

# 2011年台灣地區幼稚園兒童血中鉛濃度與 影響因素初探分析

林宜萱<sup>1</sup> 林佳玉<sup>1</sup> 王怡人<sup>3,4</sup> 黃耀輝<sup>1,2,\*</sup>

**目標：**兒童的生長發育與智能發展可能會受到低鉛暴露的影響。本研究目的在於了解國內幼稚園兒童血中鉛濃度範圍與影響因素，提出鉛暴露防治建議。**方法：**以區、市、鎮、鄉各級行政區域分層隨機取樣，自2011年4月至10月間依序邀請被隨機選取之行政區域內幼稚園參與本計畫，經園方協助徵求家長同意後，共計934名兒童參加。血液樣本以感應耦合電漿質譜儀進行分析。**結果：**幼稚園兒童血中鉛濃度幾何平均值為1.86  $\mu\text{g/dL}$ (幾何標準差1.55)，血中鉛濃度超過4  $\mu\text{g/dL}$ 的比例為3.7%。地區別以離島之血中鉛濃度最高(2.59  $\mu\text{g/dL}$ )，北部最低(1.53  $\mu\text{g/dL}$ )；縣市別以金門縣(2.80  $\mu\text{g/dL}$ )、彰化縣(2.53  $\mu\text{g/dL}$ )等最高，桃園縣(1.28  $\mu\text{g/dL}$ )、新竹市(1.32  $\mu\text{g/dL}$ )等最低；家庭收入、父母親教育程度等指標與幼稚園兒童血中鉛濃度呈負相關( $p<0.0001$ )；父親職業為農林漁牧業之幼稚園兒童其血中鉛濃度較高( $> 2.20 \mu\text{g/dL}$ )。**結論：**雖然國內幼稚園兒童血中鉛濃度分佈多數已降低至1~3 $\mu\text{g/dL}$ 左右，但鑑於兒童血中鉛濃度在10  $\mu\text{g/dL}$ 以下仍有可能遭受到腦部或神經傷害，國際間也倡議兒童血中鉛值參考閾值宜進一步降低，因此建議國內兒童血中鉛監測警戒值設定為4  $\mu\text{g/dL}$ ，針對高危險群加強環境鉛暴露防護。並從改善健康不平等特性來進一步達到防制環境鉛暴露的目的。(台灣衛誌 2012；31(3)：285-298)

**關鍵詞：**幼稚園兒童、血液、鉛

## 前 言

鉛是存在於地殼中的微量金屬元素，但在環境中的暴露隨處可見，大部分是因人為活動而產生，例如燃燒石化燃料、採礦、工業製程等，環境中的鉛濃度因而在過去的三個世紀提高了一千倍[1]。最大增幅發生在

1950至2000年間，正好反映了全球廣泛使用有鉛汽油的時期。

鉛暴露途徑可能包括食入受鉛污染之食物或水，或是吸入受鉛污染的土壤粉塵。吸入性鉛暴露是主要的職業暴露途徑，一般大眾的鉛暴露主要途徑則為食入。對兒童而言，含鉛的玩具、裝飾品，或是有受到鉛污染的灰塵，都可能是鉛的暴露來源，所以兒童鉛暴露途徑以食入為主[2]。

鉛毒性危害影響主要是神經系統，包括手指、手腕、關節無力等神經功能的障礙，也可能造成高血壓或腦和腎臟的疾病。若是孕婦暴露到高濃度的鉛，也可能會造成流產[3]。至於兒童，由於其生理機制和行為特性，使其受鉛暴露的機會更大，且他們對鉛的易感受性也比成人高[2]。在懷孕母

<sup>1</sup> 國立台灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所

<sup>2</sup> 國立台灣大學公共衛生學院公共衛生學系

<sup>3</sup> 行政院衛生署台北醫院小兒科

<sup>4</sup> 中國醫藥大學公共衛生學院

\* 通訊作者：黃耀輝

聯絡地址：台北市中正區徐州路17號

E-mail: yhhwang@ntu.edu.tw

投稿日期：101年1月3日

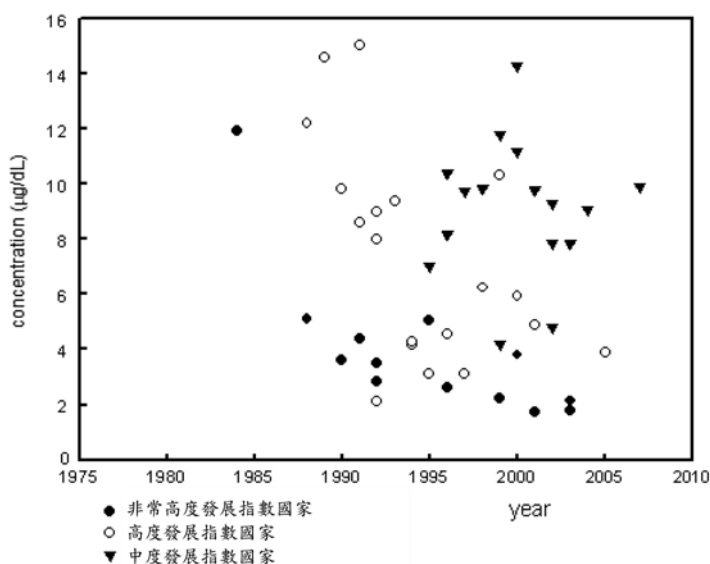
接受日期：101年5月25日

親體內的胎兒就會受到鉛的暴露，嬰兒時期可能會藉由哺乳、餵食或喝水等方式讓鉛進到體內。漸漸長大的兒童可能在玩耍時暴露到來自地板或土地上的鉛粉塵，這些活動使得兒童比成人更易受到鉛暴露。在嬰兒時期或兒童時期暴露到鉛可能導致氣喘、神經系統受損、腎臟病變、維生素D代謝失調[3]。另外，不管是在子宮時期或嬰兒時期受到鉛暴露都會導致神經發展遲緩、神經行為的缺失，包括智商降低、出生體重減輕、孕期縮短、生長遲緩、女童發育遲緩等現象[1]。

雖然世界衛生組織(WHO)與美國疾病管制局(US CDC)均建議兒童血中鉛濃度參考限值為 $10\text{ }\mu\text{g/dL}$ [2,4]，但近年來陸續有相關研究指出當兒童的血中鉛濃度小於 $10\text{ }\mu\text{g/dL}$ 的情況下，對於智力發展仍可能有負面的影響[5-7]。其他與生命早年兒童期鉛暴露有關的健康影響指標還包括注意力不足過動症(ADHD)、罹患疾病、攻擊性與違法犯罪(aggression and delinquency)、牙齒健康損傷，以及性成熟延遲等[8]。目前為止也尚未有證據顯示鉛所引起的不良健康效應是否

有安全閾值，亟需進一步瞭解低濃度鉛暴露可能帶來的影響[9-11]。

學齡前兒童血中鉛的研究方面，從國外的研究文獻整理可看出各國學齡前兒童血中鉛濃度逐年降低的變化趨勢，與各國的經濟發展、教育水準及國民健康水準有很大的關係[12-16]。以聯合國開發計畫署(UNDP)的各國「人類發展指數(HDI, Human Development Index)」分組來看[17]，圖一顯示近二十年來非常高度人類發展指數國家之學齡前兒童的血中鉛濃度自 $4\sim 6\text{ }\mu\text{g/dL}$ 逐年下降至近年的 $1.5\sim 2.5\text{ }\mu\text{g/dL}$ 左右，如美國、加拿大、德國、芬蘭、瑞典、澳大利亞等國[16,18-23]。而高度人類發展指數國家的學齡前兒童血中鉛濃度也自 $8\sim 12\text{ }\mu\text{g/dL}$ 下降到 $2\sim 6\text{ }\mu\text{g/dL}$ 左右的範圍，但降幅較不明顯，如波蘭、秘魯、厄瓜多、墨西哥、阿爾巴尼亞等國[14,21,24-28]。而中度人類發展指數國家的學齡前兒童血中鉛濃度隨時間變化趨勢較緩，且變化的趨勢並不明顯，血中鉛值仍普遍偏高在 $4\sim 10\text{ }\mu\text{g/dL}$ ，如印度、中國大陸、南非、泰國、巴基斯坦、奈及利亞等國



圖一 各等級人類發展指數國家學齡前兒童血鉛濃度分布圖

[12,13,16,29-37]。

在國內的血中鉛研究較少見學齡前兒童的調查，先前的一些臍帶血中鉛研究顯示，台灣地區汽油中鉛含量，自1990年到2000年間由使用有鉛汽油過渡到使用無鉛汽油後，臍帶血中鉛濃度平均值已自1987年測得的7.48  $\mu\text{g/dL}$ ，下降至1992年的3.28  $\mu\text{g/dL}$ 、2005年的1.40  $\mu\text{g/dL}$  [38,39]。一項1995年在台北地區的研究則顯示年齡層5-7歲的幼童血中鉛平均值為4.39-4.72  $\mu\text{g/dL}$  [40]。另外，也有一些以學童為主的血中鉛研究，例如1994年在澎湖縣的研究結果顯示，學童平均血中鉛濃度為 $6.0 \pm 2.4$   $\mu\text{g/dL}$  [7]，1998-1999年在高雄市的研究結果則指出，學童血中鉛濃度平均為 $5.5 \pm 1.9$   $\mu\text{g/dL}$  [6]。

由國內外的相關調查研究結果顯示，過去三十年因為禁用有鉛汽油、含鉛油漆、焊料等相關製品，已使得環境中的鉛暴露逐漸減少，血中鉛濃度也隨之降低[39]。目前對鉛暴露危害的關注已轉為長時間低濃度暴露所帶來的健康效應。有鑑於我國尚缺乏具代表性之學齡前兒童族群的血中鉛分布資料，以及對低背景值下鉛暴露影響因素的瞭解，本研究欲以具代表性之樣本群體的血中鉛濃度分析來瞭解目前台灣兒童鉛暴露之情形，作為預防長期低濃度鉛暴露危害的基礎。

## 材料與方法

本研究之研究個案招募以國內區、市、鎮、鄉各級行政地區為基礎，進行分層隨機集束選取具代表性之各級行政區域內幼稚園中、大班學齡前兒童參與本研究。先以區(直轄市、省轄市)、市(縣轄市)、鎮、鄉為基本抽樣單位(primary sampling unit)，將台灣地區368個基本行政區域分成區、市、鎮、鄉四級，各級行政區域再以隨機取樣方式選取參與本研究之行政區域。被採樣之各行政區內再依教育部登錄有案的幼稚園名單依序詢問有合作意願的幼稚園，納入本研究計畫。各合作之幼稚園代為詢問研究個案及其家長的意願，同意參加者須經家長簽署同意書後才納入成為本研究的研究個案。

研究個案資料蒐集方面，係以結構式問卷來蒐集研究個案個人與家庭背景資料、鉛暴露來源，以及進行研究個案注意力評估等。主要內容包括以下面向：(1)家庭及社會經濟因素，如籍貫、家庭成員、父母教育程度、家庭收入與父母工作等；(2)新生兒出生資料，如早產、出生體重、出生併發症、出生重大疾病、分娩方式，以及過動兒、自閉症或發育遲緩診斷等；(3)居住環境，如居家附近工廠、距離馬路幹道遠近、家中使用化學藥劑或養寵物、家中燒香拜拜(包括定期或不定期燒香拜拜)等；(4)兒童衛生習慣，如以手就口、地上玩耍、爬行等。

血液檢體採集工作由合格之小兒科醫師或護士至各幼稚園進行血液採樣，主要以採血針及含抗凝劑Heparin之5 ml真空採血管採集手臂靜脈血，每名研究個案約採集3-5 ml血液樣本。已採集之血液樣本置於冷藏桶中帶回實驗室，並集中貯存於4°C冰箱中保存。

進行血中鉛濃度分析前，先將置於冰箱中之血液樣本取出，在室溫下輕輕轉動讓血液樣本回溫至常溫狀態下。每支血液樣本分析時，取0.5 ml血液樣本加上4.5 ml的基質修釋劑(去離子水中含ammonia 1.25 g/L、Triton X-100 0.5 g/L和EDTA 0.5 g/L)，經充分均勻混合後，利用針頭過濾器將均勻稀釋混合過的血液樣本溶液以濾片過濾。之後再將過濾液以分析小管盛裝，利用感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS, Agilent 7500c)來量測樣本中鉛濃度。血中鉛濃度分析的品管步驟包括建立俱血液基質效應控制的血鉛標準濃度檢量線，以查核溶液(spike)進行檢量線穩定性查核，以空白樣本分析來檢驗排除樣品配製過程可能導入的污染情形。另外，血中鉛濃度分析的準確度係藉市售之標準參考物質(Seronorm™ Trace Elements Whole Blood L-1, SERO, Norway)，以及持續參加美國疾病管制局(US CDC)所提供的能力比試(Performance Test)，同步進行樣本分析準確度(Accuracy)確認。其中美國疾病管制局(US CDC)比試樣本之最低血鉛濃度達1  $\mu\text{g/dL}$ 。



另外，本研究之血中鉛濃度分析之方法偵測極限為0.10 µg/dL。

統計資料分析工作包括：(1)描述性資料分析，如血中鉛濃度分布曲線與累積分布曲線，地區、籍貫、父母親教育程度、家庭收入與父母親工作等觀察變項下研究個案的人數分布情形，以及相對應的血中鉛濃度分布情形；(2)分析性資料分析，如相關矩陣分析(Correlation Matrix Analysis)，將基本人口學資料、社會經濟地位、嬰幼兒健康照護情形及居住環境可能的鉛暴露因素，與研究個案的血中鉛濃度作相關性分析；以t-test或ANOVA配合Scheffe事後檢定方法比較行政等級、籍貫、社會經濟地位或環境潛在鉛暴露等級間幼稚園兒童血中鉛濃度之差異情形；以線性回歸分析比較幼稚園兒童血中鉛濃度與人口學特性、社經狀況、住家居住環境鉛暴露因子等因素之間的關係。

## 結 果

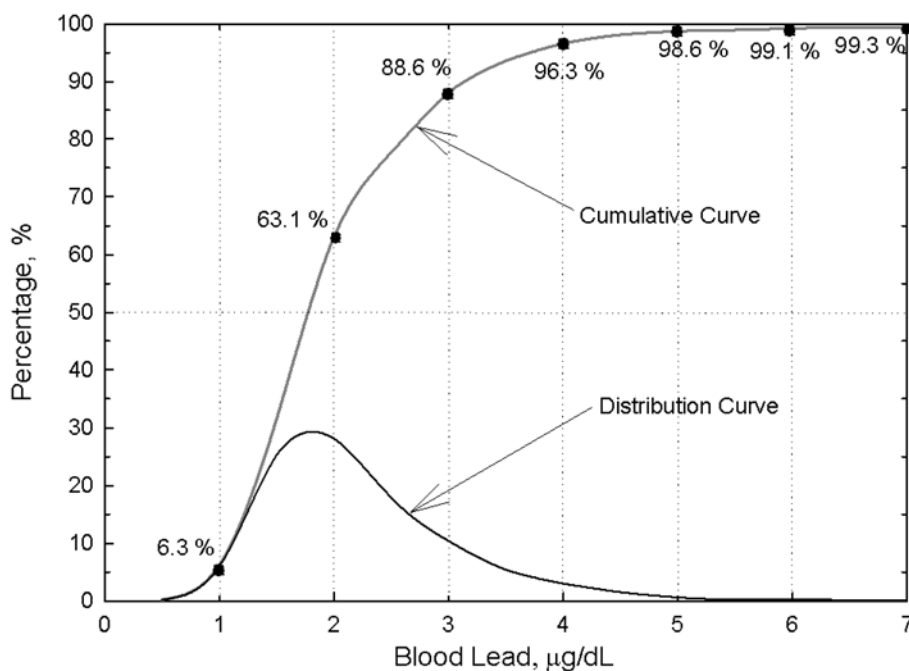
本研究共訪視了44個區、市、鎮、鄉行政區域，依序聯絡了106家幼稚園，其中85所幼稚園同意參與本計畫。扣除因天候因素、時間未能配合等因素致未能完成訪視的幼稚園，總共有80家幼稚園配合參與本次研究計畫。1,161位同意參與本計畫的幼稚園兒童中，扣除改變心意不再參加、抽血當日缺勤，或是臨陣心生畏懼不願意抽血的個案，總共有934位幼稚園兒童參與本研究。

北部參與之幼稚園數17所(21.3%)，研究個案樣本數318人(34.0%)，中部18所(22.5%)、155人(16.6%)，南部25所(31.3%)、254人(27.2%)，東部11所(13.8%)、152人(16.3%)，離島9所(11.3%)、55人(5.9%)。依區、市、鎮、鄉別來看，分別有286人、299人、168人、181人參與本研究。研究個案平均年齡為5.74 (±0.77)歲、平均體重21.1 (±4.58)公斤、平均身高113.6 (±7.96)公分，男生(50.2%)較女生人數稍多。

研究個案之血中鉛幾何平均濃度為1.86 µg/dL(幾何標準差1.55)。最小值0.42 µg/dL、第5百分位數0.93 µg/dL、第25百分位為

1.40 µg/dL、中位數1.84 µg/dL、第75百分位為2.43 µg/dL、第95百分位為3.81 µg/dL、最大值15.5 µg/dL。有兩位研究個案之血中鉛濃度值超過世界衛生組織(WHO)所建議之10 µg/dL安全值標準，其共同特性包括低家庭收入、父親從事營造業、曾服用中藥、家中有燒香拜拜習慣等。圖二之幼稚園兒童血中鉛濃度分佈曲線顯示，研究個案之血中鉛濃度分布多數集中在低濃度範圍，整體分佈呈現向右尾高濃度方向延伸(skewed to right)。

表一結果顯示男女生血中鉛幾何平均濃度分別為1.82µg/dL、1.90 µg/dL，五、六、七歲之年齡別血中鉛幾何平均濃度分別為1.86 µg/dL、1.87 µg/dL、1.87 µg/dL，皆無統計上顯著差異。研究個案父親為原住民之血中鉛幾何平均濃度(2.36 µg/dL)顯著高於父親為外省(1.65 µg/dL)、客家(1.65 µg/dL)和閩南(1.86 µg/dL)族裔背景之研究個案；相同分佈趨勢亦見於研究個案母親族裔背景，研究個案母親為原住民之血中鉛幾何平均濃度亦為2.36 µg/dL，且研究個案母親為大陸或外籍配偶，其血中鉛幾何平均濃度明顯較高(2.23 µg/dL)。父親學歷為識字/小學(2.29 µg/dL)、國中(2.12 µg/dL)者，其孩童血中鉛幾何平均濃度相對較高；血中鉛濃度較低者為大學(1.62 µg/dL)、研究所以上(1.51 µg/dL)學歷者。母親學歷別之孩童血中鉛幾何平均濃度也以識字/小學(2.29 µg/dL)、國中(2.12 µg/dL)者較高；學歷為大學(1.65 µg/dL)、研究所以上(1.52 µg/dL)者相對較低。父親職業為林漁牧業(2.34 µg/dL)、其他服務業(如保全、汽車美容保養、汽車修護)(2.32 µg/dL)、農業(2.20 µg/dL)、運輸通信業(2.03 µg/dL)、製造業/營造業(2.01 µg/dL)之研究個案平均血中鉛濃度顯著高於父親職業為專門服務業者之平均血中鉛濃度(1.55µg/dL)。母親職業別的孩童血中鉛幾何平均濃度較高者為農業(2.25 µg/dL)、林漁牧業(2.03 µg/dL)、其他服務業(2.27 µg/dL)，較低者為專門服務業(1.70 µg/dL)、商業(1.72 µg/dL)等。研究個案家庭平均月收入為1~3萬元之研究個案血中鉛幾何平均濃度2.12 µg/dL，顯著高於家庭平均月收入為5~8萬元(1.75 µg/dL)或



圖二 幼稚園兒童血中鉛濃度分布曲線與累積分布曲線

表一 研究個案人口學資料、環境暴露因子與血中鉛濃度分布(µg/dL)

變項	樣本數	幾何平均值 (幾何標準差)	p-value
全部	930	1.86 (1.55)	
性別			0.189
女	462	1.82 (1.54)	
男	468	1.90 (1.57)	
年齡			0.527
4-5歲	108	1.86 (1.59)	
5-6歲	396	1.87 (1.53)	
6-7歲	396	1.87 (1.55)	
父親籍貫			<0.0001
閩南	742	1.86 (1.55)	
客家	63	1.65 (1.63)	
外省	60	1.65 (1.45)	
原住民	53	2.36 (1.49)	
大陸及外國籍	12	1.60 (1.51)	
父親學歷			<0.0001
識字/小學	17	2.29 (1.46)	
國中	109	2.12 (1.52)	
高中職	323	1.97 (1.57)	
專科	188	1.79 (1.52)	
大學	147	1.62 (1.51)	
研究所/以上	94	1.51 (1.51)	

表一 研究個案人口學資料、環境暴露因子與血中鉛濃度分布( $\mu\text{g/dL}$ ) (續)

變項	樣本數	幾何平均值 (幾何標準差)	p-value
父親職業			<0.0001
農業	55	2.20 (1.51)	
林漁牧業	25	2.34 (1.51)	
製造業/營造業	245	2.01 (1.55)	
商業	107	1.73 (1.51)	
運輸通信業	52	2.03 (1.63)	
金融保險房仲業	22	1.63 (1.68)	
公共行政業	118	1.88 (1.51)	
個人服務業	87	1.68 (1.46)	
專門服務業	165	1.55 (1.52)	
家管	3	1.92 (1.45)	
文化/自由業	10	2.03 (1.52)	
其他服務業	19	2.32 (1.55)	
其他	22	2.20 (1.67)	
家庭平均月收入			<0.0001
1萬元以下	34	2.01 (1.68)	
1~3萬元	170	2.12 (1.62)	
3~5萬元	235	1.92 (1.51)	
5~8萬元	218	1.75 (1.52)	
8~12萬元	163	1.62 (1.54)	
12~20萬元	41	1.57 (1.36)	
20萬元以上	8	1.65 (1.42)	
母懷孕時服用中藥			0.278
否	657	1.86 (1.57)	
是	217	1.79 (1.52)	
小朋友服用中藥			0.894
否	506	1.82 (1.55)	
是	372	1.86 (1.55)	
燒香拜拜習慣			0.0001
沒有	295	1.70 (1.52)	
有	562	1.92 (1.55)	
距大馬路			0.800
0.5公里內	552	1.79 (1.54)	
0.5-1公里	155	1.84 (1.58)	
1-2公里	45	1.82 (1.54)	
2-3公里	22	1.93 (1.51)	
3公里以上	17	1.95 (1.67)	
焚化爐			0.980
否	642	1.84 (1.57)	
是	95	1.84 (1.51)	
農藥製造工廠			0.849
否	708	1.84 (1.55)	
是	6	1.92 (2.94)	
鋼鐵銅礦產工廠			0.183
否	666	1.84 (1.55)	
是	61	1.99 (1.72)	

8~12萬元(1.62 $\mu\text{g/dL}$ )以上者之血中鉛幾何平均濃度。家中有燒香拜拜習慣者之血中鉛幾何平均濃度(1.92  $\mu\text{g/dL}$ )顯著高於沒有燒香拜拜習慣者(1.70  $\mu\text{g/dL}$ )。

就地理區域而言，表二結果顯示離島研究個案之血中鉛幾何平均濃度2.59  $\mu\text{g/dL}$ 顯著高於北部之1.53  $\mu\text{g/dL}$ 、南部之1.92  $\mu\text{g/dL}$

與東部之1.95  $\mu\text{g/dL}$ 。鎮(2.18  $\mu\text{g/dL}$ )、鄉(2.17  $\mu\text{g/dL}$ )級行政區域的研究個案血中鉛濃度平均值普遍較區(1.57  $\mu\text{g/dL}$ )、市(1.82  $\mu\text{g/dL}$ )級行政區域要高。以各縣市別來看，金門縣(2.80  $\mu\text{g/dL}$ )、彰化縣(2.53  $\mu\text{g/dL}$ )、連江縣(2.51  $\mu\text{g/dL}$ )、台東縣(2.48  $\mu\text{g/dL}$ )和澎湖縣(2.46  $\mu\text{g/dL}$ )等縣之研究個案血中鉛幾

表二 地區別與行政區域別研究個案血中鉛濃度分布( $\mu\text{g/dL}$ )

變項	樣本數	幾何平均值 (幾何標準差)	p-value
地區別			<0.0001
北部	318	1.53 (1.45)	
中部	155	2.20 (1.51)	
南部	253	1.92 (1.63)	
東部	150	1.95 (1.46)	
離島	54	2.59 (1.45)	
區市鎮鄉別			<0.0001
區	286	1.57 (1.48)	
市	297	1.82 (1.51)	
鎮	166	2.18 (1.57)	
鄉	181	2.17 (1.60)	
縣市別			<0.0001
台北市	102	1.49 (1.36)	
(原)台北縣	109	1.83 (1.40)	
桃園縣	30	1.28 (1.54)	
新竹市	77	1.32 (1.45)	
苗栗縣	16	2.03 (1.27)	
(原)台中市	30	1.78 (1.62)	
(原)台中縣	24	2.29 (1.39)	
彰化縣	12	2.53 (1.26)	
南投縣	48	2.46 (1.60)	
雲林縣	25	2.20 (1.43)	
嘉義縣	76	1.80 (1.86)	
(原)台南市	52	1.77 (1.57)	
(原)台南縣	5	2.10 (1.45)	
(原)高雄市	57	1.84 (1.42)	
(原)高雄縣	28	2.23 (1.39)	
屏東縣	35	2.39 (1.46)	
宜蘭市	62	1.79 (1.45)	
花蓮縣	37	1.67 (1.34)	
台東縣	51	2.48 (1.40)	
金門縣	21	2.80 (1.34)	
連江縣	14	2.51 (1.57)	
澎湖縣	19	2.46 (1.49)	

何平均濃度顯著高於桃園縣(1.28  $\mu\text{g/dL}$ )、新竹市(1.32  $\mu\text{g/dL}$ )、台北市(1.49  $\mu\text{g/dL}$ )、和花蓮縣(1.67  $\mu\text{g/dL}$ )。

統計相關分析(correlation analysis)顯示，血中鉛濃度與研究個案家中其他兄弟姐妹數呈現弱相關( $r=0.10$ ,  $p=0.0017$ )，與家庭平均月收入( $r=-0.21$ )、父親教育程度( $r=-0.26$ )和母親教育程度( $r=-0.22$ )則呈負相關( $p$ 皆 $<0.0001$ )。

若將可能影響血中鉛濃度之人口學資料、環境暴露等相關因素同時納入複迴歸模式進行分析，則血中鉛濃度與家庭平均月收入、父親職業別，以及家中是否有燒香拜拜習慣等因素有關(表三)。另外，區市鎮鄉別和地區別間血中鉛濃度分布情形顯示，北部區域鄉和市等級之行政區域的血中鉛濃度顯著高於區和鎮等級研究個案血中鉛濃度；中部區域則是鄉和鎮等級高於區等級；東部區域為鄉和鎮等級高於市等級(圖三)。

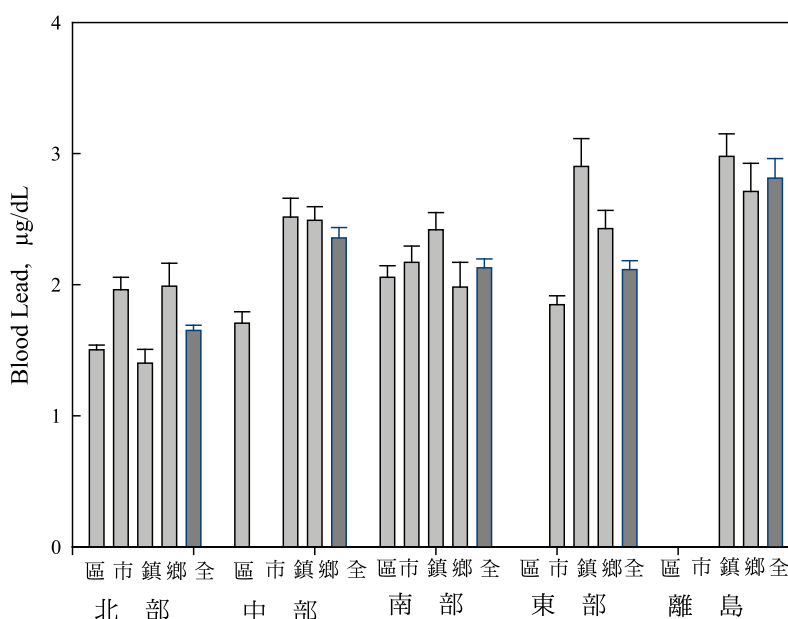
表三 血中鉛濃度( $\mu\text{g/dL}$ )與相關變項之複迴歸分析結果

變項	係數( $\beta$ )	標準誤(SE)	p-value
截距	0.601	0.096	$<0.0001$
家庭平均月收入 <sup>1</sup>	-0.061	0.015	$<0.0001$
父親職業(參考組為專門服務業) <sup>2</sup>			
林漁牧業	0.273	0.119	0.022
製造業/營造業	0.141	0.047	0.003
政府服務業	0.139	0.058	0.017
其他	0.096	0.051	0.059
家中燒香拜拜(否=0，是=1)	0.093	0.037	0.013

註：Model  $R^2=0.074$

<sup>1</sup>家庭平均月收入序位(1) 1萬元以下、(2) 1~3萬元、(3) 3~5萬元、(4) 5~8萬元、(5) 8~12萬元、(6) 12~20萬元、(7) 20萬元以上等七個等級視為連續變項納入迴歸統計分析。

<sup>2</sup>設定虛擬變項(dummy variable)進行迴歸統計分析，參考組為專門服務業，包括教育、醫療、新聞傳播、資訊科技等。



圖三 區域別與區市鎮鄉別研究個案血中鉛濃度分布



## 討 論

根據內政部統計通報[41]及教育部全國幼教資訊網[42]所彙整的資料顯示，98學年度與99學年度五歲幼兒入學幼稚園率分別為94.2 %與93.0%之間，比例相當高。因此，本研究以幼稚園學齡前兒童為主要研究對象，進行分層隨機集束取樣所獲得的研究個案樣本，雖不能絕對代表國內全部五至七歲學齡前兒童母全體，也具有相當代表性。只是理論上本研究之樣本代表性仍略有不足，此為本文的研究限制之一。另外，根據至各幼稚園抽血採樣時的觀察，各班級幼童家長同意其孩子參加本計畫抽血採樣的比例約略為四成到九成不等。同意參與本計畫和不同意參與本計畫的孩童在性別與年齡分布上並無明顯差異。然而由於本計畫只能從幼稚園得到同意參與者的基本資料，並未能獲得不同意參與本計畫之孩童的基本資料，因此本計畫並無法確認參與本計畫和未參與本計畫的孩童在其他人口學特性上是否有差異，會不會影響到血中鉛濃度的分布，此為本研究計畫的研究限制之二。

先前文獻探討曾提及1994年澎湖縣的學童血中鉛平均濃度為 $6.0 \pm 2.4 \mu\text{g/dL}$ [7]，1998至1999年高雄市學童血中鉛研究平均濃度為 $5.5 \pm 1.9 \mu\text{g/dL}$ [6]。鑑於學齡前兒童血中鉛濃度會比學齡兒童略高[43]，因此，以上述兩項研究的學齡兒童血中鉛濃度為基準，推斷當年國內的學齡前兒童血中鉛濃度應相當或約略高於這兩項研究的學童血中鉛濃度值。而本次研究的學齡前兒童血中鉛幾何平均濃度在澎湖縣與高雄市分別為 $2.46 \mu\text{g/dL}$ 與 $1.84 \mu\text{g/dL}$ ，相較於上述兩項在澎湖縣與高雄市所進行的學童血中鉛濃度調查，並考量學齡前兒童與在學學童年紀差異對血中鉛濃度的影響，估計12~17年間，學齡前兒童血中鉛濃度降低的幅度約略在 $3.5 \sim 3.6 \mu\text{g/dL}$ 之間，或更大一些。同時，以1995年台北地區一項研究中5-7歲年齡層幼童血中鉛平均值 $4.39 \sim 4.72 \mu\text{g/dL}$ [40]來做比較基礎，本次研究台北市與原台北縣兩地的幼童血中鉛濃度分別為 $1.49 \mu\text{g/dL}$ 與 $1.83 \mu\text{g/dL}$ ，血中鉛濃度

降低估計值也約在 $2.5 \sim 3.3 \mu\text{g/dL}$ 間。

上述高雄市與澎湖縣兩項研究的在學學童在研究進行當時若都假設為十歲左右年紀，則他們應相當於1984與1988至1989前後的出生世代。上述台北地區之研究的個案則大概是1988-1990世代。再參照1987年在台北市所進行的臍帶血中鉛濃度監測平均值 $7.48 \mu\text{g/dL}$ ，2005年全台的臍帶血中鉛濃度監測值 $1.40 \mu\text{g/dL}$ [39]。相較之下，臍帶血中鉛濃度降低幅度也約略在 $6 \mu\text{g/dL}$ 左右。這一時期正好跨越1990~2000年間台灣地區由有鉛汽油轉變為完全使用無鉛汽油的階段，不論學齡前兒童或是臍帶血中鉛濃度在這一段期間都明顯反應了改用無鉛汽油所產生的環境鉛暴露減少的影響。

同時，相較於文獻探討中所提及的各國學齡前兒童血中鉛濃度分佈資料，此次國內幼稚園兒童血中鉛濃度監測結果比起高度與中度人類開發指數國家明顯較低，與非常高度人類開發指數國家相當。以美國而言，2005至2010年間學齡前兒童血中鉛濃度維持在 $1.3 \sim 1.5 \mu\text{g/dL}$ 左右[44]，本次研究國內的監測值 $1.86 \mu\text{g/dL}$ 僅比他們略高一些，顯示國內在整體鉛暴露環境的控制上並未明顯落後於先進國家。

另外，美國歷年國民健康營養調查(NHANES)結果顯示，1至5歲學齡前兒童血中鉛濃度大於 $10 \mu\text{g/dL}$ 的比例從1976~1980年代高達87%，大幅下降至1988~1991年代的7.8%，1999~2004年間更下降到1.4%，到2008年已僅0.83%。我們國內這方面資料並不齊全，無法做相對應比較。但在本研究計畫的結果顯示，僅有0.21%(2位)研究個案的血中鉛濃度值明顯超過 $10 \mu\text{g/dL}$ ，另外超過 $5 \mu\text{g/dL}$ 的研究個案數也只有1.50%(14位)，顯示國內的學齡前兒童血中鉛濃度偏高的情形並不多(圖二)。

根據文獻探討歸納結論顯示，各國學齡前兒童血中鉛濃度逐年降低的變化趨勢，與各國的經濟發展、教育水準及國民健康水準有很大的關係[12-16]。人類發展指數愈高的國家，近十年來的學齡前兒童鉛暴露情形愈低。這也反應出知識教育水準較高、國

力較強盛、經濟情況較佳的國家或地區，其對整體污染產業的管制、環境保護與職場安全衛生意識較強，因此能有較積極有效的健康保護政策，以防護、減少環境鉛暴露。相同現象也反應在國內的學齡前兒童血中鉛濃度的分布，都會等社會經濟地位較高地區，例如北部或區/市等級之行政區域，其學齡前兒童血中鉛濃度明顯低於經濟弱勢的地區，例如東部、離島地區，或是鎮/鄉等級之行政區域。這些學齡前兒童血中鉛濃度的差異原因，簡單來說應該是與他們所處的環境背景鉛濃度有關，例如研究個案父母親的工作環境暴露所導致的間接鉛暴露，或是住家附近工廠排放的含鉛物質，乃至住家或附近環境中殘存的鉛塵。但這些環境背景鉛濃度並不容易從單一或少數因子來解釋，但會透過社會經濟地位反應出來。例如本研究的分析結果即顯示，相關影響學齡前兒童血中鉛濃度的因素包括父母親的教育程度背景、家庭收入、住家環境水準、職業與工作內容等。這些導因於社會經濟地位差異影響所產生的學齡前兒童血中鉛濃度變異情形，也可以簡稱為健康不平等(Health Disparities and Inequalities)的影響。美國疾病管制局(USCDC)即曾對健康不平等提出研究報告，指出社會經濟地位、種族、教育、性別、居住及工作環境等與人民健康受到的影響極有關係[45]。其中也提及環境危害因素，如住家環境衛生、空氣品質等也都是影響健康不平等的因素。以本計畫研究結果來看，也可將眾多影響學齡前兒童血中鉛濃度分布的因素歸結為健康不平等的現象。因此未來進一步的防制學齡前兒童鉛暴露的工作也應從健康不平等這個角度來思考，特別是教育方面。因為教育是決定工作與收入的重要因子，對多數人而言，教育程度反應了家庭物質與其他資源，以及年輕人能獲得的知識與技能。因此，教育對每個人的人生有長期影響，也包括對成年後健康狀況的影響。而且，收入是衡量物質資源的最直接工具，收入可藉由其對生活水準的直接效應來影響健康，例如獲取更佳的食物與住居、休閒活動與健康照護服務等[45]。

歐盟的一項統整研究顯示，兒童血中鉛濃度的降低與環境和食物中鉛含量有關[46]。該研究評估，空氣中鉛濃度因無鉛汽油的使用後已不是重要的血中鉛影響因素。未來若要能有效地預測人體血中鉛濃度的變化趨勢，環境土壤中鉛、室內粉塵、食物與飲水中鉛會是血中鉛濃度的重要影響因素。需要有完整的綜合性環境研究調查，才能進一步釐清或預測人體鉛濃度變化。特別是針對兒童的系統性整合監測計畫是十分需要的，以期能辨識、定量及降低鉛暴露的殘存來源。

除了一般性環境鉛暴露來源外，特殊鉛暴露來源也是造成學齡前兒童個別高血中鉛濃度的主要因素。這類高血中鉛個案不容易以統計分析歸納原因，必須以個案調查方式，探討其個別的鉛暴露原因。例如在美國紐約市的一項研究即顯示，在美國六歲以下兒童鉛暴露的來源主要因素是含鉛油漆。另外，移民族群的文化特性也是重要原因，如美國紐約市一位柬埔寨移民兒童因長期配戴來自其祖國的辟邪物，造成持續鉛暴露，以致血中鉛濃度超過20  $\mu\text{g}/\text{dL}$ [45]。這項調查結果提醒在尋找個案的鉛暴露來源時，必須針對種族、文化影響下一些特殊的可能暴露形式進行瞭解，以協助判斷引起高血中鉛的原因。例如，本研究也觀察到家中有拜拜習慣也可能與幼童血中鉛濃度有關，顯示此一文化信仰活動亦值得重視是否與潛在鉛暴露來源有關。再如國內先前也有許多案例因服用鉛含量過高的八寶粉或中草藥造成高血中鉛濃度健康影響，但在本研究中並無法以統計方法歸納整理出服用這些漢方中草藥對學齡前孩童血中鉛濃度分佈有何影響。此現象說明在國內服用這些漢方中草藥造成的鉛暴露應是個案為主，而非普遍性的鉛暴露來源，因此對這類型的鉛暴露來源調查時，也就必須特別謹慎。

有鑑於環境鉛暴露雖已逐年降低，但低血中鉛值的潛在健康危害仍是目前所關注的重點[8]。為了能夠有效掌握國民健康受環境鉛污染影響的程度，國內衛生主管單位應針對國民生活健康環境影響因素進行持

續的生物指標監測計畫，像是美國國家健康營養調查(NHANES)[43]，或是法國生物監測系統(French Human Biomonitoring (HBM) Programme)[47]，以人體生物檢體為介質，如血液、唾液、尿液等，針對環境中可能的鉛或其他金屬或化學污染物進入人體的成分與含量進行定期偵測。就以鉛暴露監測而言，這樣的監測系統不僅可定期提供學齡前兒童血中鉛濃度變化的背景值，同時也可提供長期評估基礎，作為鉛暴露防治策略擬定與執行的依據，以有效改善高暴露風險族群的環境鉛暴露[48]。同時，這樣的監測系統可以是新設或是現有監測系統的延伸，例如國內現有的國民營養調查計畫就是現有可擴充或延伸的重要監測基礎。重要的是這樣的監測系統能與其他相關監測系統或資料庫應有可以整合的平台，像是國民營養調查中，有關飲食中金屬成分的資訊，就應該能連結使用，讓血中鉛的監測結果能有機會作更完整、周延的解釋與說明。同時這樣的監測系統，也應與國家環境監測體系有共同溝通平台，如食物、空氣、水、環境動植物檢體中的鉛濃度分佈變異情形，以便瞭解環境中鉛或其他金屬的流布與血中鉛的監測結果是否有關，作為環境鉛暴露防制的重要依據。

有關血中鉛監測警戒值方面，雖然世界衛生組織(WHO)與美國疾病管制局(US CDC)對於兒童血中鉛濃度參考限值設定為10  $\mu\text{g}/\text{dL}$ [4]。但先前章節已提到近年來許多相關研究指出當兒童的血中鉛濃度小於10  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的情況下，對於智力發展有負面影響，甚或造成疾病[8]。因此現今有關於學齡前兒童血中鉛監測警戒值的設定不應受限於此傳統兒童血中鉛濃度參考限值10  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 。在美國，有學者提出對學齡前兒童鉛暴露介入性防治工作之血中鉛參考閾值應降至5  $\mu\text{g}/\text{dL}$ [49]。尤有甚者，另有研究指出是項警戒值應降低為2  $\mu\text{g}/\text{dL}$ [50]。就國內情形而言，本研究指出學齡前兒童血中鉛濃度大於4  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 、3  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 的盛行率分別為3.6%、12.6%(圖二)。因此，考量低血中鉛濃度對學齡前兒童的可能健康危害[49,50]，未來若要進一步防制學齡前兒童鉛暴露，顧及行政

執行可行性，國內學齡前兒童血中鉛監測警戒值應可考慮逐步往下調降至4  $\mu\text{g}/\text{dL}$ ，目標族群為約3.6%的學齡前兒童，將其作為輔導改善環境鉛接觸、減少鉛暴露的主要對象。根據本研究結果顯示偏遠地區原住民、外籍配偶家庭，以及從事農林漁牧、營建/製造業等特定行業背景的人，其孩童血中鉛明顯較高，未來鉛暴露防治工作應以這類背景的人為重點。特別是這類人對於工作或環境中潛在的危害因素，像是重金屬、化學品等可能較無警覺，可協助其辨識或尋求技術支援，以減少潛在鉛暴露。同時並可考慮以3  $\mu\text{g}/\text{dL}$ 為「動作閾值(action level)」，以此相對較嚴格的警戒值提醒家長及衛生人員，超過此警戒值的學齡前兒童比常人有更多的鉛暴露，需更加費心注意環境、飲食或家人工作上鉛暴露來源的辨識與防範，以有效防治長期低鉛濃度暴露的健康危害。

## 致 謝

本計畫由行政院衛生署國民健康局資助(DOH100-HP-1404)，特此致謝。

## 參考文獻

1. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for lead, 2007. Available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp13.html>. Accessed October 2, 2011.
2. WHO. Environmental Health Criteria 234--Elemental Speciation in Human Health Risk Assessment. Geneva: World Health Organization, 2006.
3. Goyer RA, Clarkson TW. Toxic effects of metals. In: Klaassen CD ed. Casarett and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons. New York: McGraw-Hill, 2001.
4. Centers for Disease Control and Prevention (USCDC). Preventing Lead Poisoning in Young Children: A Statement by the Centers for Disease Control. Atlanta, Georgia: Center for Diseases Control, 2005.
5. Kordas K, Canfield RL, Lopez P, et al. Deficits in cognitive function and achievement in Mexican first-graders with low blood lead concentrations. Environ Res 2006;100:371-86.
6. Wang CL, Chuang HY, Ho CK, et al. Relationship



- between blood lead concentrations and learning achievement among primary school children in Taiwan. *Environ Res* 2002;**89**:12-8.
7. Yang T, Wu TN, Hsu SW, Lai CH, Ko KN, Liou SH. Blood lead levels of primary-school children in Penghu county, Taiwan: distribution and influencing factors. *Int Arch Occup Environ Health* 2002;**75**:528-34.
8. Bellinger DC. The protean toxicities of lead: new chapters in a familiar story. *Int J Environ Res Public Health* 2011;**8**:2593-628.
9. Levin R, Brown MJ, Kashtock ME, Jacobs DE, Whelan EA, Rodman J. Lead exposures in U.S. children, 2008: implications for prevention. *Environ Health Perspect* 2008;**116**:1285-93.
10. Jedrychowski W, Perera FP, Jankowski J, et al. Very low prenatal exposure to lead and mental development of children in infancy and early childhood: Krakow prospective cohort study. *Neuroepidemiology* 2009;**32**:270-8.
11. Jusko TA, Henderson CR, Lanphear BP, Cory-Slechta DA, Parsons PJ, Canfield RL. Blood lead concentrations < 10 microg/dL and child intelligence at 6 years of age. *Environ Health Perspect* 2008;**116**:243-8.
12. Ahamed M, Verma S, Kumar A, Siddiqui MK. Blood lead levels in children of Lucknow, India. *Environ Toxicol* 2010;**25**:48-54.
13. Huo X, Peng L, Xu X, et al. Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environ Health Perspect* 2007;**115**:1113-7.
14. Jarosińska D, Biesiada M, Muszyńska-Graca M. Environmental burden of disease due to lead in urban children from Silesia, Poland. *Sci Total Environ* 2006;**367**:71-9.
15. Schnaas L, Rothenberg SJ, Flores M, et al. Reduced intellectual development in children with prenatal lead exposure. *Environ Health Perspect* 2006;**114**:791-7.
16. Tong S, Schirnding YE, Prapamontol T. Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bull World Health Organ* 2000;**78**:1068-77.
17. United Nations Development Programme (UNDP). Summary human development report 2009. Available at: <http://www.undp.org/>. Accessed December 30, 2011.
18. Gonzalez EJ, Pham PG, Ericson JE, Baker DB. Tijuana childhood lead risk assessment revisited: validating a GIS model with environmental data. *Environ Manage* 2002;**29**:559-65.
19. Bradman A, Eskenazi B, Sutton P, Athanasoulis M, Goldman LR. Iron deficiency associated with higher blood lead in children living in contaminated environments. *Environ Health Perspect* 2001;**109**:1079-84.
20. Valerie MT, Robert HS, James JF, Thomas GS. Effects of reducing lead in gasoline: an analysis of the international experience. *Environ Sci Technol* 1999;**33**:3942-8.
21. Kolossa-Gehring M, Becker K, Conrad A, et al. German Environmental Survey for Children (GerES IV) – first results. *Int J Hyg Environ Health* 2007;**210**:535-40.
22. Pönkä A. Lead in the ambient air and blood of children in Helsinki. *Sci Total Environ* 1998;**219**:1-5.
23. Strömberg U, Schütz A, Skerfving S. Substantial decrease of blood lead in Swedish children, 1978-94, associated with petrol lead. *Occup Environ Med* 1995;**52**:764-9.
24. Espinoza R, Hernández-Avila M, Narciso J, et al. Determinants of blood-lead levels in children in Callao and Lima metropolitan area. *Salud Publica Mex* 2003;**45**:S209-19.
25. Vahter M, Counter SA, Laurell G, et al. Extensive lead exposure in children living in an area with production of lead-glazed tiles in the Ecuadorian Andes. *Int Arch Occup Environ Health* 1997;**70**:282-6.
26. Romieu I, Palazuelos E, Avila MH, et al. Sources of lead exposure in Mexico city. *Environ Health Perspect* 1994;**102**:384-9.
27. Romieu I, Carreon T, Lopez L, et al. Environmental urban lead exposure and blood lead levels in children of Mexico city. *Environ Health Perspect* 1995;**103**:1036-40.
28. Tabaku A, Bizgha V, Rahlenbeck SI. Biological monitoring of lead exposure in high risk groups in Berat, Albania. *J Epidemiol Community Health* 1998; **52**:234-6.
29. Nichani V, Li WI, Smith MA, et al. Blood lead levels in children after phase-out of leaded gasoline in Bombay, India. *Sci Total Environ* 2006;**363**:95-106.
30. Chaudhary V, Sharma MK. Risk assessment of children's blood lead level in some rural habitations of western Uttar Pradesh, India. *Toxicol Environ Chem* 2010;**92**:1929-37.
31. Wang S, Zhang J. Blood lead levels in children, China. *Environ Res* 2006;**101**:412-8.
32. Jiang YM, Shi H, Li JY, Shen C, Liu JH, Yang H. Environmental lead exposure among children in Chengdu, China: blood lead levels and major sources.

- Bull Environ Contam Toxicol 2010;**84**:1-4.
33. Mathee A, Röllin H, von Schirnding Y, Levin J, Naik I. Reductions in blood lead levels among school children following the introduction of unleaded petrol in south Africa. *Environ Res* 2006;**100**:319-22.
  34. Nriagu J, Senthamarai-Kannan R, Jamil H, Fakhori M, Korponic S. Lead poisoning among Arab American and African American children in the Detroit Metropolitan area, Michigan. *Bull Environ Contam Toxicol* 2011;**87**:238-44.
  35. Rahbar MH, White F, Agboatwalla M, Hozhabri S, Luby S. Factors associated with elevated blood lead concentrations in children in Karachi, Pakistan. *Bull World Health Organ* 2002;**80**:769-75.
  36. Shah F, Kazi TG, Afridi HI, et al. Evaluation of status of trace and toxic metals in biological samples (scalp hair, blood, and urine) of normal and anemic children of two age groups. *Biol Trace Elem Res* 2011;**141**:131-49.
  37. Nriagu J, Oleru NT, Cudjoe C, Chine A. Lead poisoning of children in Africa, III. Kaduna, Nigeria. *Sci Total Environ* 1997;**197**:13-9.
  38. Hwang YH, Ko Y, Chiang CD, et al. Transition of cord blood lead level, 1985~2002, in Taipei area and its determinants after the cease of leaded gasoline use. *Environ Res* 2004;**96**:274-82.
  39. 劉俊宏、吳惠琤、陳保中、郭育良、黃耀輝：台灣地區新生兒臍帶血中元素濃度分佈初探。台灣衛誌 2009；**28**：420-34。  
Liu JH, Wu HC, Chen PC, Guo YLL, Hwang YH. Concentration distributions of elements in umbilical cord blood in Taiwan. *Taiwan J Public Health* 2009;**28**:420-34. [In Chinese:English abstract]
  40. Cheng TJ, Wong RH, Lin YP, Hwang YH, Horng JJ, Wang JD. Chinese herbal medicine, sibship and blood lead in children. *Occup Environ Med* 1998;**355**:573-6.
  41. 內政部：內政部統計年報。http://sowf.moi.gov.tw/stat/year/list.htm。引用2011/12/30。  
Ministry of the Interior, R.O.C. (Taiwan). Statistical yearbook of interior. Available at: http://sowf.moi.gov.tw/stat/year/list.htm. Accessed December 30, 2011.
  42. 教育部：教育部全國幼教資訊網－5歲幼兒免學費教育計畫，2011。http://www.ece.moe.edu.tw/admin/bulletin/bulletin.asp?mode=listbulletin&bType\_ID=0&State\_ID=0。引用2011/12/30。  
Ministry of Education. Early childhood education website, Ministry of Education: free education programs for five-year-old children. Available at: http://www.ece.moe.edu.tw/admin/bulletin/bulletin.asp?mode=listbulletin&bType\_ID=0&State\_ID=0. Accessed December 30, 2011. [In Chinese]
  43. USCDC. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. Atlanta, Georgia: Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention, 2011.
  44. USCDC. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables. Atlanta, Georgia: Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention, 2010.
  45. USCDC. Health Disparities and Inequalities Report -- United States, 2011. *MMWR* 2011;**60**:22-7.
  46. Bierkens J, Smolders R, Van Holderbeke M, Cornelis C. Predicting blood lead levels from current and past environmental data in Europe. *Sci Total Environ* 2011;**409**:5101-10.
  47. Fréry N, Vandentorren S, Etchevers A, Fillol C. Highlights of recent studies and future plans for the French human biomonitoring (HBM) programme. *Int J Hyg Environ Health* 2011;**215**:127-32.
  48. Scott LL, Nguyen LM. Geographic region of residence and blood lead levels in US children: results of the National Health and Nutrition Examination Survey. *Int Arch Occup Environ Health* 2011;**84**:513-22.
  49. Iqbal S, Muntner P, Batuman V, Rabito FA. Estimated burden of blood lead levels >5 µg/dl in 1999–2002 and declines from 1988 to 1994. *Environ Res* 2008;**107**:305-11.
  50. Gilbert SG, Weiss B. A rationale for lowering the blood lead action level from 10 to 2 ug/dL. *Neurotoxicology* 2006;**27**:693-701.



## Distribution and determinants of blood lead levels in kindergarten children in Taiwan, 2011

YI-HSEUN LIN<sup>1</sup>, CHIA-YU LIN<sup>1</sup>, I-JEN WANG<sup>3,4</sup>, YAW-HUEI HWANG<sup>1,2,\*</sup>

**Objectives:** Children's growth and intellectual development are affected by low-level lead exposure. The aims of this research were to measure the concentration of lead in the blood of the kindergarten children in Taiwan and to explore the relevant determinants in order to prevent future lead exposure. **Methods:** Random sampling was done at various administrative levels such as district, city, town, and village. Kindergartens from administrative areas that were randomly selected were then invited to participate in this project between April and October 2011. A total of 934 children from the participating kindergartens in the selected areas took part in this study after their parents signed a statement of consent. Blood lead level was determined with inductively coupled plasma. **Results:** The geometric mean level of lead in the blood of kindergarten children was 1.86 µg/dL (geometric standard deviation =1.55). The percentage of blood lead concentrations exceeding 4 µg/dL was 3.7%. In terms of geographical areas, subjects from the off-shore islands had the highest geometric mean blood lead concentration (2.59 µg/dL), while those in northern Taiwan had the lowest (1.53 µg/dL). Among the counties, children from Kinmen (2.80 µg/dL) and Changhua (2.53 µg/dL) presented with the highest blood lead levels while those in Taoyuan (1.28 µg/dL) and Hsinchu (1.32 µg/dL) had the lowest. Blood lead concentration was negatively correlated with household income and level of parental educational ( $p < 0.0001$ ). Children whose fathers worked in the industries of Agriculture, Forestry and Fisheries tended to have higher blood lead levels ( $> 2.20$  µg/dL). **Conclusions:** There is an international consensus to further lower the safety threshold for children's blood lead levels since damage to the brain and nervous system has been reported with blood lead levels less than 10µg/dL. Therefore, even though the blood lead levels of kindergarten children have generally been reduced to 1~3 µg/dL in Taiwan, a referential threshold of 4 µg/dL was suggested in order to enhance the prevention of lead exposure for people at high risk, with efforts on eliminating health disparities and inequalities in the general population. (*Taiwan J Public Health*. 2012;**31**(3):285-298)

**Key Words:** kindergarten children, blood, lead

<sup>1</sup> Institute of Occupational Medicine and Industrial Hygiene, College of Public Health, National Taiwan University, No.17, Xu-Zhou Rd., Zhongzheng Dist., Taipei, Taiwan, R.O.C.

<sup>2</sup> Department of Public Health, College of Public Health, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

<sup>3</sup> Department of Pediatrics, Taipei Hospital, Department of Health, Executive Yuan, Taipei, Taiwan, R.O.C.

<sup>4</sup> College of Public Health, China Medical University, Taichung, Taiwan, R.O.C.

\* Correspondence author. E-mail: yhhwang@ntu.edu.tw

Received: Jan 3, 2012

Accepted: May 25, 2012