

SE 墜飾放射線學調查

SE 墜飾放射線學調查

2009 年 11 月

出自

Alan Fellman, Ph.D., C.H.P
Dade Moeller & Associate, Inc.
438 North Frederick Avenue
Suite 220
Gaithersburg, MD 20877

放射線學調查

目錄

I.	介紹	1
II.	調查	1
	劑量率測量	1
	表面的放射能	2
	材料採樣/同位素的分析	4
III.	結果和討論	4
	劑量率測量	4
	表面的放射能	5
	材料採樣	6
IV.	自然的背景輻射	7
V.	在消費者產品中的放射性內容	7
	在消費者產品中的自然放射能	8
	在消費者產品中的人造放射能	8
VI.	輻射對健康的影響，放射量測定和風險	9
VII.	放射性物質負面分析	11
VIII.	總結	13
	表 1 - 劑量率測量	15
	表 2 - 同位素的分析	16
	表 3 - Gamma Spec 結果	17
	附錄 A - 分析報告例子	18
	附錄 B - 鈷，輻射和我的健康	20

SE 墜飾放射線學調查

I. 介紹

這份文件由 Dr. Alan Fellman, 一位被認證的健康物理學家（輻射安全專業人士）和來自 Gaithsburg, 馬里蘭的 Dade Moeller 與夥伴一同準備, 以提供有關 SE 墜飾所發射的自然放射能的相關資料。Dr. Alan Fellman 擁有超過 20 年的健康物理學經驗。他曾在受放射性材料污染的若干超基金地點工作（非活躍危險廢棄地點）包括在紐約 Glen Cove 的 Li Tungsten/Captain Cove, 在坎登的 Welsbach/General 氣體外套, New Jersey 的 Gloucester, 和 New Jersey Maywood 的 Maywood 化學的地點。以上地點的主要污染物是鈾和其腐敗物。他負責為這些專案設計和執行補救性的調查/可行性研究以及執行用於所有地點活動期間的輻射安全計畫。他也在 Orange, New Jersey, 的美國鐳地點（主要的污染物為鐳和鈾）執行類似的服務, 以及在描繪出現受技術強化天然放射性材料污染的油和天然氣生產設施方面有極佳的經驗。

依據他的經驗和訓練, Dr. Fellman 擁有自然放射能的廣泛瞭解和非常有資格解決關於 SE 墜飾內含的各種放射性材料所潛在的問題。SE 墜飾是由來自日本和南非洲的提取礦石製造而成。因為這墜飾由天然地質材料組成, 所以它也有自然的放射能。這是不可避免的, 地球上的所有土壤和石頭都有可測量水平的鈾, 鈾, 鈾和鈾的腐敗物和放射性的鉀¹。因為放射能在環境裡是普遍存在的, 所以所有生物都有放射能和不斷暴露於輻射。

這項調查的目標是識別 SE 墜飾內的放射性材料, 定量其放射能水平和評估墜飾發出的輻射的潛在風險。

II. 調查 劑量率測量

以一個迷你智能離子工具（序號 E0001488, 校準日期 2009 年 2 月 13 日）採取劑量率度量。離子室和 1 枚 SE 墜飾從不同的距離接觸。離子室是直接提供測量率工具, 專為低點至中等輻射水平準確劑量率測量而設計。不受離散輻射影響的地區“背景”資料也被收集。

表面的放射能

表面放射能是指一個物件表面的放射性的材料。表面放射能分兩類。固定活動指依附在表面的放射性材料，屬物件的一部分。碰觸固定材料或在固定材料上步行不會導致污染擴散到另一個物件或人。因此，食入，吸入或擴散此材料不會引致危險。固定污染可導致的唯一危險是由於外部輻射暴露。

可移活動指能輕易被轉移至接觸物的放射性材料。例如，與 SE 墜飾接觸之後，任何能輕易被轉移到一個人的皮膚或服裝的放射性材料就屬可移放射能。因為可移活動可能進入身體，它通常被公認為比固定活動更危險。

表面放射能可被兩種方法監視。用於探測放射性材料的存在的輻射測量器對測試物體表面的固定和可移活動都會有反應。Geiger Mueller (GM) 測量器是一個經常用於監視多種放射性材料的設備。很多包括鈾和鈾的放射性材料都能輕易地以 GM 偵測。表面放射能的量或程度對能不能造成危險狀況並不重要。只有物體發出的放射能劑量功能和可移輻射活動才具有危險性。

第二監視方法為可移活動特設的，其中採樣步驟為摩擦含任何可移放射性材料的物件以撿起其表面的可移放射性材料。目的是決定放射性材料是否可以透過碰觸或摩擦被污染的表面，被轉移到手或衣物然後再從食入或吸入的途徑轉移至體內。有不同的採樣材料可用，例如棉花棒 (Q Tips)，3/4 英寸直徑的過濾紙或小正方形的寶麗隆。

在收集可移放射性材料的樣本之後，採樣棒會被一個稱為液體發光櫃檯 (LSC) 的實驗室器材分析。LSC 是一個很敏感的器材，有能力確定任何自然放射性材料的存在。LSC 分析鑑定被採樣媒介撿起或被轉移到採樣媒介的放射能量。這放射能度量結果以每分鐘瓦解單位 (dpm) 計算。dpm 測量和說明放射性原子腐敗所產生的輻射率如 Gamma 射線率，Alpha 或 Beta 微粒。

¹ 輻射保護和測量國家理事會：離子化輻射暴露人口報告數字，NCRP 報告編號 160 ;2009 年 3 月

SE 墜飾放射線學調查

在位于 Gaithsburg, 馬里蘭的 Dade Moeller 實驗室會透過使用過濾紙採樣法（摩擦整個墜飾表面），對 12 枚 SE 墜飾以 LSC 做出可移表面活動的分析化驗。第 1-6 的墜飾，採樣時墜飾表面是干的，第 7-9 的墜飾被採樣前則被浸泡於自來水中大約 10 分鐘，而第 10-12 的墜飾被採樣前被浸泡於鹹水中（一茶匙鹽溶解於六盎司的水）大約 10 分鐘（以代表墜飾被出汗的人佩戴）。

材料採樣/同位素的分析

收集測試劑量率和採樣後，12 枚 SE 墜飾被送去查爾斯頓，SC 的 GEL 實驗室以作同位素的分析。每枚墜飾被磨成細粉然後以超純鍺探測器（分析技術 DOE HASL 300.4.5.2.3）作 Gamma spectra 分析。這技術能識別和測量發出 Gamma 射線的任何放射性同位元素的存在，例如放射性鉀（K-40）。每件墜飾也會被透過放射化學分離和 alpha spectrometry（個別分析的技術為 DOH HASL 300 U-02-RC Mod 和 300 Th-01-RC Mod，地）的方式以測試其同位素鈾（U-223, 234, 235, 238）和同位素釷（Th-228, 230, 232）。鈾和釷存在於整個地球的外殼，因此其中一些以上放射性同位元素一定也會存在於墜飾。

III. 結果和討論

劑量率測量

測量結果在 Gaithsburg, 馬里蘭的 Dade Moeller 辦公室裏被聚集。背景輻射劑量率預定於每小時平均 0.04-0.06 微 sieverts ($\mu\text{Sv/h}$)。每枚墜飾的劑量率在被碰觸 5 釐米和 10 釐米的距離被測量。資料提供於表 1。

資料顯示劑量率反映出墜飾含自然放射能（以下說明），被碰觸之暴露率為 0.1-0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 。從 5 釐米和 10 釐米距離的墜飾劑量率和背景劑量率沒能被區分。這些調查結果雖然有點少於最近被韓國原子能源研究學院報告的 0.28 + 0.051 $\mu\text{Sv/h}$ （墜飾表面）但非常靠近。

SE 墜飾放射線學調查

經觀察，碰觸墜飾的最大劑量率少於在世界一些部分的自然背景輻射，包括科羅拉多的 Denver 地區。此地區的輻射劑量率來自陸地和宇宙，結合產生 0.2 μ Sv/h 或更高²。如包括其他來源（吸入氡，內部的發射，人造和醫藥的來源），在這個區域的居民平均暴露大於 0.4 μ Sv/h。此外，以上所謂的背景劑量率是指整個身體的暴露，包括體內的器官，而由於墜飾表面體積為少於 15cm²，只構成佩戴它的人的全部身體的一小部分，所以它的劑量率不可能統一標準地射入體內的器官。

另一劑量率測量以在四枚墜飾環繞的測量器取得。每枚置放大約距離測量器基 30 釐米的所有四個角落。在這樣設定中，墜飾的劑量率和背景的劑量率不能被區分。

表面的放射能

在美國協議州代理機構 (US., Agreement State Agencies) 和美國核子管制委員會 (US., Nuclear Regulatory) (NRC) 為認為不受限制用處的放射材料的表面活動擬定限量。例如，NRC 管制指引 1.86 條擬定以下可接受可移表面活動的水平：

- 自然的鈾和其腐敗產品 - 10dpm/cm²
- 自然的鈾和其腐敗產品 - 2dpm/cm²

墜飾的表面體積有大約 12.5 釐米；因此依據以上的 NRC 限量，每枚墜飾（一邊表面）的總可移鈾和鈾量限於：

- 鈾 - 125dpm
- 鈾 - 25dpm

美國國立標準機構/健康醫學協會發表了 ANSI/HPS N13.12-1999，表面和大量放射能標準。此標準為 60 dpm/cm²（相等於每枚墜飾一邊表面的 750dpm）和 6dpm/cm²（相等於每枚墜飾一邊表面的 75dpm）作為對個別包含鈾和鈾的東西的標準。換句話說，遵從這些限制的話，這東西是沒問題的，而且不受控制。（注意，ANSI/HPS 文件適用於受控制材料和得到許可操作期間的設備。這份文件只供用於比較，因為在墜飾中的材料是不受管制的，原因是所包含的放射性材料屬天然）。

²輻射保護和測量國家理事會；離子化輻射暴露人口報告數字，NCRP 報告編號 160；2009 年 3 月

SE 墜飾放射線學調查

附件 A 提供對從所採集樣本的可移活動分析報告。採樣結果發現 12 枚墜飾當中沒有任何一枚有可偵測的放射能水平。這意味著依據 NRC 指導和 ANSI/HPS 標準，枚墜的表面放射能沒超出水平，適合公眾人士使用。沒有可移表面放射能意味著佩帶墜飾或與完整無缺的 SE 墜飾接觸時，任何和 SE 墜飾有關的放射性材料是不可能進入人體的。

材料採樣

同位素铀和鈾的数据列於表 2 中。Gamma spectrometry 的分析結果列於表 3 中。ANSI/HPS N13.12-1999 擬定 3pCi/g (或 111Bq/kg) 和 30pCi/g (或 1,110Bq/kg) 作為包含铀和鈾的東西的個別適當容量體積測試水平。猶如上面被提及的表面測試水平，如沒超出這些水平就意味著某個東西是沒問題的而且適合大眾的使用。(這部分待實驗室提供數據后完成)

IV. 自然的背景輻射

國家輻射保護和測量理事會(NCRP)最近更新公眾從自然和人造輻射所得劑量的估計(NCRP 報告 160, 2009)。居住於美國的人，蒙受源自自然背景的離子化輻射的平均有效劑量(整個身體輻射劑量是每年 6.2mSv (等於 6.200 μ Sv)，或只是稍微少於每天 0.02mSv (等於 20 μ Sv)。大約總數的一半以自然源頭為主；這些包括陸地輻射(在地面的天然放射性材料，例如 SE 墜飾所含的)，宇宙輻射，吸入氡的腐敗物和體內的輻射(源自我們身體中的放射性材料)。雖然消費者產品中的放射性材料也對總數作出貢獻但另外一半的平均有效劑量主要是來自輻射和藥中放射性材料的廣泛使用。

宇宙和陸地輻射的劑量率變動很大。例如，由於其海拔非常高以及鈾和鈾大量出現於此區域的自然地質和石頭，所以科羅拉多，Denver 的居民，大約暴露於比一個其他美國人平均 1mSv (1,000 μ Sv) 更多的劑量，和比住在低背景輻射地區例如美國東南部的人多出 1.5 mSv (1.5 μ Sv)。飛行導致乘客和空中服務人員暴露於大約每小時 0.005mSv (5 μ Sv) 的輻射。這是因為巡航高處由宇宙輻射提高所致。因此，一次出國來回飛行(10 小時飛行時間)將使人大約暴露於額外

SE 墜飾放射線學調查

0.05mSv (50 μ Sv)。從未有任何研究顯示輻射引發的健康問題的發生率和高水平背景輻射之間的關係。事實上，在美國，其中一個癌症發生率最低的域區為高輻射劑的多岩石山區³。

V. 在消費者產品中的放射性內容

存在 SE 墜飾中的天然放射能並沒有使它變得與眾不同；它只是眾多被廣泛使用的消費者產品當中含放射性材料或放射能離散來源的其中一個產品。很多產品包含不同水平的鈾和鈾（和它們的腐敗物），還有些包含人造放射性原料。

在消費者產品中的自然放射能⁴

很多建築物和房子都是以磚塊建造。取決於製造的過程所用的材料，磚塊通常比土壤和石頭平均高出三到五倍的典型鐳含量，使碰觸暴露率上升多達 10 倍數。例如，在 0.05–0.1 μ Sv/h 的背景劑量率範圍地區的碰觸劑量率可高達 0.5 μ Sv/h。用於廚房櫃檯的花崗石厚片是眾所周知可增強放射能水平，進而導致相似的劑量率。

多年來，鈾被當作色素使用。中國古董玻璃器具在古董商店裏隨時可找到。以鈾上釉（有時被叫的黃蛋糕）覆蓋的餐具可放射 1 μ Sv/h 的表面劑量率。在一些地點，香水瓶子，蠟燭撐腳等等還是以鈾玻璃製造。為了增加白光的明亮度，燈和露營燈籠還是以被浸入鈾氧化物的氣體蓋罩製造。典型氣體蓋罩的表面活動水平遠比 SE 墜飾來的高。還有，內科醫生勸告高血壓病人限制他們的食鹽攝取量。他們通常以鉀氯化物 (KCl) 製成的代鹽代替食鹽 (NaCl)。因為地球上 0.01% 的鉀的是屬放射性的，KCl 含比食鹽更高的放射能。

³ 疾病控制 (CDC) 的美國中心。美國癌症統計數字，2005 年

⁴ 輻射保護和測量上的國家的理事會；從消費者產品和混雜的來源的美國人口的輻射暴露，NCRP 報告編號。95；1987 年 12 月

在消費者產品中的人造放射能

公共衛生和消防安全專業人士經常建議，所有人應為他們的家和辦公處裝備偵煙感應器。多數住宅和商用的偵煙感應器含大約 1 μ Curie 的 Am-241，一種發出 Gamma 輻射和 alpha 微粒的放射性原料。槍熱愛者可能購買由氚氣體管子製成，擁有晚間視線的武器。氚氣是發射 Beta 微粒的放射性氫氣。它也被廣泛使用於所有大小購物商場，機場，建築物和商店等等的「出口」指示牌裡。以上都使每個人接獲低劑量的輻射；但被在正常使用狀況下並沒危險性。事實上，很多這些產品不受管制因為相關的管制機構認定它們所放射的劑量非常的低，甚至不會為消費者帶來任何放射性物質之相關風險。

VI. 輻射對健康的影響，放射量測定和風險

要理解輻射的影響，最重要是先了解在我們身體中的細胞會不斷的地死亡和更新，有些則被降級破壞然後再被修補⁵。輻射對健康的影響可以被分為二個主要類別 - 稱為確定性和隨機性。

隨著暴露於超過 1,000mSv (1,000,000 μ Sv) 的劑量后可能會導致大規模細胞殺害的確定性影響。當輻射破壞細胞率比正常率來得快時，確定性的影響就隨之出現，也導致症狀出現。例如，需暴露於 1,000mSv (1,000,000 μ Sv) 或更多才可導致顯見的細胞殺害現象；例如噁心，由於消化系統的細胞受破壞而引致。

這些劑量是不可能來自佩戴，使用或持有任何數量的 SE 墜飾。事實上，儘管在全世界很多的工業廣泛使用放射性材料，在使用大量放射性材料環境的工作者的職業暴露水平也不達此細胞殺害的水平。一個更普遍的確定性輻射影響的例子是特地用於破壞腫瘤的多種癌症治療的高劑量 Gamma 輻射 X 光。輻射安全計畫的目標是要阻止嚴重輻射誘發的狀況（確定性影響）發生於暴露的人的身上，並在一定程度上減少長期的風險以達可接受之水平（相對於其個人好處和導致此暴露產生的社會活動）。⁶ 來自輻射的長期風險通常是指某些形式癌症的

⁵ Hall 和 Giaccia。為放射線學者提供的放射生物學，第 6 版本。Lippincott William 和 wilkins；2006

⁶ 國家輻射保護和測量理事會；離子化輻射暴露人口數字報告，NCRP 報告編號 116;1993 年 3 月

SE 墜飾放射線學調查

風險增加；這些就是隨機性的健康影響。

要保持隨機性疾病長期風險於可接受的程度，國際放射性物質保護 (ICRP) 理事會建議，工人限於每年 20mSv (20,000 μ Sv) 而公眾則限於每年 1mSv (1,000 μ Sv)。⁷ 在美國，職業和普通老百姓的限制是個別 50mSv (50,000 μ Sv) 和 1mSv (1,000 μ Sv)。ICRP 限制每年公眾的皮膚暴露劑量為 50mSv (50,000 μ Sv)。由於 SE 墜飾的劑量率低和只有很小部分的皮膚會暴露於 SE 墜飾的任何輻射，所以佩戴墜飾者是不可能暴露於超過或接近這些劑量限制。

以超過 87,000 名日本廣島和長崎轟炸幸存者，與相對高劑量 X 光接觸的醫藥夥伴，鐳轉盤畫家，鈾礦工和其他為對象的研究報告，使科學家能夠在來自不同等級的輻射劑量預測癌症風險的增加。在低劑量 (即少於 100mSv)，很多科學家紛紛議論任何癌症風險是否應該被歸因於輻射，一些主張低劑量的癌症風險是零。其他則相信即使低劑量的風險非常小，小到不能與任何統計的信心度相符合，但並沒有無風險離子化輻射劑量這回事。

用於輻射保護的目的假設，隨機性影響的風險和劑量是成正比例的，而且在整個輻射保護劑量範圍和劑量率的重要性並沒有閾值。所以輻射保護的進行是要將輻射率減到有可能達到的最低點 (ALARA)。依據自從 1945 年 8 月的廣島和長崎的 87,000 名原子彈幸存者中的癌症觀察，並沒有清楚的證據顯示暴露於 100-200 mSv 的低劑量導致任何癌症的發生而最新的資料估計，87,000 人當中，有大約 500 個癌症案例 (包括血癌) 因輻射暴露而發生。⁸ 甚至在兩倍更高的劑量下 (直到 400mSv) (長時間但分時的情況下) 癌症的放生機率可能是屬零。因此，依據來自日本和其他研究的觀察，佩戴 1 枚 SE 墜飾者，其小部分的皮膚每年暴露於 1-5mSv，持續 40 年，SE 墜飾包含的放射性材料也不會有細胞殺害的影響或因長期佩帶而導致癌症。

由於低劑量輻射和癌症具不確定性和爭論性，很多輻射安全專

⁷ 這些劑量是加上自然背景獲得的輻射劑量

⁸ 國立科學學院，國立學院的國家研究理事會。暴露於低劑量離子化輻射的健康風險，BEIR VII 第 II 階段；2006 年

SE 墜飾放射線學調查

業人士不主張傳播來自不超過 100mSv（整個身體的暴露）的癌症風險（數量型）是適合的。確實，數年前，健康醫學社會(HPS) 刊登一篇定位文章⁹，建議高風險專業人士不要在不比自然背景高出 100mSv 的劑量下執行數量型的風險估計，因為“估計和健康影響有關的輻射劑量（和自然劑量一樣）應該只屬質量性質和包括一系列假設健康影響包括在如此低劑量的情況下，沒有健康風險的可能性..... 對於暴露於高劑量后的健康影響，具說服力的科學證據是存在的。然而，劑量低於 0.05-0.10Sv（包括職業和環境暴露）的健康風險屬非常小，甚者小到不能被觀察或並不存在。”

如前所述，然而，處理輻射安全的全國和國際的方法還是以沒有無風險的輻射為概念；這稱為直接，無閾值的假設，或 LNT 模型。LNT 模型容許估計來自任何非零輻射劑量的生命週期癌症風險。依據 BEIR VII 報告¹⁰，10mSv 劑量導致的生命週期癌症風險等於大約 1×10^{-3} 或 0.001 或 0.1%¹¹。這意味著如果 1,000 當中，每個人暴露於 10mSv，LNT 模型估計輻射可能引起一個額外癌症的發生；剩餘 999 個人並不會受輻射所引起的癌症影響。

要更進一步地了解風險估計的重要性，將輻射的過多風險和現有一般人口中癌症的風險作比較會有一定的幫助。相關科學文獻透露整體癌症率是大約 40% 和癌症死亡率是大約 20%。因此，在 1,000 個典型人口中，我們預期大約有 400 起癌症和 200 起致命癌症。無論如何如果這 1,000 人，每人暴露於來自放射性材料的 10mSv 輻射，LNT 模型預測，癌症案例和癌症死亡的計數可能個別從 400 上升到 401 或 200 到 201。

這種假設性風險支持輻射是一種很薄弱致癌物質的結論。強力致癌物質的其中一個例子為煙草；研究估計所有癌症死亡人數中，有多達 30%是有使用香煙產品導致的。¹²

⁹ 健康醫學協會 PS10-1, 「輻射風險觀點」, 8 月 2004 年

¹⁰ BEIR VII

¹¹ 應該注意, BEIR VII 文件總結於 100mSv 的劑量或更少, 統計的限制使人類中的癌症風險難以評估

¹² shopland, Eyre HJ 和 Pechacek TF 醫生; 1991 年的抽煙導致的死亡人數。肺癌現在在美國是煙民中的主要死亡原因? J. Natl 癌症協會 83 (16): 1142-1148, 1991

VII. 放射性物質負面分析

放射性材料的存在並不直接相等於危險。這聲明，是明顯的，因為所有生物都包含某些放射性材料。所以要回答包含於一樣東西內的某個數量的放射性材料是否安全或危險這個問題，我們需要回答七個問題。這些與存在於 SE 墜飾的自然放射能有關的問題在下邊被提及和回答：

- 1. 放射性材料是屬什麼類型，形式和數量？** 放射性材料可以是固體，液體和氣體。物理外型對材料造成的相對危險有直接影響。環境中的鈾和釷的自然水平屬固體性（例如在 SE 墜飾一樣），是屬最不具危險的放射性材料，因為（a）它們放射很低能的 Gamma 射線和輻射微粒，不會為体外暴露帶來明顯的輻射劑量（b）它們在環境裡是相對穩定的。大多數微粒（alpha 和低能源 Beta）不能穿越服裝或皮膚死皮外層。它們只能在進入體內後才能導致明顯的輻射劑量，但這不可能在一個人佩戴 SE 墜飾時發生。
- 2. 放射性材料在哪裏？** 放射性材料存在於製造墜飾的礦石裡。由於它們被摻和在整個材料中，所以可被認為是墜飾測定體積的成分。
- 3. 材料只存在於內部嗎？** 如為可移放射能進行的採樣所顯示，答案是“是”。SE 墜飾的表面沒有可進入人體的可移放射能。
- 4. 如果材料被釋出，會發生什麼？** 如果一件墜飾被壓碎或損壞，它可能變成更小的碎片。然而，它還是會保留於其固體原狀外型所以不會因吸入而帶來傷害。當微粒粘到手指或其他物件，食入是有可能但不應該會發生。
- 5. 在什麼情況下，人會暴露於輻射？** 從一枚未毀壞的 SE 墜飾取得輻射劑量的唯一方式是佩戴它。然而，依據這個研究的一部分和韓國原子能研究學院的評估，佩戴者暴露的劑量率屬來自自然背景輻射劑量率的範圍內。一件未毀壞的墜飾不會使體內遭受放射性材料的侵害。
- 6. 在體內聚集的輻射劑量或輻射能源數量是多少？** 大部分由墜飾裏含的天然釷和鈾所發射的輻射能源被空中或與墜飾接觸如衣物或皮膚死

SE 墜飾放射線學調查

皮外層吸收。很少量能源可能進入皮膚細胞，此劑量率是遠遠不及那些有能力導致任何影響的劑量率。

7. SE 墜飾的輻射會對健康造成什麼影響？暴露於此輻射的人會怎麼樣？ 沒什麼。從未有任何研究將自然背景放射線劑量率的上範圍和輻射劑量率導致的健康問題互相聯係。SE 墜飾的採樣顯示，SE 墜飾只是使佩戴者暴露於比自然背景還要低的輻射。這是因為墜飾的體積非常小。

VIII. 總結

一項針對存在於 SE 墜飾中的放射性材料是否會導致其持有者或使用者存有危險性的獨立調查已在進行。此調查支持下列結論：

- 墜飾由天然礦石製造；所以它含有些和石頭及土壤相同的放射性能。
- SE 墜飾的表面輻射劑量率在 0.1–0.2 μ Sv/h 的範圍內。劑量率在墜飾與背景距離 5 釐米時返回背景。
- 未毀壞的墜飾表面上並沒有可移放射能。
- 在正常使用狀況下，SE 墜飾的佩戴使其佩戴者所暴露的輻射劑量並不超過 ICRP 為公眾建立的劑量限制。
- 沒有同等者查看科學文獻支持有關 SE 墜飾的輻射劑量會導致健康狀況的一個結論。

附錄 B – 鈾，輻射和我的健康

1. 什麼是放射能？

所有東西都由原子組成，包括一個核心和圍繞著其周圍的一些電子。放射能來自一個不穩定的原子核嘗試透過發出能源或腐敗而變得更穩定的過程。“輻射”是指由放射性原子腐敗時所發射的部分或一股能源。

2. 人接觸到輻射時，會有什麼發生？

在大多數情況下，不會有什麼東西發生。事實上每個人經常都不斷地與輻射接觸。我們以一個叫 millisieverts，或「mSv」的單位測量輻射劑量。每一個美國居民平均每年得暴露於 6.2mSv。大約一半源自環境中的自然物質而另一半的來源則是人造物質，最大的人造來源為醫藥器材。然而劑量依據地理位置有很大的變異性。例如，科羅拉多地區，Denver 的普通居民，每年大約暴露於 8mSv 而佛羅里達中部的普通居民每年只暴露少於 4mSv。

3. 如果沒什麼負面的東西發生，那我們為什麼擔心暴露於輻射？

自從 1895 年發現 X 光以後，科學家就研究輻射暴露與健康的關係。有好幾組暴露於相對大劑量輻射的人成為了研究的對象。這些包括鈾礦工，20 世紀早期鑛工業工作人員，20 世紀的上半期曾被放射能醫藥器材治療的人士和 1945 年日本廣島和長崎的原子武器的幸存者。

科學研究顯示，暴露於高劑量的輻射（通常大於 500mSv）使得某種類型的癌症率提高。這些包括幾種血癌，胸癌，肺癌，骨骼癌症。

低劑量輻射是否會提高癌症的風險還是個謎。這大部分是由於背景癌症比率也很高（大約 10 個中有 4 個人的一生中會得到某種癌症）。無論如何，現今的輻射安全制度都假設性的認為低劑量輻射，無論多低都會增加癌症的長期風險。雖然我們不知道到底低劑量的輻射是否具危險性，我們嘗試將工人和公眾的暴露劑量限於最有可能的低點或 ALARA。

4. 輻射還會造成其他的健康影響嗎？

我們知道，人如果暴露於輻射劑量超過大約 2,000mSv 就會生病，如果暴露於輻射劑量超過大約 4,000mSv 就會有死亡的可能。幸好，經常與放射性材料接觸的工作者也不至於暴露於如此高的劑量。只有極大的悲劇如 1986 年的切爾諾貝爾核工廠爆炸和火患地點才會導致如此巨大輻射劑量，導致人們獲得與輻射相關的疾病。

SE 墜飾放射線學調查

5. SE 墜飾含有什麼放射性材料？

SE 墜飾由從地面取得的天然礦石製造。礦石包含一些在地球的外殼裡普遍可被尋獲得元素，包括天然放射性鈾和釷。事實上，此類放射能可在不同的程度上出現在所有地質材料裡。鈾和釷會經過放射性腐敗過程而慢慢地生產其他放射性原子；因此，所有包含這些的物質的東西都會有放射能。

6. 佩戴 SE 墜飾會不會導致我暴露於高劑量的輻射？

不會。與墜飾接觸不會使你暴露於有別於自然背景的輻射劑量。

7. 你如何證明以上第六點？

自然放射能已被溶入整個墜飾裏，並沒有可以被遷移除或轉移到一個人的皮膚或其它接觸物件的表面放射能。因此，佩戴著唯一暴露於的是源自放射性原子腐敗時的 Gamma 線。此劑量是在 0.1-0.2 μ Sv/h 的範圍內（沿著墜飾的表面所產生的劑量率），與墜飾和背景距離 5 釐米時不能被分辨的一樣。因墜飾的體積小和所含的為低發射能得鈾和釷，它所含的輻射劑量不會對導致內部器官，整個身體或皮膚有任何影響。

8. 依據在過去 100 年被照射和被研究的對象的觀察，暴露於 SE 墜飾的輻射將會有什麼結果？

記錄中從來沒有一個被與 SE 墜飾所發射出相同劑量照射后而對健康有影響的例子。