

學齡前兒童體適能與性別差異之 腦波相干性研究

林榮輝

國立宜蘭大學人文暨科學教育中心副教授

摘 要

本研究旨在探討不同性別、體適能水準與兒童腦波相干性的關係。參與者為48位男童及38位女童，年齡介於60至66個月之間。以棒上單足立、立定跳遠、10公尺來回曲折跑、坐姿體前彎、屈膝仰臥起坐、和20公尺跑等6個項目來測試每位兒童體適能；所得成績經z分數轉換，依總分將體適能分為高、中、低3組。腦波以閉眼休息狀態收集F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2等12個電極位置，每位參與者記錄4次，每次45秒。資料收集後，計算F3-Fz, F4-Fz, C3-Cz, C4-Cz, P3-Pz, P4-Pz, O1-Oz, O2-Oz等八區在delta, theta, alpha, alpha-1, alpha-2, beta-1, beta-2等七個頻率面（1-3 Hz、4-7 Hz、8-13Hz、8-10Hz、11-13Hz、14-20 Hz、21-30 Hz）的相干值。以二因子多變量變異數分析處理體適能、性別在腦波八個區域中七個頻率面的相干值差異。結果顯示在左側枕葉區的beta-1頻率，發現性別與體適能存在顯著的交互作用（ $\Lambda = .690, p = .028$ ）。男童體適能高組與中組之腦波相干值大於體適能

低組 ($p=.002$, $\eta^2=.48$; $p=.038$, $\eta^2=1.23$)；在體適能高組和中組的左側枕葉區相干值，男童是高於女童 ($p=.004$, $\eta^2=0.84$ ； $p=.003$, $\eta^2=0.54$)。此外，在左半球的頂葉與枕葉區的alpha-1頻率發現性別差異存在，男童之相干值均大於女童 ($p=.042$, $\eta^2=.65$ ； $p=.009$, $\eta^2=.53$)。本研究結論為5-6歲學前兒童在體適能表現與腦波相干性的關係，在beta-1頻率於負責視覺判斷的枕葉區，體適能較佳的男童在相干性上是高於體適能較差的男童，代表著體適能較優者在皮質間訊息的溝通較為活化，與視覺協調性應該有所關聯；而女童則無此型態。在性別差異上，男童相干性比女童高，特別是alpha-1頻率在左半球的頂葉與枕葉區，顯示在此年齡層男童的大腦發展較女童成熟。

關鍵詞：前額葉、活化、協調、大腦發展

Fitness and Gender Difference on EEG Coherence in Preschoolers

Jung-huei Lin

Associate Professor, Center for Humanities and Science Education,
National Ilan University

Abstract

The purpose of this study was to explore the relationship between physical fitness and gender difference on electroencephalograph (EEG) coherence in healthy children. Forty-eight boys and thirty-eight girls between 60 and 66 months old participated in this study. Each child's physical fitness status was tested using the Children's Physical Fitness Tests, including the elementary one-foot balance, the standing jump, the 10-meter shuttle run, the sit-and-reach, the sit-up and the 20-meter dash. In accordance with the scores of their physical fitness tests, all participants were classified into three fitness groups (higher, intermediate, and lower levels). EEG was recorded for three minutes in four trials from 12 sites during an eyes-closed resting condition (i.e., F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4, O1, Oz, O2). Coherence was calculated for eight electrode pairs (i.e., F3-Fz, F4-Fz, C3-Cz, C4-Cz, P3-Pz, P4-Pz, O1-Oz, O2-Oz) within each of the delta, theta, alpha-1, alpha-2, alpha, beta-1, and beta-2 bands. Two-way multivariate tests (physical fitness \times gender) were used to examine the effects of fitness performance and gender on EEG coherence for eight electrode pairs in seven bands. The results showed that there was an

interaction found between physical fitness and gender on beta-1 coherence in the left occipital area ($\Lambda=.690$, $p=.028$). Furthermore, boys with higher or intermediate physical fitness showed higher beta-1 coherence in the left occipital area than boys with lower physical fitness ($p=.002$, $\eta^2=.48$; $p=.038$, $\eta^2=1.23$). Within both higher and intermediate fitness groups, beta-1 coherence of the boys was higher than that of the girls in the left occipital area ($p = .004$, $\eta^2= 0.84$; $p=.003$, $\eta^2=0.54$). In addition, boys showed higher alpha-1 coherences in both left parietal and left occipital areas than girls ($p=.042$, $\eta^2=0.65$; $p=.009$, $\eta^2=0.53$). In conclusion, this study indicates that boys who have better physical fitness reveal higher beta-1 coherence in the occipital area due to more active cortico-cortical communication that relates to better visual coordination. As for gender difference, higher alpha-1 coherences in both left parietal and left occipital areas signify that left hemispheric development in boys is more mature than that in girls during the preschool age.

Keywords: frontal area, activation, coordination, brain development

壹、緒論

腦波在兒童發展上的研究已有相當多的文獻，1930年間有研究指出腦波的發展會隨著年齡的增加而改變，年齡的增加使低頻的腦波活動減少，高頻的腦波活動增加（Lindsley, 1939）。兒童在4歲以前腦波由delta及theta波的活動所主導，隨著年齡的增加，這兩個低頻波逐漸減少；同時整個兒童時期高頻的alpha及beta波的活動隨年齡而逐漸增加（Matousek & Petersen, 1973）。研究指出：4至7歲時theta波逐漸減少，alpha波逐漸增多；10至13歲時theta波開始從枕葉逐漸消失，最後，枕葉之alpha波逐漸穩定下來達到成人水準（Matsuura, Yamamoto, Fukuzawa, Okubo, & Shimazono, 1985）。更進一步地，若將alpha波分成 alpha-1（7.5-9HZ）、alpha-2（9.5-12.5Hz）來探討腦波各頻率面（frequency band）與年齡間的相關性，發現隨著年齡的增加，快波逐漸取代慢波的活動，而頻率較快的alpha-2也較能區分年齡的差異性（Matthis, Scheffner, Benninger, Lipinski, & Stolzis, 1980）。

有關正常腦波在性別差異的研究結果比較分歧，有研究發現兒童在腦波的發展上女童較男童早熟（Matousek & Petersen, 1973），但有些研究並未發現腦波在性別上的差異（Cohn, Kircher, Emmerson, & Dustman, 1985; Gasser, Verleger, Bacher, & Sroka, 1988a）。此外，有研究發現6歲兒童，女童比男童有較多相對theta波及較少的相對alpha波，11歲時女童在枕葉區相對的alpha-1多於男童，但在額葉的alpha波仍然少於男童（Matthis等, 1980）。因此大多數的研究顯示，女童在腦波的發展仍較男童遲緩；但這種現象到青少年時期則不再出現（Clarke, Barry, McCarthy, & Selikowitz, 2001）。

腦波相干性（coherence）代表大腦不同區域之溝通，高頻率相干性數值高代表大腦不同皮質區域彼此訊息相互溝通較多，數值低則代表大腦各區域皮質運作較為獨立自主。認知與行為是腦部不同區域的整合活動，因此檢測區域間之連結可瞭解正常腦部功能的發展

(Luria, 1973)。有研究者認為利用傳統頻率功率值無法顯示腦波各區域間腦部活動的連結 (Clarke等, 2001)，而相干性是代表兩電極點間的活動，可以某頻率帶上兩訊號間時間面上的相關為概念來提供訊息 (Shaw, 1981)。

相干性分析常應用在多頻腦波資料分析且已被視為一種處理不同大腦皮質區域所記錄到訊號間之線性關係的工具。就數學觀點而言，相干性類似一種頻率面的關連性係數，提供兩訊號彼此在特定頻率面同步化與相位的一致性。不同皮質區相位的一致性，代表不同區域皮質的生理結構 (Fein, Raz, Brown, & Merrin, 1988)、功能性 (Thatcher, Krause, & Hrybyk, 1986)、訊息交換 (Petsche, Lacroix, Lindner, Rappelsberger, & Schmidt-Henrich, 1992)、功能間協調 (Gevins等, 1989) 與時間面協調 (Gray & Singer, 1989) 的高相干性。今已發現兒童4-6歲在前額區及左前額-枕葉，及8-10歲在右半球前額-顳葉；11-14歲，15歲-成年都有相關部位相干性顯著增加的情形，反映出不同解剖系統的發展順序；但仍未有充分資料提供作為各年齡層的指標值 (Barry, Clarke, McCarthy, Selikowitz, Johnstone, & Rushby, 2004)。在性別的研究上，Barry等發現8-12歲間男童比女童在高頻的相干性較高，尤其是alpha波；Hanlon, Thatcher與Cline (1999) 也指出8-12歲間的女童在皮質與皮質間的連結較男童遲緩；磁振造影 (MRI) 也顯示這個年齡層的男童在中央區的白質體積比女童相對較多 (Bellis等, 2001)，所以認為女童較男童發展遲緩些。

相關文獻發現，兒童腦波常與輕微腦功能異常有關 (Esser, Schmidt, Allehoff, & Geisel, 1981; Satterfield, Sesser, Saul, & Cantwell, 1973)，這些研究發現腦功能異常者其低頻波增加 (delta、theta) 而高頻波減少 (alpha、beta)。相同的結果也發現在心智遲緩但並無腦神經麻痺 (cerebral palsy) 或癲癇 (epilepsy) 的病人 (Gibbs, Rich, Fois, & Gibbs, 1960)。John等 (1977) 透過心理測量與2分鐘腦波量測的

方法，預期以有效率的腦波分析法瞭解兒童的心生理狀況，在1,000位5-16歲包括健康、神經障礙及學習失調之兒童與青年為對象的研究中，發現失調的兒童其delta與theta活動顯著增加，而alpha活動則顯著減少（John, Karmel, Princhip, Ahn, & John, 1977）。Marosi等（1995）也檢測讀寫能力不同程度之兒童的腦波相干性，發現能力較差者其delta，theta的相干性較高，alpha波的相干性則較低；同批兒童經過2-3年後再測，發現除了theta波外，alpha波變化為最大。從上述相關研究結果看來，不管是以頻譜或相干性的腦波分析，delta、theta等低頻波功率的減少及alpha、beta等高頻波的增加，或低頻波為高頻波所取代；以及皮質與皮質間相干性的增加，都代表兒童成長過程中心生理的成熟指標，也是認知與學習發展的參考指標之一，尤其是高頻alpha波頗具代表性。

生理實驗證實，運動可增加大腦微血管密度，提高大腦血流量及氧氣吸收率；細胞與氧、營養物的結合，使腦部發揮高度效率，因此運動有助於腦部的發展（Black, Greenough, Anderson, & Isaacs, 1987; Herholz, Buskis, Rist, Pawlik, Hollmann, & Heiss, 1987）。在以白鼠為實驗對象的研究中，將籠中鼠分成三組：豐富環境刺激組、跑轉輪運動組與控制組，結果發現到運動組與環境刺激組相同，在腦部齒狀腦回區新生細胞的存活率提高，神經新生也增加，證實運動強化神經細胞的增殖（Van praag, Kempermann, & Gage, 1999b）。另一實驗也發現，運動不僅刺激白鼠海馬體的神經新生，也使其在水中迷宮的作業表現更佳；以電極測量鼠腦神經細胞之學習與記憶過程機制有關的長期增益作用（long-term potentiation, LTP），結果也發現常運動的白鼠其LTP的強度比不運動的對照組為高（Van Praag, Christie, Seinowski, & Gage, 1999a）。研究證實移動式活動（locomotor activity）與海馬體的theta波（5-8Hz）有高度相關（Oddie & Bland, 1998），長期身體活動讓海馬體增強神經突觸可塑性（synaptic plasticity），這是因為運動誘發

細胞活化引起神經化學的改變，強化神經突觸的聯繫（Valentinuzzi, Xcarbrough, Takahashi, & Turek, 1997）；運動也增加基因表現與神經營養因子（neurotrophins）的組織水準（Neeper, Goomez-Pinilla, Choi, & Cotman, 1995），尤其是提升纖維母細胞生長因子2（FG-F-2）使對神經先驅細胞（progenitor）的增殖與分化深具重要性（Gomez-Pinilla, Dao, & So, 1997）。另一項以跑轉輪為運動的老鼠實驗發現，實驗組腦部海馬體所產生的神經生長因子（NGF）及腦源神經營養因子（brain-derived neurophic factors, BDNF）遠超過沒運動的控制組（Neeper, Gomez-Pinilla, Choi, & Cotman, 1996）；海馬體內神經元主導BDNF的合成，BDNF調節神經興奮，促進神經突觸間的傳遞，並誘發與認知功能處理過程有密切關係的長期增益作用；最重要的是海馬體BDNF的表現是由運動所提昇（Bolton, Pittman, & Lo, 2000）。

石恆星（2003）探討運動拙劣兒童（motor clumsy child）在介入九週身體活動課程後，腦波的變化情形。結果發現慢波的delta功率與運動能力呈現負相關；而代表快波的alpha-2功率與運動能力相關雖未達顯著，但仍呈現正相關趨勢，顯示增加身體活動可使慢波產生變化。林榮輝（2004）以學前男女童的動作技能，探討動作技能表現與性別在腦波上的差異；結果發現男童的alpha-2與女童的alpha-1功率在不同動作技能表現上雖未能呈現直線相關卻能顯示其差異性，顯示身體動作與腦波的活動確實存在著關聯性。

綜合上述，基於正常腦波在性別差異的研究結果並不十分一致，而腦波相干性可以代表大腦不同區域間的溝通以及認知功能的發展，而運動可促成腦細胞與氧、營養物的結合，提高神經營養因子的組織水準，強化神經細胞的增殖，增加基因表現與提昇海馬體之學習與記憶機制的長期增益作用；因此，本研究以為身體活動水準或體適能狀態與性別及腦波相干性應該存在著某些關係；所以本研究目的將探討不同性別和體適能水準對兒童腦波相干性的影響。

貳、研究方法

一、參與者

本研究以86位年齡介於60至66個月之間幼稚園大班，慣用右手、視覺及辨色能力正常，無神經系統方面疾病之學前兒童（男童48位及女童38位）為對象。實驗參與者家長在實驗前參加研究計畫說明會，並瞭解腦波測量的方法與安全性並簽署人體試驗委員會核可之人體試驗研究參與者家長同意書。

二、研究工具

（一）腦波儀與紀錄

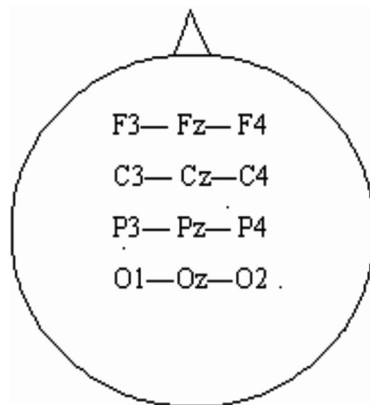
本研究採用多頻道腦波儀（硬體為美製NeuroScan Synamps軟體為Scan 4.3）記錄腦波。其他工具包括電極線、電極帽、酒精、磨砂膏、棉花、導電膠、生理食鹽水、針筒、平頭針、頭圍尺、皮尺、透氣膠帶、洗髮乳、吹風機等。腦波記錄時，電極位置採用國際10-20系統之標準放置，在其系統中，F代表額葉區（frontal）、C代表中央區（central）、P代表頂葉區（parietal）、T代表顳葉區（temporal）、O則代表枕葉區（occipital）。本研究電極位置為：F3、F4、T3、T4、P3、P4、Fz、Cz、Pz、O1、Oz、O2等12個電極點，並以雙耳耳後乳突為參照位置，以Fpz為接地電極（ground）；經由雙極眼電活動（bipolar electro-oculographic activity, EOG）檢測垂直、水平眼動之偽訊。每個電極電阻係數必須在5kΩ以下，濾波頻率設定在1至100Hz。

（二）幼兒體適能測驗

幼兒體適能因子分別是：肌耐力、敏捷性、爆發力、速度、協調性、平衡性與柔軟性等7項。本研究根據幼兒體適能表現因子分析（劉雅文，2002）中之檢測方法，檢測「棒上單足立」、「立定跳遠」、「10公尺來回曲折跑」、「坐姿體前彎」、「屈膝仰臥起坐」、「20公尺跑」等6個項目。

三、實驗步驟

- (一) 以受過訓練之人員進行幼兒體適能測驗，透過幼稚園老師的協助分批進行，所有6個項目皆能在2天內完成，兒童不會有體力無法負荷之狀況。
- (二) 腦波測試前的聯繫，通知參與者在測試前天不喝含有酒精或咖啡因的飲料或食品；施測當天，參與者抵達後，經實驗者說明實驗程序後，即進行電極放置工作。本研究配戴電極帽作為腦波電極，各電極之準備程序皆依照國際心生理學會之標準程序進行。電極配戴完成後，隨即檢驗腦波及眼電訊號之品質。在確認訊號無過多干擾後，開始讓參與者進行休息腦波資料記錄，每位受試者記錄4次45秒閉眼情境，每1分30秒休息30秒。腦波相干性電極配對圖如圖一：



圖一 相干性分析電極配對圖

四、資料處理及分析

體適能測驗所得成績先轉換成z分數，作為評估幼兒體能表現的指標。接著，將所有參與者的體適能成績以33.3%分為高、中、低三組。腦波資料經過去除眼動、動作偽訊或其他非腦電產生的訊號後，將處理後之資料，以配對計算在delta、theta、alpha、alpha-1、alpha-2、beta-1、beta-2等七個頻率面（1-3 Hz、4-7 Hz、8-13Hz、8-10Hz、11-13Hz、14-20 Hz、21-30 Hz），八個區域（F3-Fz, F4-Fz, C3-Cz, C4-Cz, P3-Pz, P4-Pz, O1-Oz, O2-Oz）的相干值，所有相干性數值以Scan 4.3軟體進行分析。每個頻率以八個區域的腦波相干值為依變項，體適能與性別為自變項，體適能因子分為高、中、低三個水準，性別因子有男女兩個水準。因此必須以七個 2×3 （性別 \times 體適能）二因子多變量變異數分析檢定在各個頻率面，性別和體適能對相干值的影響。若交互作用達顯著水準，則分別對各因子在不同水準下，另一因子的反應進行分析；若交互作用未達顯著水準，則對兩因子進行主效果分析。資料以SPSS12.0版之統計套裝程式處理，統計考驗之顯著水準設為 $\alpha=.05$ 。

參、結果與討論

一、結果

二因子多變量分析結果如表一所示，除 $\beta-1$ 相干值發現性別與體適能存在顯著的交互作用外（ $\Lambda=.690, p=.028$ ），其餘各頻率段並無發現交互作用；表一各個p值代表該頻率之八個區域腦波相干值在不同性別與體適能變項之交互作用的顯著性。表二為除了beta-1外，其餘各頻率八個區域相干值在性別與體適能變項主效果之單因子多變量變異數

分析結果，發現性別變項在alpha-1達顯著差異（ $\Lambda = .810, p = .037$ ）。進一步以ANOVA檢定各區域之差異情形，發現男童的相干值在P3-Pz與O1-Oz區皆大於女童（ $p = .042, \eta^2 = 0.65$; $p = .009, \eta^2 = 0.53$ ），如表三所示。顯示男童在左半球的頂葉與枕葉區，皮質與皮質間訊息的溝通比女童多。

表一 各頻率八個區域腦波相干值在性別與體適能二因子之多變量變異數分析摘要表

腦波頻率	效應項	Wilks' Λ 值	P值	腦波頻率	效應項	Wilks' Λ 值	P值
δ	性別	.859	.175	α	性別	.841	.107
	體適能	.914	.976		體適能	.840	.652
	性別×體適能	.838	.633		性別×體適能	.734	.098
θ	性別	.852	.145	$\beta-1$	性別	.781*	.016
	體適能	.858	.763		體適能	.759	.175
	性別×體適能	.709	.051		性別×體適能	.690*	.028
$\alpha-1$	性別	.782*	.017	$\beta-2$	性別	.845	.119
	體適能	.855	.743		體適能	.840	.648
	性別×體適能	.710	.052		性別×體適能	.753	.152
$\alpha-2$	性別	.872	.236				
	體適能	.832	.592				
	性別×體適能	.783	.284				

* $p < .05$

表二 腦波八個區域相干值在性別與體適能之主效果多變量變異數分析摘要表

腦波頻率	效應項	Wilks' Λ 值	P值	腦波頻率	效應項	Wilks' Λ 值	P值
δ	性別	.866	.188	$\alpha-2$	性別	.890	.336
	體適能	.923	.984		體適能	.816	.459
θ	性別	.854	.140	α	性別	.870	.208
	體適能	.856	.733		體適能	.832	.566
$\alpha-1$	性別	.810*	.037	$\beta-2$	性別	.856	.146
	體適能	.857	.740		體適能	.842	.636

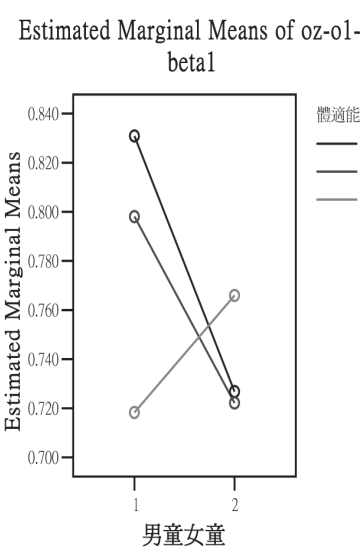
* $p < .05$

表三 腦波相干值在性別差異區域之ANOVA分析摘要表

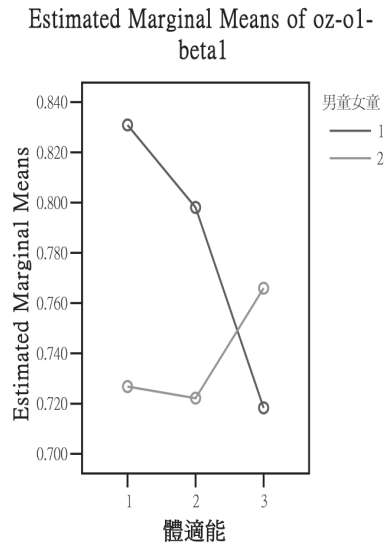
腦波頻率	區域	F 值	P值	事後比較	效果量 η^2
$\alpha-1$	P3-Pz	5.003*	.042	男>女	0.65
	O1-Oz	8.339*	.009	男>女	0.53

* $p < .05$

針對 $\beta-1$ 的交互作用（如圖二、圖三所示），分別對各因子在不同水準下，另一因子的反應進行分析，結果發現在左側枕葉區，以男童而言，體適能高組與中組之相干值大於體適能低組（ $p=.002, \eta^2=0.48$; $p=.038, \eta^2=1.23$ ）；以女童而言，體適能各組在相干值上並無顯著差異（ $F_{(2,35)}=1.44, p=.25$ ）。因此，體適能水準與左側枕葉區相干值的關係對不同性別學童來說，似乎是不同的型態。就體適能水準來說，在體適能高組和中組的左側枕葉區相干值，男童是高於女童（ $p=.004, \eta^2=0.84$; $p=.003, \eta^2=0.54$ ），但是在體適能低組，男童之間則無顯著差異（ $t_{(27,23)}=1.44, p=.162$ ）。



圖二 以性別為軸體適能在 $\beta-1$ 左側枕葉區的交互作用



圖三 以體適能為軸性別在 $\beta-1$ 左側枕葉區的交互作用

二、討 論

本研究以腦波相干性探討兒童在體適能、性別上的關係，驗證體適能表現水準能否成爲兒童腦部成熟的相關指標，作爲佐證運動促進兒童心智發展的相關依據。結果由beta-1頻率的交互作用發現，男童在左側枕葉區，體適能水準高組、中組其腦波相干值皆高於體適能低組，代表5-6歲男童在左側枕葉區皮質間訊息的溝通，體適能較優者較爲活化，但女童則無此型態。

根據本研究結果顯示，腦波相干性沒有因爲體適能表現的優劣顯現在運動輔助區與頂葉皮質區，而僅顯現於枕葉區；這可能與兒童身體協調能力的發展有關。根據動作機轉，一個運動計畫需由大腦皮質的聯合區發出，這些區域包括運動輔助區及頂葉皮質區，而皮質下的構造，包括基底神經節、小腦及腦幹，均與控制各種不同隨意運動的計畫、起始、進展及協調有關。此外，功能性神經造影顯示，運動技能的學習與前額頂葉（frontoparietal）的皮質有關，如技能學習的前期階段會使神經的活化現象從背側的前額皮質區轉移至前輔助運動區（pre-supplementary motor area），學習後期則使頂葉區活化（Sakai等, 1998）。因此，人類動作學習過程皮質的活化是動態的（Petersen, Van Mier, Fiez, & Raichle, 1998; Toni, Krams, Turner, & Passingham, 1998）。而本研究結果則發現男童體適能表現與枕葉區有關，可能原因在於本研究檢測的是體適能而非動作的表現，原假設爲增進體適能必須增加身體活動，造成腦部血流增加，增益全腦發展（Black等, 1987; Herholz等, 1987），但卻對技術性的表現較無實質效果，就是說本研究並無介入運動技能學習的情境，故無法凸顯區域腦波的變化情形（Aderson等, 2000），因此在運動輔助區與頂葉皮質區並無法顯現預期的差異性。

另外Gallahue（1987）認爲協調性是以不同的感覺形式（sensory modality）統合個別的運動系統形成有效率動作的能力，同步的和諧動作，節奏性的連接各個動作是形成協調動作的重要因子；在機轉上大

腦運用視覺的訊息監測及控制運動，以視覺聯合區處理訊息，使其結合成為中樞運動程式的一部份，如眼和手協調、眼和足協調等，因此兒童必需在他們能執行快速及正確的隨意運動之前，學習視覺訊息協調手部、足部的運動。由於體能活動可增進兒童身體協調能力，因此本研究結果顯示：屬於高頻率的beta-1在負責視覺判斷的枕葉區，呈現體適能較高者的相干值高於體適能低者的結果應屬合理。

其次，在性別差異上，本研究發現alpha-1頻率的相干性在性別變項中，男童高於女童，特別是在左半球的頂葉與枕葉區；及在beta-1頻率男童體適能高組和中組的左側枕葉區相干值也是高於女童。基於皮質與皮質間相干性增加代表兒童成長過程中生理上的成熟假說，本研究結果顯示腦波在5-6歲的男童較女童成熟。先前對於兒童腦部性別發展的研究結果雖然比較分歧，但有研究顯示：6歲女童比男童有較多相對theta波及較少的相對alpha波（Matthis等, 1980），即慢波較多快波較少；8—12歲間女童比男童在alpha波的相干性較低（Barry等, 2004）；8—12歲間的女童在皮質與皮質間的連結較男童遲緩（Hanlon等, 1999）等；及磁共振造影（MRI）也證實8—12歲的女童在中央區的白質體積比男童相對較少，即腦神經纖維或軸突較少，訊息傳遞較差（Bellis等, 2001）。

以上研究雖然採用各種不同研究方法，但都證實6-12歲女童較男童發展遲緩。這些證據可對本研究結果提供支持，雖然在年齡層上並不完全吻合（本研究受試者介於5—5.5歲），但相關研究也提到這種現象到青少年時期即會逐漸消失（Clarke等, 2001）。至於為什麼男女學童相干性之差異會發生在頂葉與枕葉區，若根據腦波在區域發展上的角度來解釋，當alpha波的活動增加時，theta波的活動減少，這種改變的速度在枕葉區幾乎是中央區的两倍（Benninger, Matthis, & Scheffner, 1984），以及根據delta, theta及alpha波發展的先後次序為枕葉區，頂葉區、中央區及額葉區，而beta波依序為中央區，枕葉區，額葉區的發展

模式 (Katada, Ozarki, Suzuki, & Suchara, 1981)，兒童大腦腦波枕葉、顳葉區，基本上較額葉區先行發展是頗為一致的共識 (Gasser, Verleger, Bacher, Sroka, & Jennen-Steinmetz, 1988b)。

肆、結 論

綜合上述，本研究結論為：5-6歲學前兒童在體適能表現與腦波相干性的關係，在beta-1頻率於負責視覺判斷的枕葉區，體適能較佳者的男童在相干性上是高於體適能較差者的男童，代表著體適能較優者在皮質間訊息的溝通較為活化；而女童則無此型態。在性別差異上，男童相干性比女童高，特別是alpha-1頻率在左半球的頂葉與枕葉區，顯示在此年齡層男童的大腦發展較女童成熟。基於腦功能側化假說，本研究所收集的是慣用右手的男女童閉眼休息狀態腦波，因此研究結果不一定適用於慣用左手的兒童。未來之研究可以不同年齡層的兒童，並介入長期身體活動，來探索身體活動對兒童腦部成熟發展的影響是否比受到年齡因素的影響更大，以確認身體活動對兒童腦部發展的實質益處。

參考文獻

一、中文部份

- 石恆星 (2003)。身體活動對學前兒童認知與情緒發展之腦波心生理學研究。未出版碩士論文，台北市立體育學院，台北市。
- 林榮輝 (2004)。學前兒童動作技能表現與性別差異在腦波功率之比較研究。未出版碩士論文，台北市立體育學院，台北市。

劉雅文 (2002)。幼兒體能因子分析。未出版碩士論文，台北市立體育學院，台北市。

二、英文部份

Anderson, B. J., Rapp, D. N., Baek, D. H., McCloskey, D. P., Coburn-Litvak, P. S., & Robinson, J. K. (2000). Exercise influences spatial learning in the radial arm maze. *Physiology & Behavior, 70*(5), 425-429.

Barry, R. J., Clarke, A. R., McCarthy, R., Selikowitz, M., Johnstone, S. J., & Rushby, J. A. (2004). Age and gender effects in EEG coherence: I. Developmental trends in normal children. *Clinical Neurophysiology, 115*, 2252-2258.

Benninger, C., Matthis, P., & Scheffner, D. (1984). EEG development of healthy boys and girls: Results of a longitudinal study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 57*, 1-12.

Black, J., Greenough, W., Anderson, B., & Isaacs, K. (1987). Environment and aging brain. *Canadian Journal Psychology, 41*, 111-130.

Bolton, M. M., Pittman A. J., & Lo, D. C. (2000). Brain-derived neurotrophic factor differentially regulates excitatory and inhibitory synaptic transmission in hippocampal cultures. *Journal of Neuroscience, 20*, 3221-3232.

Clarke, A., Barry, R., McCarthy, R., & Selikowitz, M. (2001). Age and sex effects in the EEG: Development of the normal child. *Clinical Neurophysiology, 112*, 806-814.

Cohn, N. Kircher, J. Emmerson, R., & Dustman, R. (1985). Pattern reversal evoked potentials: Age, sex and hemispheric asymmetry. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 62*, 399-405.

De Bellis, M. D., Keshavan, M. S., Beers, S. R., Hall, J., Frustaci, K., Masalehdan, A., Noll, J., & Boring, A. M. (2001). Sex differences in brain maturation during childhood and adolescence. *Cerebral Cortex, 11*, 552-557.

Esser, G., Schmidt M. H., Allehoff, W., & Geisel, B. (1981). Zerebrale

- Funktionsstörungen bei Achtjährigen: Mehrebenenfalldefinition in einer epidemiologischen Untersuchung, *Z. Kinder- Jugendpsychiatr*, 9, 399-411.
- Fein, G., Raz, J., Brown, F. F., & Merrin E. L. (1988). Common reference coherence data are confounded by power and phase effects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69, 581-584
- Gallahue, D. L. (1987). *Developmental physical education for today's elementary school children*. New York: Macmillan.
- Gasser, T., Verleger, R., Bacher, P., & Sroka, L. (1988a). Development of the EEG of school-age children and adolescents. I. Analysis of band power. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69, 91-99.
- Gasser, T., Verleger, R., Bacher, P., Sroka, L., & Jennen-Steinmetz (1988b). Development of the EEG of school-age children and adolescents. II. Topography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69, 100-109.
- Gevins, A. S., Cutillo, B. A., Bressler, S. L., Morgan, N. H., White, R. M., & Illes, J., et al. (1989). Event-related covariances during a bimanual visuomotor task II: Preparation and feedback. *Electroencephalographic Clinical Neurophysiology*, 74, 147-160.
- Gibbs, E. L., Rich, C. L., Fois, A., & Gibbs, F. A. (1960). Electroencephalographic study of mentally retarded persons. *American Journal Mental Deficiency*, 65, 236-247.
- Gomez-Pinilla, F., Dao, L., & So, V. (1997). Physical exercise induces FGF-2 and its mRNA in the hippocampus. *Brain Research*, 764, 1-8.
- Gray, C. M., & Singer, W. (1989). Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 86, 1698-1702.
- Hanlon, H., Thatcher, R., & Cline, M. (1999). Gender differences in the development of EEG coherence in normal children. *Developmental Neuropsychology*, 16,

479-506.

- Herholz, K., Buskis, K., Rist, M., Pawlik, G., Hollmann, W., & Heiss, W. (1987). Regional cerebral blood flow in man at rest and during exercise. *Journal of Applied Physiology*, *68*, 2358-2361.
- John, E. R., Karmel, B. Z., Princhip, L. S., Ahn, H., & John, M. (1977). Neurometrics applied to the quantitative electrophysiological measurement of organic brain dysfunction in children. In C. Shagass, S. Gershon, & A. L., Friedhoff (Eds.), *Psychopathology and brain dysfunction* (pp. 291-331). New York: Raven Press.
- Katada, A., Ozarki, H. Suzuki, H., & Suchara, K. (1981). Developmental characteristics of normal and mentally retarded children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *52*, 192-201.
- Lindsley, D. (1939). A longitudinal study of the occipital α rhythm in normal children: Frequency and amplitude standards. *Journal of Genet Psychology*, *55*, 197-213.
- Luria, A. (1973). *The working brain: Introduction to neuropsychology*. New York: Basic Books.
- Marosi, E., Harmony, T., Becker, J., Reyes, A., Bernal, J., Fernandez, T., Rodriguez, M., Silva, J., & Guerrero, V. (1995). Electroencephalographic coherences discriminate between children with different pedagogical evaluation. *International Journal of Psychophysiology*, *19*, 23-32.
- Marosi, E., Harmony, T., Reyes, A., Bernal, J., Fernandez, T., Guerrero, V., Rodriguez, M., Silva, J., Yanez, G., & Rodriguez, H. (1997). A follow-up study of EEG coherence in children with different pedagogical evaluations. *International Journal of Psychophysiology*, *25*, 227-235.
- Matousek, M., & Petersen, I. (1973). Automatic evaluation of EEG background activity by means of age-dependent EEG quotients. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *35*, 603-612.

- Matsuura, M., Yamamoto, K., Fukuzawa, H., Okubo, Y., & Shimazono, Y. (1985). Age development and sex differences of various EEG elements in healthy children and adults-quantification by a computerized wave from recognition method. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *60*, 394-406.
- Matthis, P., Scheffner, D., Benninger, C. Lipinski C., & Stolzis, L. (1980). Changes in the background activity of the electroencephalogram according to age. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *49*, 626-635.
- Neeper, S. A., Gomez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. (1995). Exercise and brain neurotrophins [letter]. *Nature*, *373*,109.
- Neeper, S. A., Gomez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. W. (1996). Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Research*, *726*, 49-56.
- Oddie, S. D. & Bland. B. H. (1998). Hippocampal formation θ activity and movement selection. *Neuroscience Biobehavioral Reviews*, *22*, 221-231.
- Petersen, S. E., Van Mier, H., Fiez, J. A., & Raichle, M. E. (1998). The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA*, *95*, 853-860.
- Petsche, H., Lacroix, D., Lindner, K., Rappelsberger, P., & Schmidt-Henrich, E. (1992). Thinking with images or thinking with language: A pilot EEG probability mapping study. *Psychophysiology*, *12*, 31-39.
- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Sasaki, Y., & Pütz, B. (1998). Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuo-motor sequence learning. *Journal of Neurophysiology*, *18*, 1827-1840.
- Satterfield, J. H., Sesser, L. I., Saul, R. E., & Cantwell, D. P. (1973). EEG aspects in the diagnosis and treatment of minimal brain dysfunction. *Annual of New York Academic Science*, *205*, 274-282.
- Shaw, J. C. (1996). Intention as a component of the alpha rhythm response to mental activity. *International Journal of Psychophysiology*, *24*, 7-23.

- Thatcher, R. W., Krause, P. J., & Hrybyk, M. (1986). Cortico-cortico associations and EEG coherence: A two compartmental model. *Electroencephalographic Clinical Neurophysiology*, 64, 58-75.
- Toni, I., Krams, M., Turner, R., & Passingham, R. E. (1998). The time course of changes during motor sequence learning: A whole-brain fMRI study. *Neuroimage*, 8, 50-61.
- Valentinuzzi, V. S., Scarbrough, K., Takahashi, J. S., & Turek, F. W. (1997). Effects of aging on the circadian rhythm of wheel-running activity in C57BL/6 mice. *American Journal of Physiology*, 273, 1957-1964.
- Van Praag, H., Christie, B. R., Sejnowski, T. J., & Gage, F. H. (1999a). Running enhances neurogenesis, learning and long-term potentiation in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 13427-13431.
- Van Praag, H., Kempermann, G., & Gage, F. H. (1999b). Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus. *Natural Neuroscience*, 2, 266-270.

