持相同理論的學者也發現：較大的P3振幅會伴隨著較佳的記憶力表現(Fabiani, Karis, & Donchin, 1990)，因此，從本研究運動組受試者在執行視覺空間記憶力時，反應較快且正確率較高，似乎也逆向支持了上述研究對編碼P3振幅較大趨勢的解釋。另一方面，雖然運動組的編碼P3潛時比控制組還快，但僅在頂葉有此現象，顯示了運動組能快速地運用負責處理視覺空間訊息的頂葉皮質區，做刺激的編碼或空間訊息的更新，並且反應了兩組之間在神經元的處理能力及速度上的差異(Polich & Kok, 1995)。此外，有學者認為較慢的編碼處理會使得刺激評估時間延長，進而降低記憶力表現(Müller & Knight, 2002)，本研究確發現運動組老年人編碼P3潛時比控制組快，表現出的正確率也比控制組高，似乎同時支持了上述的論點。

綜合以上編碼P3的結果顯示：從事桌球運動的老年人，似乎能夠在編碼階段動員較多注意力資源以及表現出較佳的空間記憶更新能力，同時也能較快速地運作這些功能，間接促進了運動組老年人的視覺空間工作記憶的表現。

2. 反應N2

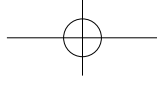
N2波是ERP成份中約出現在視覺刺激後180ms-350ms左右(Folstein & Van Petten, 2008)，該波被認為是認知控制的一種指標，它與反應監控及反應抑制有關(Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001)。N2振幅通常在目標刺激比非目標刺激大(Pritchard et al., 1991)，意味著視覺刺激處理時的注意力投入的程度不同所致(Suwazono et al., 2000)；另外，其潛時會受實驗條件(例如：難度)而變化，反映出大腦對刺



激的辨識處理過程(Ritter, Simson, Vaughan, & Macht, 1982)。本研究發現運動組與控制組在N2潛時無達到顯著差異，顯示了從事高活動量的桌球運動不會加快對空間刺激的辨識處理過程。不過，運動組的N2振幅明顯地較控制組小，意味著桌球運動的參與可能會降低空間刺激處理時，其注意力投入的程度，此發現與Stroth等人(2009)的結果相似，他們發現較高身體適能的青少年在執行Eriksen flanker作業時，有較小的N2振幅，顯示了身體適能會降低反應監控過程的努力，以增加執行控制系統的效率。事實上，已有神經照影的研究指出：N2起源於前扣帶皮質區(anterior cingulate cortex, ACC)(van Veen & Carter, 2002)，有研究也發現高有氧適能者或在有氧訓練的介入會有較小的ACC活化(Colcombe et al., 2004)，此現象反映了在執行作業時，藉由減少作業相關的反應衝突，以增加由上至下(top-down)的注意力控制(Themanson & Hillman, 2006)。不過，Themanson 和Hillman(2006)則發現年輕人的N2振幅不受心肺適能或急性有氧運動的影響，他們認為此結果可能是因為年輕人較不受干預效應(interference effect)的影響，而對於最佳認知表現效率的年輕時期而言，體適能的促進效益似乎不大，最後，他們認為若是在老年人身上應該會得到不同的結果。的確，本研究發現高活動量的老年受試者有較小的N2振幅，顯示了規律從事桌球運動的女性老年人，似乎對空間刺激的位置判斷時，會減少作業相關的反應衝突或減少應監控過程的努力程度，藉此在有限的認知資源中，以增加認知導向的由上至下的執行控制系統或減少刺激導向的由下至上(bottom-up)系統的處理，而這兩種系統的交互作用已被學者認為是為了最佳化注意力表現的調節(Egeth & Yantis, 1997)。本研究發現運動組的行為表現亦較佳，意味著N2波的調節亦是一重要因素。不過，值得注意的是本研究在N2波誘發時，在該時間窗(time window)同時的眼動電位有稍微偏向負電位的情形，因此，此成分波的結果仍須考量到這個問題可能造成的影響。建議未來研究針對此點須採用更细心的實驗設計，避免老年受試者維持睜眼時間過常造成實驗時無法避免的誤差，以更一步地釐清N2波與身體活動之間的關係。

3. 反應P3.

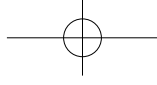
反應P3為受試者做空間位置的比較後，做出選擇性的動作反應輸出時，所誘發出的成份波。可見，此過程涉及了工作記憶中的額葉中樞執行系統，同時需要頂



葉視覺空間畫板的輔助(Baddeley, 1992)。反應P3振幅反映在執行的過程中，所招募的注意力資源大小(Wickens et al., 1983)；而反應P3潛時則代表了對空間刺激的分類(Duncan-Johnson, 1981)及評估(Kutas et al., 1977)速度。

本研究發現運動組與控制組在反應P3潛時並未達到統計上的顯著差異，此結果說明了從事開放性桌球運動對於老年人在刺激評估及分類的處理速度，似乎改善的效益並不大。結合行為上的反應時間結果來看，McEvoy等人(2001)認為老化會損害行為反應過程的其中幾個或所有的步驟(例如：刺激評估、執行反應、反應選擇…等)，而導致反應時間的變慢，因此，即使本研究兩組受試者對於空間訊息處理的速度並無明顯差異，但是運動組在執行反應的過程似乎較有效率，達到反應時間較快的行為表現。此解釋似乎也可從先前的研究加以證實，例如：Knott等人(2004)發現老年人在執行視覺空間工作記憶作業時，雖然反應時間比年輕人慢，但在反應P3潛時卻無差異，研究者因此認為老年人似乎能跟年輕人般快速地處理記憶訊息，但在動作反應的選擇、準備或執行上還是較無效率。有鑑於此，該研究結果似乎暗示了本研究中運動組可能在於動作準備、選擇或執行適當的反應時較有效率，這些效果也能彌補P3潛時無差異的問題，使得運動組有動作反應較快的趨勢。的確，已有研究證實從事桌球運動可以改善執行視覺空間注意力時的動作效率(Tsai, 2009)，因此，結合行為及電生理的結果顯示：雖然從事開放性桌球運動對於空間訊息處理速度的效益仍有限，但似乎仍可改善老年人動作控制的執行效率。

另外，本研究發現運動組額葉及頂葉的反應P3振幅明顯大於控制組，顯示了從事桌球運動似乎可以在反應階段時，促進老年人在中樞執行控制及視覺空間畫板系統的注意力資源動員(Wickens et al., 1983)。此外，Crutis(2006)認為在執行視覺空間工作記憶時，額葉區是屬於前瞻性(prospective)空間訊息並且負責動作反應的處理，而頂葉區則是主司回溯性(retrospective)空間訊息，因此，從本研究的結果來看，運動組有較大的額葉P3振幅顯示該組老年人增加由上至下(top-down)或自主性控制(voluntary control)的注意力控制(Hopfinger, Buonocore, & Mangun, 2000)，或者是對於任務投入較多的注意力資源使得動作的輸出較快(Kida et al., 2003)，而有較快的反應時間表現；另外，較大頂葉P3振幅意味著運動組似乎有較佳的空間訊息提取能力，因

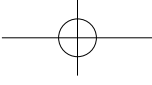


而有助於空間訊息的辨識以提高正確率表現，此發現亦支持了較大的P3振幅有較佳的記憶表現的說法(Fabiani et al., 1990)。另一方面，從個體發展的角度來看，曾有研究招募了9-18歲的受試者，並讓他們執行視覺空間工作記憶作業，同時使用功能性核磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)觀察其的大腦活化的現象，結果發現：年齡越大的受試者其視覺空間工作記憶的表現越佳，並且在額葉及頂葉皮質的活動亦越大(Klingberg, Forssberg, & Westerbert, 2002)，他們認為此內在機轉可能是頂葉纖維的髓鞘作用(myelination)增加該皮質區的傳遞速度，也提升頂葉與額葉皮質間的相互連結，因此，這些皮質區的發展可能是促成不同年齡受試者認知差異的主因(Klingberg et al., 2002)。反觀本研究所招募的受試者，皆處於持續老化過程的個體，其額葉及頂葉皮質區亦受老化而流失(Colcombe et al., 2003)，因此，若以Klingberg等人(2002)的邏輯來推論的話，本研究運動組較大的P3振幅可能是頂葉皮質的髓鞘作用較控制組佳，因此促進額葉與頂葉皮質的連結性，這些推論除了支持了Colcombe等人(2004)的研究發現之外，也顯示了桌球運動的參與可能會預防或延緩大腦皮質功能的老化，因而比控制組有較佳的認知表現。

除了上述的因素之外，透過動作技巧的學習是可以增加大腦皮質的厚度及突觸的接合(Kleim, Lussnig, Schwarz, Comery, & Greenough, 1996)，以及增長小腦神經元突觸的數目(Isaacs, Anderson, Alcantara, Black, & Greenough, 1992)，事實上，桌球是需要快速反應的運動項目之一，它需要球員手眼敏捷地做協調(Rodrigues, Vickers, & Williams, 2002)，而且，由於桌球回球的反應期是非常短暫的，所以球員必須在短時間內預先利用線索來決定所需要的反應(Raab, Masters, & Maxwell, 2005)，這些特性皆說明了桌球運動是極需知覺與動作要素快速的配合，因此，本研究的運動組或許能夠在桌球運動的薰陶之下，透過提升大腦生理與認知效益，進而表現出較優異的視覺空間工作記憶表現。

4. 記憶維持階段CNV

空間訊息的記憶維持主要作用於頂葉皮質區(Ruchkin et al., 1997; Mecklinger & Pfeifer, 1996; Chafee & Goldman-Rakic, 1998; Rowe et al., 2000; Wager & Smith, 2003)，本研究發現：運動組與控制組在記憶維持階段的CNV未達顯著差異，顯示了



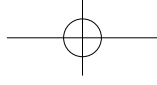
兩組間的空間記憶維持的能力並無差異。雖然已有學者指出較大的負波會伴隨著較佳的記憶表現(Müller & Knight, 2002)，然而，他們發現卻與本研究的發現不同，因此，我們推論造成本研究受試者間的表現差異的主因並非在記憶維持階段，可能是上述的反應N2、編碼及反應P3成份波所致。可見，桌球運動的參與可能對空間記憶維持的改善效益不大。

五、結論與建議

綜合以上發現，本研究結論如下：

- (一)從事開放性桌球運動且達高活動量的女性老年人，的確比控制組女性老年人有較佳的視覺空間工作記憶的行為表現，這似乎證實了從事開放性運動能達到促進中樞神經功能，進而提升老年人對視覺空間訊息的處理能力、減少反應需要的時間。
- (二)從事開放性桌球運動且達高活動量的女性老年人，對於空間刺激的編碼比較快，而且也能投入較多的注意力資源，以間接地促進視覺空間工作記憶的表現。另一方面，運動組在反應執行時，似乎能夠在早期認知處理時，減少作業相關的反應衝突或減少應監控過程的努力程度，以增加由上至下的執行控制系統的效率。雖然在後期認知處理對空間訊息的刺激評估及分類速度未能比控制組快，但因為他們能夠招募較多額葉與頂葉的注意力資源，提高這些皮質區的效率或相互連結，進而促進了認知表現，這可能是運動組女性老年人反應比控制組快、正確率較高的原因。

不同的運動項目對於認知效益的機轉是有所不同的，目前國內外有關運動與腦波的研究仍付之闕如，因此建議未來研究能從各種類型(封閉性、開放性)或各種運動項目來做更深入的探討。透過身體活動是可以改善人類在心生理上的功能(Burnham, 1998; Erickson & Kramer, 2009)，而運動介入的效果在越年輕時會越好(Hillman et al., 2006)，因此，建議未來能再加入專項運動的退役選手，藉此比較他們在執行認知作業時行為及事件相關電位上的差異，以了解早期身體活動介入對老人晚年的認知效



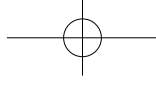
益。最後，本研究發現女性老年受試者在執行長達連續7分鐘的視覺空間工作記憶測驗時，對於其眼動的控制有其實質上的限制，從眼動圖的變化情形也發現確實會對ERP成份波(特別是N2成份波)有著某種程度的影響。因此，未來建議欲測試65歲以上老年受試者之認知相關作業，除了眼動的控制須更加小心之外，可嘗試以較短的作業持續時間，並以多次測試的方式進行，或許可降低干擾實驗數據的雜訊。

誌 謝

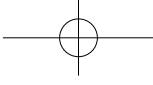
本研究承蒙國科會專題研究計畫之部分補助，計畫編號為NSC 97-2410-H-006-085。

參考文獻

- 內政部(2010)。〈九十九年第十週內政統計通報(98年底老人長期照顧及安養機構概況)〉。2010年3月05日，取自<http://www.moi.gov.tw/stat/intro.aspx>。
- 王駿濠、蔡佳良(2009)：〈以運動與身體活動預防失智症：文獻回顧〉。《台灣公共衛生雜誌》，28卷4期，268-277。
- 呂昌明、林旭龍、黃奕清、李明憲、王淑芳(2000)：〈身體活動自我報告量表之效度及信度的研究—以Polar Vantage NV心搏率監測器為效標〉。《衛生教育學報》，14卷，33-48。
- 戴玉慈、葉炳強、黃貴薰、羅美芳(1999)：〈住院年老病患的認知功能〉。《台灣醫學》，3卷3期，279-286。
- Andersen, R. A., Essick, G. K., & Siegel, R. M. (1985). Encoding of spatial location by posterior parietal neurons. *Science*, 25, 230(4724), 456-458.
- Anthony, J., LeResche, L., Niaz, U., VonKorff, M., & Folstein, M. (1982). Limits of the “mini-mental state” as a screening test for dementia and delirium among hospital patients. *Psychology Medicine*, 12, 397-408.

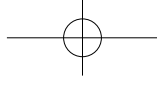


- Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556-559.
- Berchtold, N. C., Kesslak, J. P., Pike, C. J., Adlard, P. A., & Cotman, C. W. (2001). Estrogen and exercise interact to regulate brain derived neurotrophic factor mRNA and protein expression in the hippocampus. *The European Journal of Neuroscience*, 14(12), 1992-2002.
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(14), 5568-5572.
- Bora, E., Vahip, S., & Akdeniz, F. (2006). Sustained attention deficits in manic and euthymic patients with bipolar disorder. *Progress in Neuro-psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 30, 1097-1102.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108(3), 624-652.
- Bugg, J. M., DeLosh, E. L., & Clegg, B. A. (2006). Physical activity moderates time-of-day differences in older adults' working memory performance. *Experimental Aging Research*, 32(4), 431-446.
- Burnham, J. M. (1998). Exercise is medicine: Health benefits of regular physical activity. *The Journal of The Louisiana State Medical Society : Official Organ of the Louisiana State Medical Society*, 150(7), 319-323.
- Chafee, M. V., & Goldman-Rakic, P. S. (1998). Matching patterns of activity in primate prefrontal area 8a and parietal area 7ip neurons during a spatial working memory task. *Journal of Neurophysiology*, 79, 2919-2940.
- Chen, J., Hale, S., & Myerson, J. (2003). Effects of domain, retention interval, and information load on young and older adults' visuospatial working memory. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 10(2), 122-133.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., &

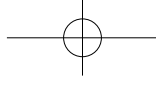


airiti

- Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(2), 176-180.
- Colcombe, S. J., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E.,...Kramer, A. F. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 61(11), 1166-1170.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: A meta-analytic study. *Psychological Science: A Journal of the American Psychological Society / APS*, 14(2), 125-130.
- Colcombe, S., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J.,...Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3316-3321.
- Craik, F. I. M., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attentional resource. In F. I. M. Craik & S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes*. New York, NY: Plenum Press.
- Crutis, C. E. (2006). Prefrontal and parietal contributions to spatial working memory. *Neuroscience*, 139(1), 173-180.
- Donchin, E. (1981). Surprise!... Surprise? *Psychophysiology*, 18(5), 493-513.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the p300 component a manifestation of context updating? *The Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-374.
- Duncan-Johnson, C. C. (1981). P300 latency: A new metric of information processing. *Psychophysiology*, 18, 207-215.
- Egeth, H. E., & Yantis, S. (1997). Visual attention: Control, representation, time course. *Annual Review of Psychology*, 48, 269-297.
- Enoki, H., Sanada, S., Yoshinaga, H., Oka, E., & Ohtahara, S. (1993). The effects of age on the N200 component of the auditory event-related potentials. *Brain Research. Cognitive*



- ative *Brain Research*, 1(3), 161-167.
- Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2009). Aerobic exercise effects on cognitive and neural plasticity in older adults. *British Journal of Sports Medicine*, 43(1), 22-24.
- Fabiani, M., Karis, D., & Donchin, E. (1990). Effects of mnemonic strategy manipulation in a Von Restorff paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(2), 22-35.
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). Mini-mental state: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189-198.
- Goffaux, P., Phillips, N. A., Sinai, M., & Pushkar, D. (2008). Neurophysiological measures of task-set switching: effects of working memory and aging. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 63(2), 57-66.
- Hale, L. A., Pal, J., & Becker, I. (2008). Measuring free-living physical activity in adults with and without neurologic dysfunction with a triaxial accelerometer. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(9), 1765-1771.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1998). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.
- Hatta, A., Nishihira, Y., Kim, S. R., Kaneda, T., Kida, T., Kamijo, K.,...Haga, S. (2005). Effects of habitual moderate exercise on response processing and cognitive processing in older adults. *The Japanese Journal of Physiology*, 55(1), 29-36.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. (2004). Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(2), 87-96.
- Hillman, C. H., Belopolsky, A. V., Snook, E. M., Kramer, A. F., & McAuley, E. (2004). Physical activity and executive control: Implications for increased cognitive health dur-



ing older adulthood. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(2), 176-785.

Hillman, C. H., Buck, S. M., Themanson, J. R., Pontifex, M. B., & Castelli, D. M. (2009). Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Developmental Psychology*, 45(1), 114-129.

Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). **Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition.** *Nature Reviews. Neuroscience*, 9(1), 58-65.

Hillman, C. H., Kramer, A. F., Belopolsky, A. V., & Smith, D. P. (2006). A cross-sectional examination of age and physical activity on performance and event-related brain potentials in a task switching paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 59(1), 30-39.

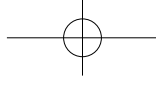
Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience*, 3, 284-291.

Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., Black, J. E., & Greenough, W. T. (1992). Exercise and the brain: angiogenesis in the adult rat cerebellum after vigorous physical activity and motor skill learning. *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism: Official Journal of The International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 12(1), 110-119.

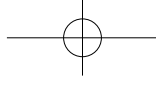
Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J. A., & Hale, S. (2000). Converging evidence that visuo-spatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging*, 15(1), 157-175.

Katzman, R., Zhang, M. Y., Ouang, Y. Q., Wang, Z. Y., Liu, W. T., Yu, E.,...Grant, I. (1988). A Chinese version of the Mini-Mental State Examination: Impact of illiteracy in a Shanghai dementia survey. *Journal of Clinical Epidemiology*, 41(10), 971-978.

Kida, T., Nishihira, Y., Hatta, A., Wasaka, T., Nakata, H., Sakamoto, M., & Nakajima, T. (2003). Changes in the somatosensory N250 and P300 by the variation of reaction time. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3-4), 326-330.

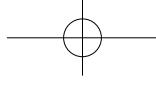


- Kleim, J. A., Lussnig, E., Schwarz, E. R., Comery, T. A., & Greenough, W. T. (1996). Synaptogenesis and Fos expression in the motor cortex of the adult rat after motor skill learning. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 16(14), 4529-4535.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerbert, H. (2002). Increased brain activity in frontal and parietal cortex underlies the development of visuospatial working memory capacity during children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(1), 1-10.
- Knott, V., Millar, A., Dulude, L., Bradford, L., Alwahhabi, F., Lau, T.,... Wiens, A. (2004). Event-related potentials in young and elderly adults during a visual spatial working memory task. *Clinical EEG and Neuroscience*, 35(4), 185-192.
- Komulainen, P., Pedersen, M., Hänninen, T., Bruunsgaard, H., Lakka, T. A., Kivipelto, M.,... Rauramaa, R. (2008). BDNF is a novel marker of cognitive function in ageing women: the DR's EXTRA Study. *Neurobiology of Learning and Memory*, 90(4), 596-603.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R.,... Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400(6743), 418-419.
- Kutas, M., & Dale, A. (1997). Electrical and magnetic readings of mental functions. In M. D. Rugg (Ed.), *Cognitive neuroscience* (pp. 197-242). Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197, 792-795.
- Laurin D., Verreault R., Lindsay J., MacPherson K., & Rockwood K. (2001). Physical activity and risk of cognitive impairment and dementia in elderly persons. *Archives of Neurology*, 58(3), 498-504.
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *Journal of Sports Sciences*, 21, 707-732
- Linden, D. E. (2005). The p300: Where in the brain is it produced and what does it tell us?



airiti

- The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, 11(6), 563-576.
- Liu, Y. F., Chen, H. I., Wu, C. L., Kuo, Y. M., Yu, L., Huang, A. M.,...Jen, C. J. (2009). Differential effects of treadmill running and wheel running on spatial or aversive learning and memory: roles of amygdalar brain-derived neurotrophic factor and synaptotagmin I. *The Journal of Physiology*, 587, 3221-3231.
- Löw, A., Rockstroh, B., Cohen, R., Hauk, O., Berg, P., & Maier, W. (1999). Determining working memory from ERP topography. *Brain Topography*, 12(1), 39-47.
- Mattay, V. S., Fera, F., Tessitore, A., Hariri, A. R., Berman, K. F., Das, S.,...Weinberger, D. R. (2006). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neuroscience Letters*, 392(1-2), 32-37.
- McDowd, J. M., & Oseas-Kreger, D. M. (1991). Aging, inhibitory processes, and negative priming. *Journal of Gerontology*, 46(6), P340-345.
- McEvoy, L. K., Pellouchoud, E., Smith, M. E., & Gevins, A. (2001). Neurophysiological signals of working memory in normal aging. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 11(3), 363-376.
- Mechling, H. (2008). Dementia and physical activity. *European Review of Aging and Physical Activity*, 5(1), 1-3.
- Mecklinger, A., & Pfeifer, E. (1996). Event-related potentials reveal topographical and temporal distinct neuronal activation patterns for spatial and object working memory. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 4(3), 211-224.
- Merriam, E. P., Genovese, C. R., & Colby, C. L. (2003). Spatial updating in human parietal cortex. *Neuron* 39, 361-373.
- Missonnier, P., Gold, G., Leonards, U., Costa-Fazio, L., Michel, J. P., Ibáñez, V., & Giannakopoulos, P. (2004). Aging and working memory: Early deficits in EEG activation of posterior cortical areas. *Journal of Neural Transmission*, 111(9), 1141-1154.
- Müller, N. G., & Knight, R. T. (2002). Age-related changes in fronto-parietal networks dur-



ing spatial memory: An ERP study. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 13(2), 221-234.

Myerson, J., Hale, S., Rhee, S. H., & Jenkins, L. (1999). Selective interference with verbal and spatial working memory in young and older adults. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 54(3), 161-164.

Pelosi, L., & Blumhardt, L. D. (1999). Effects of age on working memory: An event-related potential study. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 7(3), 321-334.

Polich, J. (2004). Clinical application of the P300 event-related brain potential. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 15(1), 133-161.

Polich, J., & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: An integrative review. *Biological Psychology*, 41(2), 103-146.

Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M., & Valentini, T. A. (2008). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(4), 927-934.

Pritchard, W. S., Shappell, S. A., & Brandt, M. E. (1991). Psychophysiology of N200/N400: A review and classification scheme. *Advances in Psychophysiology*, 4, 43-106.

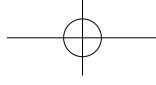
Raab, M., Masters, R. S. W., & Maxwell, J. P. (2005). Improving the 'how' and 'what' decisions of elite table tennis players. *Human Movement Science*, 24, 326-344.

Richardson, M. T., Ainsworth, B. E., Jacobs, D. R., & Leon, A. S. (2001). Validation of the Stanford 7-day recall to assess habitual physical activity. *Annals of Epidemiology*, 11(2), 145-153.

Ritter, W., Simson, R., Vaughan, H. G. Jr., & Macht, M. (1982). Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stages. *Science*, 218, 909-911.

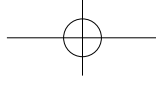
Rodrigues, S. T., Vickers, J. N., & Williams, A. M. (2002). Head, eye and arm coordination in table tennis. *Journal of Sports Sciences*, 20, 187-200.

Roubenoff, R. (2000). Sarcopenia and its implications for the elderly. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54(Suppl 3), S40-S47.



airiti

- Rowe, J. B., Toni, I., Josephs, O., Frackowiak, R. S., & Passingham, R. E. (2000). The prefrontal cortex: Response selection or maintenance within working memory? *Science*, 288, 1656- 1660.
- Ruchkin, D. S., Johnson, Jr., Grafman, J., Canoune, H., & Ritter, W. (1997). Multiple visuospatial working memory buffers: Evidence from spatiotemporal patterns of brain activity. *Neuropsychologia*, 35, 195-209.
- Sallis, J. F., Haskell, W. L., Wood, P. D., Fortmann, S. P., Rogers, T., Blair, S. N., & Paffenbarger, R. S. (1985). Physical activity assessment methodology in the five-city project. *American Journal of Epidemiology*, 121(1), 91-106.
- Sallis, J. F., Nadar, P. R., Broyles, C. C., Berry, J. P., Elder, J. P., & McKenzie, T. L. (1993). Correlates of physical activity at home in Mexican-American and Anglo-American pre-school children. *Health Psychology*, 12, 390-398.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
- Sarkin, J., Campbell, J., Gross, L., Roby, J., Bazzo, S., Sallis, J. F., & Calfas, K. J. (1997). Seven-Day Physical Activity Recall. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(S6), S89-103.
- Scherf, K. S., Sweeney, J. A., & Luna, B. (2006). Brain basis of developmental change in visuospatial working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(7), 1045-1058.
- Shay, K. A., & Roth, D. L. (1992). Association between aerobic fitness and visuospatial performance in healthy older adults. *Psychology and Aging*, 7(1), 15-24.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33(1), 5-42.
- Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M., & Reinhardt, R. (2009). Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19(2), 223-243.
- Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R., & Kiefer, M. (2009). Physical



fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114-124.

Suwazono, S., Machado, L., & Knight, R. T. (2000). Predictive value of novel stimuli modifies visual event-related potentials and behavior. *Clinical Neurophysiology*, 111, 29-39.

Themanson, J. R., & Hillman, C. H. (2006). Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, 141(2), 757-767.

Tsai, C. L. (2009). The effectiveness of exercise intervention on inhibitory control in children with developmental coordination disorder: Using a visuospatial attention paradigm as a model. *Research in Developmental Disabilities*, 30(6), 1268-1280.

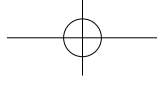
Tsai, C. L., Pan, C. Y., Cherng, R. J., Hsu, Y. W., & Chiu, H. H. (2009). Mechanisms of deficit of visuospatial attention shift in children with developmental coordination disorder: A neurophysiological measure of the endogenous Posner paradigm. *Brain & Cognition*, 71, 246-258.

Tsai, C. L., Pan, C. Y., Chang, Y. K., Wang, C. H., & Tseng, K. T. (2010). Deficits of visuospatial attention with reflexive orienting induced by eye-gazed cue in children with developmental coordination disorder on lower extremities: An event-related potential study. *Research in Developmental Disabilities*, 31(3), 642-655.

van Veen, V., & Carter, C. S. (2002). The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 539-602.

Wager, T., & Smith, E. E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: A meta-analysis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 3, 255-274.

Wickens, C., Kramer, A., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. *Science*, 221(4615), 1080-1082.



Visuospatial Working Memory In Highly Physically Active Female Elders: A Behavioral and ERP Study

CHUN-HAO WANG, CHIA-LIANG TSAI

Purpose: The behavioral and electrophysiological performance of highly physically active female elderly adults who regularly engage in table tennis was compared with their low physically active counterparts on a delayed and non-delayed visuospatial working memory task. **Methods:** We recruited 24 elderly female adults with normal cognitive function and a high/low physically active state based on a screening using the Mini-Mental State Examination and a 7-day physical activity recall questionnaire. Both groups participated in a delayed and non-delayed visuospatial working memory task while their behavior and event-related potentials (ERPs) indices were simultaneously recorded. **Results:** Faster response time and better response accuracy were evident for the high physically active group than the control one. In terms of ERPs data, the physically active group exhibited larger P3 amplitude and faster P3 latency at Pz in the encoding stage. In addition, in the response stage, smaller N2 and larger P3 amplitude were observed for the high physically active group, but no significant difference was found on the P3 latency and CNV amplitude. **Conclusions:** Better visuospatial working memory performance was observed for the high physically active group. The neural mechanisms might be that the high physically active group could encode more quickly and allocate more attention resources when encoding. In addition, the high physically active group could reduce the effort in task-related response conflict or monitoring, and increase efficiency when they executed a response. Our findings suggest that better performance on visuospatial working memory tasks can be observed in female elderly adults regularly engaging in table tennis via enhanced central nervous system function.

Key words: elderly, physical activity, visuospatial working memory, event-related potential

Chun-Hao Wang: Graduate Student of master program, Institute of Physical Education, Health & Leisure Studies of National Cheng Kung University.

Chia-Liang Tsai: Associate Professor, Institute of Physical Education, Health & Leisure Studies, National Cheng Kung University. (Corresponding Author, E-mail: andytsai@mail.ncku.edu.tw)