

中部地區民衆淋浴健康風險評估與風險特性化研究

江舟峰 凌明沛 林家玉¹ 蔡佩玲

中國醫藥大學 健康風險管理學系 環境醫學研究所¹

背景/目的 推估中部地區民衆淋浴時吸入六種揮發性有機物(volatile organic compounds ; VOCs)的終身增加之致癌風險,比較雙年齡層(7-18 歲、19-64 歲)與單年齡層(7-64 歲)模式並研擬標準風險特性化表,俾利與民衆進行風險溝通。

方法 以中部地區民衆為對象進行問卷暴露調查與量測。採用美國環保署飲用水最大污染限值(maximum contamination level ; MCL),利用文獻中VOCs濃度之雙膜理論推估值;引用衛生署之國人卡路里消耗率數據,推估國人每日呼吸率;採用美國環保署整合風險資料庫(IRIS)之吸入單位致癌風險。

結果 青少年(7-18 歲)與成人(19-64 歲)平均體重分別為51.2 kg (n = 30)與62.2 kg (n = 65),淋浴平均時間為11.6 分鐘與13.4 分鐘。推估成人平均呼吸率為12.8 m³/day,低於美國慣用值之20 m³/day。六種VOCs暴露濃度為43.4至642 µg/m³,最高濃度為氯仿。雙與單年齡層之吸入VOCs之終身增加之致癌風險分別為65.9 × 10⁻⁶與64.7 × 10⁻⁶。

結論 雖然雙年齡層採用較合理的參數值,但兩種模式推估結果差異極微,皆於可接受風險範圍(10⁻⁶至10⁻⁴)。研擬標準風險特性化表之過程雖然繁複,對風險溝通的改善應是具體可行的。(中台灣醫誌 2008;13:27-34)

關鍵詞

年齡層,終身增加之致癌風險,呼吸率,風險特性化,揮發性有機物

前言

媒體曾報導國人淋浴時吸入揮發性有機物質(volatile organic compounds ; VOCs)的終身增加之致癌風險值(excess lifetime cancer risk ; ELCR),為每百萬人中最低1.43至1.45人、最高55.46至56.65人,但在未進一步說明下,卻報導:「環保署現行飲用水揮發性有機化合物管制標準,雖然幾乎與先進國家相同,但終身增加之致癌風險卻最高」[1],對於國人正確之風險溝通可能並不適當。

目前我國自來水已普遍作為飲用水及洗澡用水。原水導入處理廠經過沉澱、混凝處理後,於進入配水管線前,為了避免水質遭受病菌污染,大部份均進行加氯消毒,當水中的餘氯與有機物結合時即產生VOCs。我國公告飲用水水質標準

有九種VOCs,分別為1,1,1-三氯乙烷、對-二氯苯、總三鹵甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯、三氯乙烯、氯乙烯、四氯化碳和苯[2],除1,1,1-三氯乙烷在美國環保署毒理資料庫(integrated risk information system ; IRIS)中被歸類為非致癌物、對-二氯苯因資料不足未歸類外,其餘皆判定為致癌物,其中苯(Benzene)與氯乙烯判定為A類(確定人類致癌),氯仿、1,2-二氯乙烷(1,2-dichloroethane)、四氯化碳(carbon tetrachloride ; CTC)為B2類(可能人類致癌)、1,1-二氯乙烯(1,1-dichloroethylene ; 1,1-DCE)為C類(或許人類致癌),而三氯乙烯(trichloroethylene ; TCE)則在國際癌症研究署(international agency for research on cancer ; IARC)中被分類為Group 2A(可能人類致癌),對人體造成的健康危害以白血病和肝腫瘤為主[3]。

上述報導也顯示國人普遍缺乏正確的健康風險認知(risk perception),完整的風險特性化描述(risk characterization)是亟待加強的課題。本研究嘗試研擬標準的風險特性化表,俾利進行正確的

聯絡作者:江舟峰

地址:404台中市北區學士路91號

中國醫藥大學 公共衛生學院 健康風險管理學系

收文日期:2007年7月16日 修改日期:2007年9月6日

接受日期:2007年10月8日

定量及定性的風險特性描述，提供政府或媒體進行風險溝通(risk communication)之參考。

再者，前人研究[4-6]均使用成人暴露之保守情境(conservative scenario)推估終身增加之致癌風險可能有較高的不確定性。本研究將中部地區之暴露族群分為青少年(7-18歲)與成人(19-64歲)兩個年齡層，比較雙年齡層(7-18歲、19-64歲)與單年齡層(7-64歲)淋浴時吸入六種VOCs的終身增加之致癌風險，探討這兩種年齡層模式推估的差異。此外，文獻之每日呼吸率參數採用美國環保署之成人慣用值 $20 \text{ m}^3/\text{day}$ [4,5]，尚無本土化數據，本研究嘗試估算國人每日呼吸率。

本研究之目的除調查本土化暴露參數外，亦嘗試利用Layton [7]呼吸率公式及國人每日卡路里消耗率數據，推估國人每日呼吸率，此外也嘗試研擬風險特性化的標準格式，以利國人風險溝通。

材料與方法

暴露調查

暴露調查包括實測數據和文獻資料兩部份：
(一)淋浴暴露參數實測，以中部地區民眾為暴露族群，因為7歲以下和65歲以上族群之淋浴頻率較少，僅考慮7-65歲之民眾，分為青少年(7-18歲)與成人(19-64歲)雙年齡層，進行實際量測與問卷調查。因受限於需實測水溫與淋浴時間，無法以隨機方式抽樣，乃以周遭朋友為主，但儘量注意受測者性別與年齡的平衡，調查資料包括：淋浴頻率、水溫、體重、淋浴時間等，其中水溫、體重、淋浴時間調查請受測者自行在家中量測，填妥後再回收。(二)以美國環保署規定之飲用水七種VOCs最大污染限值(maximum contamination level; MCL)，引用吳[4]利用雙膜理論推估於不同溫度下之空氣中VOCs濃度，再利用本研究問卷調查獲得各年齡層之淋浴溫度，使用內插法獲得該特定溫度之VOCs濃度。其中氯乙烯因無法獲得 32°C 以上之亨利常數，無法推算其空氣中濃度，因此未推估其致癌風險值。風險斜率係數則採用2005年USEPA之IRIS風險資料庫中吸入單位風險(inhalation unit risk; IUR)。平均日數採用94年內政部公告之國人平均餘命，也比較美國環保署慣用值(default value)與本研究調查國人之數值推估終身增加之致癌風險，慣用值為美國環保署1991年公佈數值[8,9]。

呼吸率之推估

根據衛生署調查國人每日卡路里消耗率[9]，

代入Layton [7]公式推估國人每日呼吸率：

未滿9歲

$$\text{DIR} = \text{FEI} \times \text{H} \times \text{VQ} \times 10^{-3} \quad (1)$$

9歲及9歲以上

$$\text{DIR} = \text{FEI} \times 1.2 \times \text{H} \times \text{VQ} \times 10^{-3} \quad (2)$$

其中，DIR (daily inhalation rate)為每日呼吸率(m^3/day)；FEI (food-energy intake)為熱量攝取率(kcal/day)；H為攝氧因子(oxygen uptake factor) = $0.21 \text{ L O}_2/\text{kcal}$ ；VQ (ventilatory quotient)為通氣比 = 空氣吸入率(L/min)/耗氧率(L/min) = 27，此數值為美國民眾肺功能與氧代謝率實測值之線性迴歸斜率($n = 75$)； 10^{-3} 為將L轉換為 m^3 。公式(2)之1.2為一常數，用於修正全美民眾食物攝取普查(1977-78年)結果之偏差。

終身增加之致癌風險模式

利用Excel電腦試算表編碼終身增加之致癌風險(excess lifetime cancer risk; ELCR)，其定義為終身暴露於某一潛在致癌物質環境中，經由特定路徑對特定標的器官，可能產生增加的癌症風險。本研究計算淋浴時吸入六種VOCs之ELCR公式如下[10,11]：

$$\text{ELCR} = \text{SF} \times \text{LADD} \quad (3)$$

LADD (lifetime average daily dose)為終身平均每日暴露劑量($\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$)，SF (slope factor)為斜率係數($\text{mg}/\text{kg}\text{-day}$) $^{-1}$ ，可藉由吸入單位風險(IUR)演算，如公式(4)所示[11]。

$$\text{SF} = (\text{IUR} \times \text{BW})/\text{DIR} \times 10^3 \quad (4)$$

$$\text{LADD} = (\text{Ca} \times \text{DIR} \times \text{AE} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED})/(\text{AT} \times \text{BW}) \times 10^3 \quad (5)$$

將公式(4)(5)中受年齡層影響之參數DIR、BW、ET、EF、ED組合，代入公式(3)得公式(6)，i表示六種VOCs，j表示雙或單年齡層。

$$\text{ELCR} = \sum_i (\text{SF}_i \times \text{Ca}_i) \times \sum_j \left[\frac{\text{DIR}_j \times \text{ET}_j \times \text{ED}_j \times \text{EF}_j}{\text{BW}_j} \right] \times \left[\frac{\text{AE}}{\text{AT}} \right] \times 10^6 \quad (6)$$

其中，IUR (inhalation unit risk)為VOCs吸入單位風險($\mu\text{g}/\text{m}^3$) $^{-1}$ ；Ca (concentration in air)為空氣中VOCs濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)，以美國環保署規定之飲用水VOCs最大污染限值，引用吳[4]利用雙膜理論推估於不同溫度下之空氣中VOCs濃度，利用溫度與濃度間關係進行內插法獲得；BW (body weight)為平均體重(kg)；ET (exposure time)為每日暴露時間(min/day)；EF (exposure frequency)為每年暴露頻率(day/year)，引用USEPA (1991)之慣用值350天[8]；ED (exposure duration)為暴露期間(year)，本研究探討雙年齡層(7-18歲及19-64歲)與單年齡層(7-64歲)間之終身增加之致癌風險

差異，故雙年齡層之ED分別為12與46年代入公式(6)計算ELCR再加總，另外再計算單年齡層ED為58年之ELCR；AT(average time)為終身平均日數，本研究分別引用美國環保署之慣用值為70年×365日[8]與94年國人兩性平均餘命77年×365日[17]；AE(absorption efficiency)為肺泡的吸收效率，慣用值為50%。

敏感度分析

於敏感度分析(sensitivity analysis)時，將風險值視為因變數，所有參數因子為自變數。本研究將其中任一個自變數乘以10%，固定所有其他自變數，評估自變數的改變對因變數之影響，此過程稱為敏感度分析[10-12]。評估之自變數有Ca、DIR、ET和BW，利用Excel軟體分別進行敏感度分析，以比較其不確定性影響風險值之程度。

結果

暴露調查分析

問卷調查結果如表一，有效回收問卷95份，先將問卷調查之實際年齡分為7-18歲與19-64歲兩組，分別計算組別平均體重，其青少年與成人平均體重分別為51.2 kg (n = 30)與62.2 kg (n = 65)，平均水溫為33.1°C與34.8°C，平均淋浴時間為11.6與13.4 min。兩種年齡層淋浴之平均水溫為33°C至35°C (n = 95)，本研究引用吳[4]推估空氣中六種VOCs濃度值，利用內插法推算各年

齡層(7-18歲、19-64歲及7-64歲)之濃度，如表二所示，其範圍為43.4至642 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，最高為氯仿及最低為1,2-二氯乙烷。再者，六種VOCs之IUR如表三所示，其範圍為 1.3×10^{-6} 至 5.0×10^{-5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹，最高為1,1-二氯乙烯及最低為三氯乙烯[3]。

呼吸率之推估

衛生署於1993-1996年對13-64歲國人調查膳食營養狀況。為補足欠缺之年齡族群，又在1998-2002年對12歲以下學童(6-12歲)及65歲以上老人進行調查[9]。表四為利用公式(1)、(2)推估國人每日呼吸率，結果7-18歲為9.5至16.1 m^3/day 、19-64歲為10.0至16.4 m^3/day 。本研究青少年(7-18歲)與成人(19-64歲)每日呼吸率皆採用男女性之平均值，分別為13.0、12.8 m^3/day 。

終身增加之致癌風險

如表三表示，雙年齡層(7-18歲、19-64歲)加總之ELCR為 65.9×10^{-6} ，略高於單年齡層之ELCR (64.7×10^{-6})，兩者之間差異極微。如圖顯示，於六種VOCs中氯仿(chloroform)之風險最高，均佔單年齡層及雙年齡層總風險之73%。

本研究進一步針對單年齡層(7-64歲)比較美國慣用值與本研究國人推估之風險值，結果分別為 195×10^{-6} 與 64.7×10^{-6} ，說明使用慣用值會高估我國民眾之淋浴健康風險。

敏感度分析

敏感度分析結果得知，影響終身增加之致癌

表一 本研究暴露調查結果與美國環保署之慣用值

參數 \ 年齡層(歲)	7-18 (N = 30)	19-64 (N = 65)	7-64 (N = 95)	美國環保署 慣用值 [†]
體重(kg)	51.2 ± 10.0*	62.2 ± 10.7	58.7 ± 11.6	70
淋浴水溫(°C)	33.1 ± 5.2	34.8 ± 5.1	34.3 ± 5.2	-
淋浴時間(min)	11.6 ± 6.3	13.4 ± 6.6	12.8 ± 6.5	30
暴露頻率(d/yr)	350 [†]	350 [†]	350 [†]	350
暴露期間(yr)	12	46	58	58
終身平均日數(day)	77 × 365 [†]	77 × 365 [†]	77 × 365 [†]	70 × 365

* 平均值±標準差。[†]引用民國94年國人兩性平均餘命77年[17]。[‡]引用USEPA, Standard Default Exposure Factors, 1991, [8]。

表二 本研究推估之各年齡層六種空氣中揮發性有機物質暴露濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

年齡層(歲)	苯	三氯乙烯	氯仿	四氯化碳	1,2-二氯乙烷	1,1-二氯乙烯
7-18	46.1	46.6	641	46.9	43.4	65.5
19-64	46.2	46.6	642	46.9	43.5	65.6
7-64	46.2	46.6	642	46.9	43.5	65.6

表三 本研究推估之六種揮發性有機物質於各年齡層與美國環保署慣用值之淋浴時吸入終身增加致癌風險

揮發性有機物質	吸入單位風險 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	致癌風險			美國環保署 慣用值
		7-18 歲	19-64 歲	7-64 歲	
苯	5.0×10^{-6}	1.39×10^{-7}	6.15×10^{-7}	7.41×10^{-7}	2.23×10^{-6}
三氯乙烯	1.3×10^{-6}	3.64×10^{-8}	1.61×10^{-7}	1.94×10^{-7}	5.85×10^{-7}
氯仿	2.3×10^{-5}	8.87×10^{-6}	3.94×10^{-5}	4.74×10^{-5}	1.43×10^{-4}
四氯化碳	1.5×10^{-5}	4.23×10^{-7}	1.87×10^{-6}	2.26×10^{-6}	6.79×10^{-6}
1,2-二氯乙烷	2.6×10^{-5}	6.80×10^{-7}	3.01×10^{-6}	3.63×10^{-6}	1.09×10^{-5}
1,1-二氯乙烯	5.0×10^{-5}	1.97×10^{-6}	8.74×10^{-6}	1.05×10^{-5}	3.10×10^{-5}
總風險值 (10^{-6})		12.1	53.8	64.7	195

表四 本研究推估之國人每日呼吸率

年齡 (歲)	每日熱量攝取率* (kcal/day)	每日呼吸率 (m^3/day)
7	1850	10.5 [†]
8	1904	10.8 [†]
9	1997	13.6 [†]
10	2083	14.2 [†]
11	2154	14.7 [†]
12	2158	14.7 [†]
13-15	1899	12.9 [†]
16-19	1971	13.1 [†]
20-24	1881	12.8 [†]
25-34	1963	13.4 [†]
35-54	1889	12.9 [†]
55-64	1780	12.1

* 資料來源：行政院衛生署[9]。† 參考文中公式(1)。

‡ 參考文中公式(2)。

風險較大的兩個參數為暴露時間(ET)和空氣中 VOCs 濃度(Ca)。針對單年齡層(7-64 歲)，當 ET、Ca、BW 各增加 10% 時，其 ELCR 分別為 7.43×10^{-5} 、 6.75×10^{-5} 、 6.14×10^{-5} 。由此結果顯示，當 ET 增加 10% 時所導致之 ELCR 最為顯著，而 BW 之風險因子對淋浴影響程度較小。

風險特性化表

本研究以淋浴時暴露 VOCs 為例，研擬風險特性化表之標準格式，如表五所示，風險特性化表內容可分成三部份，分別為研究主題、前提說明和風險特性化。填表時，在前提說明部份，說明危害物質、毒理資料、暴露族群、暴露途徑、暴露濃度與暴露情境；在風險特性化部份，於定量描述中，填寫風險模式、參數來源，以說明風險模式中各參數數據來源或其合理性，最後

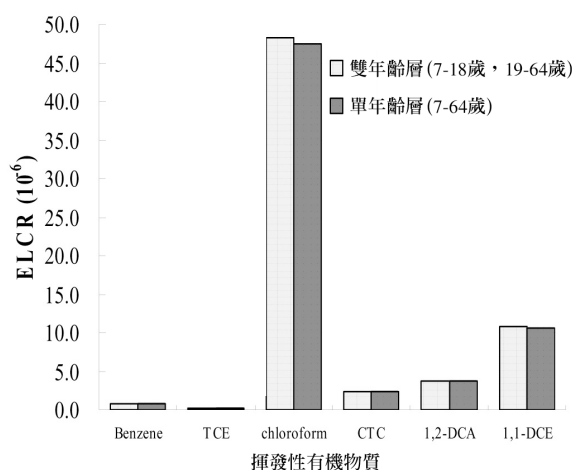


圖 本研究推估各年齡層六種揮發性有機物質累積致癌風險(ELCR)。

說明推估結果；於定性描述中，解釋敏感度分析及不確定性來源，其不確定性來源，則參考美國環保署的指引[13-15]。

討論

暴露調查之限制

本研究暴露調查時間以夏季為主，建議未來可加入其他季節之暴露調查，以了解季節性的淋浴溫度變化。進行暴露調查時，需進行實際測量且過程費時，因此樣本的選擇以周遭認識的人為主，無法以隨機方式進行抽樣，雖然本研究已盡量注意年齡與性別的平衡，但仍可能會造成抽樣偏差，而影響推算終身增加之致癌風險的結果。吳[4]進行中部地區民眾暴露評估，結果為成人平均體重 60.5 kg (430 人)及淋浴時間 12.7 min 比較，與本研究相似；唯在青少年部份，並無其他文獻可供比較。

表五 本研究擬之標準風險特性化表(以淋浴時吸入揮發性有機物質為例)

一、研究主題：國人淋浴健康風險評估。 民國 95 年 5 月 2 日 填表人 林家玉、蔡佩玲

二、前提說明(前三步驟)

1. 危害鑑定/劑量反應關係(第一、二步驟)

- 危害物質：：苯、三氯乙烯、氯仿、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,1-二氯乙烯。
- 毒理資料：
 - 致癌物質，證據強度與斜率係數(slope factor)來源：U S.EPA IRIS (2005)。
 - 非致癌物質，參考劑量(reference dose)來源：_____

2. 暴露評估

- 研究族群：中部地區民眾。
- 年齡分層：青少年(7-18 歲)及成人(19-64 歲)雙年齡層。
- 暴露途徑：□ 攝入 ■ 吸入 □ 皮膚接觸
- 資料調查方法：
 - 問卷，收集資料：體重、淋浴頻率、水溫、淋浴時間及抽風系統。
 - 實際測量方法：_____。
 - 現有數據資料來源：衛生署以及美國環保署網站和相關文獻。
- 暴露濃度：(請參見表二)。
- 暴露情境：
 - 最大容許暴露(reasonable maximum exposure, RME)；■ 平均暴露(Average Exposure)

三、風險特性化描述(第四步驟)

1. 定量描述

- 風險模式：(請參見本文公式(3-6))。
- 參數說明：(請參見本文材料與方法之終身增加之致癌風險每百萬人中66人)。
- ★ 終身增加之致癌風險(excess lifetime cancer risk, ELCR)
 - 10^{-6} 以下；■ 介在 10^{-6} - 10^{-4} 合理範圍內；□ 超過 10^{-4} ；□ 其他 _____。
- ★ 非致癌風險值(hazard index, HI)
 - 小於 1，有危害；□ 大於 1，沒有危害；■ 其他 未計算 HI。

2. 定性描述

- 是否利用電腦模式分析不確定性或敏感度分析：
 - 有，方法(例如蒙地卡羅模擬法)敏感度分析；□ 沒有。
- 不確定性來源：(請參見本文討論)。
- 敏感度分析：(請參見本文討論)。

3. 整合性描述

中部地區一般民眾淋浴時吸入 VOCs 之終身增加之致癌風險為每百萬人中有 66 人，相較於歐美先進國家之可接受風險範圍(10^{-6} - 10^{-4})應屬合理，但民眾應採行減低風險的防範措施，以縮短淋浴時間為主，其次是淋浴時保持浴室通風與加裝全戶水處理系統。

在本研究蒐集文獻資料顯示，本研究之限制有：(一)使用 2005 年之美國環保署 IRIS 風險資料庫，但近年來修定頗多與最新版本之 IRIS 內容會有所差異；(二)呼吸率方面，美國環保署公告之慣用值和其他文獻，皆僅表示成人之數值，因此本研究未區別男女性。

再者，本研究引用吳[4]利用雙膜理論推估於不同溫度下空氣中 VOCs 濃度，其中氯乙烯雖為確定人類致癌，但因無法獲得溫度 32°C 以上之亨利常數，無法推算氯乙烯之空氣中濃度，因此未推估其致癌風險值，故可能會造成結果的低

估。

不確定性分析

USEPA 之 IRIS 中之致癌斜率係數，係以動物實驗之劑量反應關係推估所得，外插至人體有其不確定性[3]。再者，VOCs 致癌物質於 IRIS 中分類，可依據資料充足性(流行病學與毒理數據)，有已知、很可能與可能致癌物三種，但本研究將六種 VOCs 致癌物質綜合來推估 ELCR。

本研究引用吳[4]的六種 VOCs 空氣濃度(假設水中濃度為 MCL 利用雙膜理論推估)，未實際測量淋浴時 VOCs 空氣濃度。台灣飲用水管制標準

與美國MCL相同，其中氯仿標準為0.08 mg/L，在水溫42°C及淋浴時間12.7分鐘下，吳[4]推估氯仿空氣濃度為647 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.000647 mg/L)，但Kuo等人[5]實測台中之水質濃度為0.017 mg/L，雖未超過管制標準，但於水溫44°C、淋浴時間10分鐘下，推估氯仿氣相濃度高達3900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，遠大於吳[4]之647 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。Kerger等人[16]於水溫38°C、淋浴時間12分鐘實測，氯仿空氣濃度為265 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，與吳[4]較為接近，因此引用吳[4]推估六種VOCs空氣濃度。

從本研究之問卷調查結果發現，雖然7歲以下和65歲以上為高感受族群，但由於7歲以下孩童與65歲以上老人之淋浴頻率較少，尤其是嬰兒時期和行動不便的老人，因此僅以一般族群7-64歲此年齡層推估ELCR。

水中VOCs為多途徑暴露，包括食入、吸入和皮膚吸收。Kuo等人的研究[5]顯示在相同淋浴條件下，經由食入、吸入、皮膚吸收暴露10分鐘和20分鐘時，氯仿劑量分別為7.72、13.19、8.42 (μg)；7.72、43.06、16.85 (μg)，顯示吸入與皮膚吸收劑量隨著時間增加至2-3倍，以吸入為主要暴露途徑。本研究僅推算淋浴所引起的吸入性風險，然而隨著我國生活水準提升，民眾泡澡有增加的趨勢且按摩浴缸產生的氣泡揮發，將可能引起皮膚吸收的風險，值得未來進一步研究。

本研究推估國人19-64歲之平均每日呼吸率為12.8 m^3/day ，較美國成人慣用值20 m^3/day 低。衛生署進行2次國人膳食營養狀況調查，於1998-2002年第二次調查6-12歲學童發現男性10歲與女性8歲之熱量攝取率已追上1993-1996年第一次調查之13-15歲族群[9]，可見近年來生活水準之提升可能造成本研究低估呼吸率，建議衛生署應於同一時間調查每一個年齡熱量攝取率，建立更完善的國人數據，以減少推算呼吸率的不確定性。此外，Layton [7]呼吸率公式H與VQ之推估，乃針對美國一般民眾，是否適用於國人仍有不確定性。

現有的風險推估模式，終身增加之致癌風險值為斜率係數乘以終身平均每日暴露劑量，但吸入單位風險經單位轉換後，於公式中的呼吸率與體重皆被消去，產生數學模式的不確定性。

本研究探討中部地區一般民眾淋浴時吸入六種VOCs的終身增加之致癌風險，雙年齡層與單年齡層之終身致癌風險推估結果差異極微，均為可接受風險範圍(10^{-6} - 10^{-4})。但若將年齡層進一步

細分，理論上應可利用更準確之生理參數值，獲得更可信賴的風險值。本研究進行敏感度分析目的為瞭解各參數的相對重要性，以針對影響較大的參數，投入較多的資源，以降低暴露風險，分析結果得知，最主要參數為暴露時間，降低風險措施為縮短淋浴時間；次要參數為空氣中VOCs濃度，降低風險措施應於淋浴時保持浴室通風或加裝全戶水處理系統等。最後，建立民眾正確的風險認知是重要的，建議利用本研究研擬之風險特性化表，作為政府或媒體進行風險溝通的標準格式。

致謝

承蒙國科會大專生參與專題計畫編號NSC94-2815-C-039-007-B與中國醫藥大學專題計畫編號CMU94-170之經費補助。感謝95名受訪者配合進行暴露問卷調查。

參考文獻

1. 李宗佑。洗澡洗出癌症來。中國時報，第13版，2002。
2. 行政院環境保護署。飲用水水質標準，台北市，2005。
3. Environmental Protection Agency. Database from integrated risk information system (IRIS). Washington D.C., 2005.
4. 吳婉玲。淋浴期間飲用水中揮發性致癌物質吸入性健康風險評估。中國醫藥學院環境醫學研究所碩士論文，台中市，2002。
5. Kuo HW, Chiang TF, Lo II, et al. Estimates of cancer risk from chloroform exposure during showering in Taiwan. *Sci Total Environ* 1998;218:1-7.
6. Lukas Jyuhn-Hsiam Lee, Chan CC, Chung CW, et al. Health risk assessment on residents exposed to chlorinated hydrocarbons contaminated in groundwater of a hazardous waste site. *J Toxicol Environ Health A* 2002;65:219-35.
7. Layton DW. Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments. *Health Phys* 1993;64:23-36.
8. US. Environmental Protection Agency (USEPA). Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance, Standard Default Exposure Factors, 1991.
9. 行政院衛生署。第二次國民營養健康狀況變遷調查，2004。
10. 行政院衛生署國民健康局。健康風險評估指引，2002。
11. 許惠暉。風險評估與風險管理。台北：新文京開發出版股份有限公司，2003;189-217。

12. Paustenbach DJ. Human and Ecological Risk Assessment: Theory and Practice, New York: John Wiley & Sons, 2002:260-1.
13. US. Environmental Protection Agency (USEPA). Guidance for risk characterization, Washington, D.C., 1995.
14. 江舟峰。健康風險分析的程序與不確定分析。中國醫藥大學風險管理學系研究報告，台中市，2004。
15. National Academy of Science (NAS). Improving risk communication. Washington, D.C: National Academy Press, 1989.
16. Kerger BD, Schmidt CE, Paustenbach DJ. Assessment of airborne exposure to trihalomethanes from tap water in residential showers and baths. *Risk Anal* 2000;20: 637-51.
17. 內政統計資訊服務網：我國生命表，<http://www.moi.gov.tw/stat/>。引用2007/05/16。

Health Risk Assessment and Risk Characterization for Residents During Showering in Central Taiwan

Chow-Feng Chiang, Min-Pei Ling, Chia-Yu Lin¹, Pei-Ling Tsai

Health Risk Management, ¹Institute of Environmental Health, China Medical University, Taichung, Taiwan.

Background/Purpose. This study aimed to compare the excess lifetime cancer risk (ELCR) from inhaling 6 types of volatile organic compounds (VOCs) emitted from tap water during showering in two-layered (7-18 and 19-64 years) and one-layered (7-64 years) age groups. A risk characterization form was proposed in this study to solve risk communication problems between government authorities and the public.

Methods. We conducted a questionnaire survey to assess exposure of residents in central Taiwan to VOCs. The concentrations of 6 VOCs in air were obtained from the literature based on the two-film theory and the maximum contamination level (MCL) in drinking water. The inhalation rate was estimated by empirical equations and diet calorie consumption data of Taiwan residents. The cancer slope factors (SF) for 6 VOCs were obtained from USEPA's integrated risk information system (IRIS) database.

Results. The survey showed that the average body weight was 51.2 kg in residents aged ≤ 18 years ($n = 30$) and 62.2 kg in those aged ≥ 19 years ($n = 65$). The average showering time was 11.6 minutes for participants ≤ 18 years and 13.4 minutes for participants ≥ 19 years. The average inhalation rates were estimated to be 12.8 m³/day for adults. The exposure concentrations of 6 VOCs estimated from the two-film theory proposed in the literature ranged from 43.4 to 642 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with chloroform having the highest concentration. The results showed an excess lifetime cancer risk of 65.9 per million population in the two-layered age group and 64.7 per million population in the one-layered age group.

Conclusion. There was little difference in the estimated excess lifetime cancer risk between the two-layered and one-layered age groups. Furthermore, individuals in both groups were within the acceptable risk range of 10^{-6} to 10^{-4} as suggested by the USEPA. Although transforming risk characterization into a standard format is a complicated process, it is feasible and expected to solve the risk communication problem. (*Mid Taiwan J Med* 2008;13:27-34)

Key words

age group, excess lifetime cancer risk, inhalation rate, risk characterization, volatile organic compounds

Received : 16 July 2007.

Revised : 6 September 2007.

Accepted : 8 October 2007.

Address reprint requests to : Chow-Feng Chiang, Health Risk Management, Institute of Environmental Health, China Medical University, 91 Hsueh-Shih Road, Taichung 404, Taiwan.