

# 奈米科技的健康風險管理

鄭尊仁<sup>1,\*</sup> 林宜平<sup>2,3</sup> 雷侑蓁<sup>2,3</sup>

近年來隨著奈米科技的發展，奈米材料可能的健康危害也開始引發關注，為了預防奈米微粒可能產生的健康危害，有需要進行健康風險管理。健康風險管理的基礎是健康風險評估，目前奈米毒理學家認為與健康危害有關的奈米材料主要是游離奈米微粒材質，與這些微粒毒性有關的因子，包括粒徑、表面積、表面特性及形狀等，不過奈米材料毒理研究尚在起步階段，測試的奈米材料也還有限，目前研究顯示奈米微粒進入呼吸道後可引起肺部發炎及纖維化反應，在疾病動物引起血栓。至於劑量反應評估，目前只有極少數資料，比較值得注意的是有些疾病動物比較容易受到奈米微粒影響。奈米微粒可經由呼吸道、皮膚或腸胃道進入人體，不過目前奈米微粒的測量儀器多屬研究用途，暴露評估相關資料很少，所以根據目前的科學證據，仍無法推估奈米微粒之健康風險。英國及歐盟為預防新興科技對人體及環境造成重大危害，在進行奈米科技的初步風險分析之後，即開始調查民眾的風險認知，建議修訂或增添現有的法規，並對奈米科技的健康風險管理提出建議。(台灣衛誌 2006；25(3)：169-176)

關鍵詞：奈米科技、奈米毒理學、健康風險評估、健康風險管理

## 前 言

近年來隨著奈米科技的發展，人造奈米材料應用廣泛。奈米是長度單位，一奈米等於十億分之一公尺，所謂奈米科技是指在奈米尺度下，操控原子、分子，運用奈米尺度表現的特性，開發新的材料、製程，元件與系統的科技。目前奈米科技運用於許多產業，例如材料、量測、光電、資訊、環境整治及生物醫學等[1]。不過動物實驗已經發現，奈米微粒可引起肺部發炎與纖維化反應，而在同樣質量濃度之下，奈米微粒比大粒徑微粒毒性高[2]。因此，奈米材料可

能的健康危害也開始引發關注[3-5]，有關奈米微粒健康效應的研究近年來陸續發表，而「奈米毒理學」(nanotoxicology)也成為職業與環境健康研究領域的重要新議題[2,6]。

本研究利用搜索引擎，並且針對目前主要之奈米研究團隊，收集其相關、引用及被引用論文，再根據健康風險評估之四大步驟，綜合國內外有關奈米微粒毒理之重要研究，進行初步健康風險評估。此外，本文也回顧英國及歐盟有關奈米科技健康風險的報告，並簡介其有關奈米科技健康風險管理的政策建言。

## 奈米微粒健康風險評估

風險評估可分為四大步驟：危害辨識，劑量反應評估，暴露評估及風險推估，以下將針對這四大步驟說明奈米微粒的健康風險。

### 危害辨識

有關奈米微粒健康危害的研究，大多來

<sup>1</sup> 台灣大學職業醫學與工業衛生研究所

<sup>2</sup> 台灣大學公共衛生學系

<sup>3</sup> 台灣大學健康風險及政策評估中心

\*通訊作者：鄭尊仁

聯絡地址：台北市徐州路17號

E-mail: tcheng@ntu.edu.tw

投稿日期：94年8月10日

接受日期：95年3月28日

自空氣污染微粒的研究，這些微粒主要是燃燒的產物。流行病學[7,8]與毒理學[9,10]研究顯示，小粒徑顆粒可能造成較大的毒性，這些毒性主要發生在呼吸道與心血管系統。近年也有研究顯示，奈米微粒可能經呼吸道進入中樞神經系統，造成發炎反應[11]。不過，人造奈米微粒與空氣污染微粒的物理化學特性並不完全一致，其健康危害可能也不一樣，有關人造奈米微粒的危害需要進一步的研究，提供健康風險評估參考。

有關人造奈米微粒的毒性研究，尚在起步階段，目前並無病例報告及流行病學研究，所以奈米毒性研究必須仰賴實驗室的研究。有關奈米研究之綜論文章為數不多，請參閱參考文獻[2,12-14]，目前相關研究僅限於幾種材質，包括碳黑、二氧化鈦、聚苯乙烯、氧化鋅及奈米碳管等。英國與美國的動物實驗研究顯示，在同質量濃度下，奈米微粒相較與大粒徑微粒，產生較大的呼吸道毒性，這些毒性與微粒總表面積有關[10,12]。除了表面積，近來有研究指出經過處理的微粒毒性表現不同，有胺基的奈米微粒較有羧基的奈米微粒引起的肺部發炎毒性高[12]。另外也有研究指出，二氧化鈦經表面處理後，水溶性增高，肺部發炎反應降低[12]。除了表面積及表面特性，還有其它物理化學特性可能與奈米毒性有關，需要進一步研究[1]。

奈米微粒經由呼吸道吸入後，除了引起肺部發炎反應之外，最新的研究指出，暴露奈米碳黑微粒於過敏小鼠，可能引起明顯的免疫相關反應[15]。此外，最近的動物實驗及人類暴露研究也發現，奈米微粒經由呼吸或是氣管灌注後，可以穿透肺部間質，直接進入循環系統及其他器官[16,17]。比利時的科學家將惰性聚苯乙烯奈米微粒直接注入實驗動物的氣管中，發現除了呼吸道發炎反應之外，也發現實驗動物的血管有血栓形成[18]，顯示奈米微粒可以穿過呼吸道進入血液，並且在身體其他系統引發健康危害。除了這些非癌症毒性，長期低劑量的奈米微粒暴露是否引起癌症，目前並不清楚。

此外，隨著奈米科技的蓬勃發展，不同

特性的奈米材質陸續開發用，以因應不同功能及需要，這些新興奈米材質的毒性也都需要進一步檢驗。有關新興奈米材質毒性的研究，特別是奈米碳管的毒性值得注意，由於奈米碳管的直徑是奈米尺寸，但是其長度可達微米，類似石棉纖維，其健康危害值得進一步探討[19]。

最近研究發現以多壁奈米碳管(multi-walled carbon nanotube, MWCNT)暴露人類上皮角質細胞(epidermal keratinocyte)，發現奈米微粒可快速進入細胞，同時引起發炎反應[20]。在動物實驗方面，以杜邦(DuPont)公司為主要的研究群，使用含鎳及鈷的單壁奈米碳管(single-walled carbon nanotube, SWCNT, 30nm)注入實驗大鼠的氣管(1-5mg/kg)，觀察其暴露三個月後的變化，結果發現部分動物肺部出現肉芽腫(granuloma)，然而並沒有清楚的劑量反應關係[21]。同時，另一組以美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)為首的研究團隊，利用萊斯大學(Rice University)及CarboLex公司生產的不同成分組成的單壁奈米碳管進行研究，以氣管灌注的方式暴露實驗小鼠(0.1-0.5 mg/隻)，90天之後發現奈米碳管會造成肉芽腫的發生，並有劑量反應關係[22]。最近的研究報告進一步指出以咽部吸入方式將小鼠暴露單壁奈米碳管，發現在較低的劑量(20-40  $\mu\text{g}/\text{隻}$ )就可引起肉芽腫及間質組織纖維化，同一研究也發現奈米碳管暴露會引起肺功能異常與排除細菌能力降低[23]。

奈米微粒除了進入呼吸道造成呼吸道疾病，也可能使用於化妝品，影響皮膚，或是經由皮膚吸收進入人體，不過這方面的健康效應並不清楚，有待進一步研究[2]。

#### 劑量反應評估

目前奈米微粒劑量反應評估資料有限，除了急性毒性之外，針對長期低濃度的奈米微粒暴露效應，需要亞急性與慢性毒性的資料。杜邦實驗室曾針對奈米粒徑 $\sim 10\text{nm}$ 的二氧化鈦的長期暴露，使用不同小動物進行研究，發現經過13星期的微粒暴露，高劑量組在第52星期時可觀察到大鼠肺部有纖維化反應，

不過在其他兩種動物的反應較不明顯[24]。另外，也有報告指出各種微粒長期暴露可引起動物肺部腫瘤，而且與其表面積有相關[25]。許多研究指出奈米微粒有聚集或凝聚的現象，其健康效應與傳統使用的質量濃度相關較小，而與顆粒濃度或表面積濃度相關較大，為了進一步瞭解奈米微粒劑量反應關係，除了針對更多奈米材質進行研究，也需發展新的劑量反應風險評估方式。

有關易感性族群的奈米微粒毒性，是風險評估重要資料，研究顯示相較於健康動物，在肺部敏感的肺高血壓大鼠中，聚苯乙烯奈米微粒(材質)在較低濃度下，可造成肺部發炎及傷害，研究同時也發現，微粒會造成氧化壓力的增加，這些肺部發炎與氧化壓力的表現都與微粒總表面積有關[26]。

除了探討呼吸道毒性易感性，同一研究團隊也以糖尿病大鼠為心血管疾病動物模式進行實驗，結果發現暴露於奈米碳黑會造成糖尿病大鼠血漿氧化壓力指標8-hydroxydeoxyguanosine (8-OHdG)的增加，以及血管內皮細胞功能的異常，包括內皮素(endothelin-1)的增加，以及血漿一氧化氮的下降。這些變化可能造成血管局部收縮，增加心血管疾病發生的危險性，不過在同一實驗中，正常的健康動物暴露於奈米微粒後，並未觀察到類似變化[26]。這些結果顯示，奈米微粒在有疾病的動物身上比較容易造成危害，事實上，大氣微粒的流行病學及毒理研究上也有類似的發現[27]。

### 暴露評估

隨著奈米材質的廣泛使用，我們有許多機會可能暴露於奈米微粒，比較重要的暴露途徑為製造過程中所產生的呼吸暴露，以及化妝品的皮膚接觸，不過真正的暴露劑量多不清楚，還有待更多的暴露評估研究進一步釐清。2004年初，首次有研究報告奈米碳管的初步暴露評估[28]，該報告以不同製程產生的奈米碳管，進行個人空氣採樣、環境採樣及手套樣本收集，分析個別製程中奈米碳管的粒徑分佈、金屬含量(鐵與鎳)，並推

估總暴露濃度。結果顯示，製程中沒有完全沈降的奈米碳管會以微粒的型態釋放到空氣中，而空氣中的濃度相當低(低於 $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，沈積在手套的奈米碳管則在0.2 mg到6.0 mg之間。不論是空氣或是手套樣本的分析，不同實驗室之間的濃度變化、粒徑分佈、金屬含量也相當不一致，可見奈米材質的特性會隨著製程而有顯著的改變，因此在毒性評估上要特別注意。

暴露評估需要適當的儀器設備，傳統空氣中危害物質的標準測量方法為質量濃度，但是奈米範圍的測量，可能需要測量顆粒濃度，甚至更能反映毒性的表面積濃度。目前這類儀器多只限於研究用途，適合進行奈米微粒暴露評估之儀器設備仍有待開發。

### 風險推估

有關奈米材料健康風險的推估，目前並無定論。雖然奈米毒性探討已有一些資料，但只針對幾項特定材質，奈米材質是否都經由上述毒理機制，目前並不清楚。由於同樣材質在奈米粒徑與大粒徑時的毒性不一樣，我們需要針對每一項奈米材料進行研究，建立各項奈米材質的基本毒理資料。至於劑量反應評估，與暴露評估也都有待更多的研究證據。

## 奈米科技的健康風險管理與溝通

雖然奈米科技的健康風險目前仍無定論，但是已有許多相關產品進入消費市場，為保障人民健康並避免造成對環境的重大危害，奈米科技的健康風險管理與溝通，需儘早開始[1]。英國與歐盟在歷經基因改造食品與狂牛症所引發的風險爭議之後，為避免引發民眾恐慌，面對奈米科技的新興健康風險，在進行初步風險分析之後，即提出奈米科技健康風險管理方案，並著手調查一般民眾與利益相關者的風險認知，提早進行奈米科技健康風險溝通。

英國與歐盟有關奈米科技健康風險的報告



奈米科技的健康與環境危害不但是近年來英國及歐盟等國的政府關切的重要議題，並且已有加拿大的環保團體，密切關注奈米科技對環境與生態的可能影響[29]。

根據英國的媒體報導[30]，長期關切環保議題的查理王子，或是受環保團體與科幻小說「奈米獵殺」(Prey)的影響，曾經多次公開發表談話，關切奈米科技的新興風險。英國的科學與創新部長(Minister for Science and Innovation) Lord Sainsbury，除了設法為這種缺乏科學證據的「奈米恐慌」(nano-nonsense)降溫之外[31]，也於2003年6月委託皇家學會(Royal Society)與皇家工程科學院(Royal Academy of Engineering)執行一項獨立研究，探討奈米科學與科技的「機會與不確定性」(opportunities and uncertainties)[1]。這項研究由具科學與工程訓練，但本身並未從事奈米相關研究的劍橋大學教授Dowling主持，正式的研究報告於2004年7月發表。這份報告指出[1]，奈米科技可能對人類社會帶來各種利益，但是其發展必須接受安全評估的規範及指引，將其對人類及環境可能帶來的風險降至最低。

英國皇家學會與皇家工程科學院在其報告書中[1]，針對奈米科技的風險，由奈米科技的產業應用、對健康、安全與環境可能的負面影響、法規議題、社會與倫理議題、利益相關者及公眾對話，以及確保負責任的奈米科技發展等六大層面，提出21點建議。英國政府已於2005年2月正式回應這份研究報告的各項建議[32]，詳細說明目前英國政府對奈米科技風險管理的各項因應措施。

此外，歐盟的健康及消費者保護執委會(European Commission's Health and Consumer Protection Directorate General)，也於2004年3月舉辦工作坊，邀請17位跨領域的專家進行奈米科技的初步風險分析[33]，與會的專家都同意，雖然奈米微粒的風險目前還缺乏確切的科學證據，但是奈米材料可能潛在危害，而且無法以目前大家熟知的大粒徑材質毒性評估，建議進行毒理及暴露評估等健康風險評估研究，並提早制訂政策進行風險管理。

## 管理奈米科技健康風險的政策方案

在歐盟的奈米科技健康風險的工作坊中[33]，與會專家討論管理奈米科技的政策方案包括：(一)採取放任態度；(二)頒佈法令，延緩奈米科技的研發與商品化；(三)仰賴科技產業的自主管理；(四)針對奈米科技制訂完整深入的新法規；(五)修訂或增添現有法規，如有害物管制條例、分類與標示，以及化妝品管制等。與會專家認為[33]，第一至四項政策方案，目前都不可行：無法自由放任，因為已有奈米微粒健康危害的毒理學初步證據，而民眾對新興科技的人體與環境危害又採高標準檢視；無法延緩奈米科技的發展，因為有許多消費者產品已經進入市場；之前已經有經驗顯示，健康危害無法仰賴產業的自主管理；而重新訂定管制奈米科技的新法規，則是過程大過繁複。歐盟的專家會議認為目前唯一可行的政策方案是修訂現有法規，以管制奈米科技的健康危害[33]。該工作坊並且擬定12項管理奈米科技健康風險的專家建言(表一)，其中包括最基本的奈米材料命名與編號、支持科學研究、發展測量工具、設立獨立的國際監測機構、建立與社會大眾及產業的對話，以及圍堵游離的人造奈米微粒，與盡量去除或減少游離奈米微粒的製造於釋放等。

## 民眾對奈米科技的風險認知

英國皇家學會的民意調查發現[1,34]，雖然科技專家與政府對奈米科技的風險管理已有初步共識，但一般民眾對「奈米」仍然十分陌生，以英國為例，有29%的民眾不知道奈米是什麼，只有19%的民眾可以簡單定義奈米(其中還有許多是錯誤的)。

此外，歐盟的奈米論壇(Nanoforum)也於2004年5月針對歐盟對奈米科技的發展策略，舉行公開的意見調查[35]，在720名受訪者中，包括研究工作者(39%)、管理者(29%)、專家(13%)與記者(12%)等，有三分之一的受訪者來自歐盟對奈米科技投資最多的德國與英國。這項調查涵蓋奈米科技發展的許多層面，多數受訪者(75%)同意歐盟應

表一 歐盟對奈米科技健康風險管理的12項建議

1. 統一人造奈米材料的命名。
2. 給予人造奈米微粒統一的化學文摘(Cheical Abstract Service, CAS)資料庫編號，配合新的編號需有新的毒理學測試，以及新的物質安全資料表(Material Safety Data Sheet, MSDS)。
3. 支持科學研究，收集風險分析所需的資料，包括毒理與生態毒理研究、暴露評估、劑量反應關係，以及奈米微粒在環境之流佈。
4. 發展測量工具。
5. 發展標準化的風險評估方法。
6. 根據風險評估的結果，倡導良好的作業方式，如穿戴口罩、手套及防護衣等，保障人體與環境的健康與安全。
7. 設立獨立的國際機構監測奈米科技的發展，建立人造奈米材料的實驗室與工業生產標準。
8. 建立與社會大眾及產業的對話管道，保障社會大眾及產業參與奈米科技發展的決策過程。
9. 建立風險評估、生產與加工以及產品上市的指引及基準。
10. 考量奈米科技的特性，重新評估及修訂各項產品規範。生產及進口之奈米材料成品與半成品，都需登記其物理、化學、毒理及生態毒理學特性。
11. 盡量圍堵游離的人造奈米微粒。
12. 盡量去除或減少游離奈米微粒的製造與釋放。

資料來源：節譯自：[33], p24-27

重視奈米科技的健康風險以及其對環境的影響，而與一般民眾的溝通及對話也需儘早開始。在有關公共衛生、安全、環境與消費者保護方面，受訪者的意見十分一致，有75%的受訪者認為，奈米科技的健康風險評估需在科技研發過程中就開始進行，在奈米科技的可能危害中，大家最關切的是人體暴露(72%)，其次則是環境暴露(65%)。

## 結 論

隨著奈米材料在商業應用逐漸增加，奈米材料是否會引起健康危害，及其預防及管理已引起廣泛注意。目前奈米毒理學的研究發現[1]，與健康風險有關的奈米材料主要是游離奈米微粒材質，其來源可能是奈米製程，釋放到環境的奈米材料廢棄物，以及奈米材料消費產品等，這些游離之奈米微粒可經由呼吸道、皮膚或腸胃道進入人體。

根據歐盟的報告[36]，目前投資奈米科技最多的國家除了美國、歐盟及日本之外，居首的是韓國，其次則是台灣與中國並列。台灣實有必要在發展奈米科技產業的同時，儘早開始進行奈米科技之健康風險評估、管理及溝通。

## 致 謝

本文部分內容曾發表於環境保護署科技顧問室與工研院環安中心主辦之「推動負責任奈米科技相關議題論壇」(2005年7月14日)；以及奈米國家型科技計畫辦公室、環境保護署、衛生署，與勞委會共同舉辦之「環境、健康與安全議題」研討會(2005年7月19日)。本文回顧之部分研究結果為歷年國科會補助計畫(NSC92-2621-Z-002-014，NSC93-2621-Z-002-004，NSC93-2320-B-002-067)研究成果；兩位研究人員林宜平與雷侑蓁，目前接受行政院衛生署國民健康局委託計畫「健康風險及政策評估中心」(DOH94-HP-1801)經費支持，謹此致謝。

## 參考文獻

1. The Royal Society and the Royal Academy of Engineering. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>
2. Oberdörster G, Oberdörster E, Oberdörster J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. Environ Health

- Perspect 2005;**113**:823-39.
3. Service RF. Nanotechnology grows up. *Science* 2004;**304**:1732-4.
  4. Dreher KL. Health and environmental impact of nanotechnology: toxicological assessment of manufactured nanoparticles. *Toxicol Sci* 2004;**77**:3-5.
  5. Kipen HM, Laskin DL. Smaller is not always better: nanotechnology yields nanotoxicology. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2005;**289**:L696-7.
  6. Donaldson K, Stone V, Tran CL, Kreyling W, Borm PJ. Nanotoxicology. *Occup Environ Med* 2004;**61**:727-8.
  7. Peters A, Wichmann HE, Tuch T, Heinrich J, Heyder J. Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;**155**:1376-83.
  8. Wichmann HE, Spix C, Tuch T, et al. Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany. Part I: role of particle number and particle mass. *Res Rep Health Eff Inst.* 2000;**98**:5-86; disc 87-94.
  9. Brown DM, Stone V, Findlay P, MacNee W, Donaldson K. Increased inflammation and intracellular calcium caused by ultrafine carbon black is independent of transition metals or other soluble components. *Occup Environ Med* 2000;**57**:685-91.
  10. Brown DM, Wilson MR, MacNee W, Stone V, Donaldson K. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particle: a role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicol Appl Pharmacol* 2001;**175**:191-9.
  11. Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, et al. Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhal Toxicol* 2004;**16**:437-45.
  12. Oberdörster G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *Int Arch Occup Environ Health* 2001;**74**:1-8.
  13. Donaldson K, Brown D, Clouter A, et al. The pulmonary toxicology of ultrafine particles. *J Aerosol Med* 2002;**15**:213-20.
  14. Kreyling WG, Semmler M, Möller W. Dosimetry and toxicology of ultrafine particles. *J Aerosol Med* 2004;**17**:140-52.
  15. de Haar C, Hassing I, Bol M, Bleumink R, Pieters R. Ultrafine carbon black particles cause early airway inflammation and have adjuvant activity in a mouse allergic airway disease model. *Toxicol Sci* 2005;**87**:409-18.
  16. Nemmar A, Hoet PHM, Vanquickenborne B, et al. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation* 2002;**105**:411-4.
  17. Oberdörster G, Sharp Z, Atudorei V, et al. Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following whole-body inhalation exposure of rats. *J Toxicol Environ Health Part A* 2002;**65**:1531-43.
  18. Nemmar A, Hoylaerts MF, Hoet PH, et al. Ultrafine particles affect experimental thrombosis in an in vivo hamster model. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;**166**:998-1004.
  19. Seaton A, Donaldson K. Nanoscience, nanotoxicology, and the need to think small. *Lancet* 2005;**365**:923-4.
  20. Monteiro-Riviere NA, Nemanich RJ, Inman AO, Wang YY, Riviere JE. Multi-walled carbon nanotube interactions with human epidermal keratinocytes. *Toxicol Lett* 2005;**155**:377-84.
  21. Warheit DB, Laurence BR, Reed KL, Roach DH, Reynolds GAM, Webb TR. Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *Toxicol Sci* 2004;**77**:117-25.
  22. Lam CW, James JT, McCluskey R, Hunter RL. Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. *Toxicol Sci* 2004;**77**:126-34.
  23. Shvedova AA, Kisin ER, Mercer R, et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2005;**289**:L698-708.
  24. Bermudez E, Asgharian B, Mangum JB, et al. Pulmonary responses of mice, rats, and hamsters to subchronic inhalation of ultrafine titanium dioxide particles. *Toxicol Sci* 2004;**77**:347-57.
  25. Driscoll KE. Role of inflammation in the development of rat lung tumors in response to chronic particle exposure. *Inhal Toxicol* 1996;**8**(suppl):139-53.
  26. 雷侑蓁：空氣懸浮微粒心肺毒性研究。台北：台灣大學職業醫學與工業衛生研究所博士論文，2005。
  27. Brook RD, Franklin B, Cascio W, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circulation* 2004;**109**:2655-71.
  28. Maynard AD, Baron PA, Foley M, Shvedova A, Kisin ER, Castranova V. Exposure to carbon nanotube material: aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material. *J Toxicol Environ Health Part A* 2004;**67**:87-107.
  29. Action Group on Erosion, Technology and Concentration (ETC Group). The Big Down. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: <http://www.etcgroup.org/documents/TheBigDown.pdf>
  30. BBC News. Prince warns of science "risks". 2004/7/11. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL:

- <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2982133.stm>
31. BBC News. Sainsbury cool on “nano-nonsense”. 2003/4/28. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/2982133.stm>
  32. Office of Science and Technology. Response to the Royal Society and Royal Academy Report: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: [http://www.ost.gov.uk/policy/issues/nanotech\\_final.pdf](http://www.ost.gov.uk/policy/issues/nanotech_final.pdf)
  33. European Commission. Nanotechnologies: a preliminary risk analysis on the basis of a workshop organized in Brussels on 1–2 March 2004 by the Health and Consumer Protection Directorate General of the European Commission. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: [http://europa.eu.int/comm/health/ph\\_risk/events\\_risk\\_en.htm](http://europa.eu.int/comm/health/ph_risk/events_risk_en.htm)
  34. BBC News. Tiny science is lost on UK public. 2004/3/15. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/3513382.stm>
  35. Nanoforum. Outcome of the open consultation the European strategy for nanotechnology. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: <http://www.nanoforum.org/dateien/temp/nanosurvey6.pdf>
  36. European Commission. Towards a European strategy for nanotechnology. (cited 2005 Jul 4). Available from: URL: [http://europa.eu.int/comm/research/industrial\\_technologies/pdf/nanotechnology\\_communication\\_en.pdf](http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/pdf/nanotechnology_communication_en.pdf)

## Health risk management of nanotechnologies

TSUN-JEN CHENG<sup>1,\*</sup>, YI-PING LIN<sup>2,3</sup>, YU-CHEN LEI<sup>2,3</sup>

With the advent of nanotechnologies, potential health hazards of nanoparticles have raised great concern. To prevent the potential hazards of new materials, health risk management of nanotechnologies is necessary. Health risk assessment is the basis of risk management. Currently, nanotoxicologists agree that it is the free nanomaterials that may cause health hazards, and the factors associated with hazards are its size, surface area, coating and shape. However, the toxicity studies of nanoparticles are limited on few materials. Studies have shown that nanoparticles can cause lung inflammation and fibrosis, and thrombosis in diseased animals. The dose-response relationship for nanoparticles is not clear. However, it is noted that diseased animals are more susceptible to nanoparticle exposure. Nanoparticles may enter human bodies through inhalation, ingestion and skin penetration. Because of the lack of portable measurement instruments, the data on exposure assessment remain limited. Thus, based on our current knowledge, it is not possible to draw a conclusion on risk characterization on nanoparticles. Further, we review the risk analysis reports from the United Kingdom and the European Commission. In order to manage the risk of nanotechnologies, they suggest launching an incremental process using existing legislative structures. (*Taiwan J Public Health*. 2006;25(3):169-176)

**Key Words:** *Nanotechnologies, Nanotoxicology, Health Risk Assessment, Health Risk Management*

---

<sup>1</sup> Institute of Occupational Medicine and Industrial Hygiene, College of Public Health, National Taiwan University, No. 17, Xu-Zhou Road, 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> Center for Health Risk Assessment and Policy, College of Public Health, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

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

Received: Aug 10, 2005 Accepted: Mar 28, 2006

