

行政院原子能委員會輻射偵測中心

委託研究計畫研究報告

台灣醫療輻射造成國民劑量調查方法研究

**Investigation Method Suggestion on Evaluating Population Dose  
from Medical Exposure in Taiwan**

計畫編號：1070109

受委託機關(構)：國立清華大學核子工程與科學研究所

計畫主持人：蔡惠予 副教授

E-mail address：huiyutsai@mx.nthu.edu.tw

聯絡人員：蔡惠予

報告日期： 107 年 11 月 21 日

## 目錄

壹、 計畫緣起與目的 .....	5
一、 計畫背景.....	5
二、 計畫目的.....	6
貳、 研究方法與過程 .....	7
一、 採用之方法與原因.....	7
(一) 蒐集彙整國際主流醫療輻射調查方法.....	7
(二) 醫療輻射劑量量測與評估方法研究.....	7
(三) 建議醫療輻射國民劑量評估調查方案.....	8
二、 完成工作項目.....	9
參、 主要發現與結論 .....	9
一、 蒐集彙整國際主流醫療輻射調查方法 .....	9
(一) 美國的醫療輻射曝露調查.....	9
(二) 英國的醫療輻射曝露調查.....	12
(三) 英美醫療輻射曝露劑量比較.....	13
(四) 其他醫療輻射曝露調查.....	13
(五) 名詞對照.....	15
二、 醫療輻射劑量量測與評估方法研究 .....	16
三、 醫療輻射國民劑量評估調查方法之建議.....	17

(一)	一般 X 光攝影輻射劑量調查方法 .....	19
(二)	傳統透視攝影輻射劑量調查方法 .....	22
(三)	介入性透視攝影輻射劑量調查方法 .....	24
(四)	電腦斷層輻射劑量調查方法 .....	26
(五)	乳房攝影輻射劑量調查方法 .....	30
(六)	牙科攝影輻射劑量調查方法 .....	31
(七)	核子醫學輻射劑量調查方法 .....	33
(八)	放射治療輻射劑量調查方法 .....	36
四、	調查的類別與檢查序列之建議 .....	39
五、	醫療輻射國民劑量評估調查所需之資源 .....	49
六、	結論 .....	50
肆、	參考資料 .....	50

## 中文摘要

本計畫的目的是針對規劃台灣地區完整醫療輻射國民劑量調查計畫進行前期研究評估，透過完成以下三個工作項目來達成本計畫的目的：1.彙整國際主流醫療輻射調查方法；2.建議醫療輻射劑量量測與評估方法；3.建議醫療輻射國民劑量評估調查方案。最後，提出台灣地區醫療輻射調查方法研究與劑量量測評估之先期測試數據及資料統合、分析報告。以期未來能建立台灣地區完整的醫療輻射背景資料，亦可評估國內醫療輻射劑量的變化趨勢以及推動醫療輻射品保優先性的參考依據。

## 英文摘要

The purpose of this project is to conduct a preliminary study on planning a comprehensive (4-year) investigation of population dose of medical exposure in Taiwan. To achieve the objectives of this project by completing the following three work items : (1) to review international reports and related scientific papers of population dose estimation from a view of a country; (2) to propose methods to estimate or evaluate radiation dose from medical exposure; (3) to suggest an investigation method on evaluating population dose from medical exposure in Taiwan. According to the progress of the project, the mid-term report and the final report will be put forward the preliminary data and data integration and analysis report on the medical radiation estimation and dose measurement in Taiwan. With a view to establishing a comprehensive basis of medical radiation in Taiwan in the future, it is also possible to assess the latest trend of medical radiation dose and to promote the priority of medical radiation protection.

## 壹、計畫緣起與目的

### 一、計畫背景

國民劑量的輻射曝露來源有二：天然背景輻射與人造輻射，其中人造游離輻射劑量對民眾的最大貢獻來源是來自醫療曝露(NCRP, 2009)。醫療放射檢查或放射治療的統計數據是衡量該國放射學與醫療水準的全球指標，因為其反應出醫療體系、放射學設備和人力配置的差異，開發程度不同的國家，其各自的醫療曝露劑量差異也很大。在 2000 年時，全球統計醫療水準較高和較低的國家醫療曝露的年人均有效劑量分別為 1.1 和 0.05 毫西弗(HPS, 2009)。

後來的數據顯示，歐洲國家 2008 年的人平均年有效劑量為 0.3-1.5 毫西弗（考慮排序集體有效劑量的前 20 項放射檢查項目），2006 年美國則為 3.0 毫西弗（考慮所有放射檢查項目）。從 2002 年到 2008 年，醫療曝露劑量在歐洲增加了高達 86%，而在 1982 年到 2006 年，在美國則是 5.7 倍(Hall, 2008; Mettler, 2008; Muhogora, 2008; Osei, 2013; PHE, 2016; UNSCEAR, 2017)。導致劑量增加的主要因素是電腦斷層掃描(computed tomography, CT)的使用(NCRP, 2009)。由於不同國家的醫療曝露劑量差異很大，歐盟資助的計畫(DOSE DATAMED)確定了這些差異的存在原因，不單是民眾放射檢查次數的差異，相同的檢查操作條件設定也不盡相同(Bly, 2011)。

先前對台灣國民醫療曝露劑量的評估統計很少(Chen, 2011)，大多只針對特定檢查項目進行評估(Tsai, 2007, Yeh, 2013)。推估因為要得到全國每項醫療放射程序的數量和每個程序的平均有效劑量的數

具有困難度。加上近十年放射醫學技術進步，檢查項目也十分繁多，更增加評估統計的難度。因此，建立台灣的醫療輻射國民劑量調查也是極具挑戰性。

## 二、計畫目的

本計畫的目的是針對規劃台灣地區完整(四年期)醫療輻射國民劑量調查計畫進行前期研究評估，透過完成以下三個工作項目來達成本計畫的目的：(1)彙整國際主流醫療輻射調查方法；(2)建議醫療輻射劑量量測與評估方法；(3)建議醫療輻射國民劑量評估調查方案。並於期中報告及期末報告中，依據研究進度，提出台灣地區醫療輻射調查方法研究與劑量量測評估之先期測試數據及資料統合、分析報告。

## 貳、 研究方法與過程

### 一、 採用之方法與原因

本計畫書的工作項目包括：(1)蒐集彙整國際主流醫療輻射調查方法；(2)醫療輻射劑量量測與評估方法研究；(3)建議醫療輻射國民劑量評估調查方案。

#### (一) 蒐集彙整國際主流醫療輻射調查方法

針對醫療輻射曝露之國民劑量調查，將蒐集國際機構所提出的報告與學術期刊所發表的文獻，進行資料彙整。資料來源會包括國際機構如原子能總署之附屬機構、歐盟等醫療輻射劑量評估報告，部分個別國家如美國國家輻射防護委員會等進行醫療輻射劑量評估與國民輻射劑量之調查資料。

針對所蒐集的資料，進行趨勢分析與摘要說明，並分析比較其調查方法與可能的限制，以供國內作業規劃比對參考。

#### (二) 醫療輻射劑量量測與評估方法研究

依據蒐集彙整國外醫療輻射調查評估相關文獻，參考國際主流調查做法，考量放射醫學於不同應用(一般診斷、特殊診斷、核醫、治療)項目的分布特性，輔以醫療分級、條件設定、劑量度量方法等資訊，以分析各項醫療輻射應用，執行程序因為環境差異造成劑量變



化之可能影響情形。

近幾年原子能委員會努力推行醫療曝露品質保證，已委託長庚大學進行診斷設備之電腦斷層、乳房攝影、透視攝影之現場訪檢查，另委託中華民國醫學物理學會進行治療設備之檢查。預計可透過與此兩單位合作，將實地測量之劑量數據，應用於國民劑量的評估。

藉前述科學理論依據與實際執行之可行性，探討目前調查國民輻射劑量可能遇到的問題例如國人醫療輻射照射頻次、近十年醫療輻射作業方法的變動等，並提出有代表性之適確解決方式，以利下一阶段之研擬台灣醫療輻射造成國民輻射調查方法之建議參考。

### **(三) 建議醫療輻射國民劑量評估調查方案**

根據前面所蒐集台灣現況包括考量放射醫學的不同應用項目分布特性，輔以醫療分級、條件設定、劑量量測方法等資訊，藉由調查各項醫療輻射作業頻次、單次劑量等逐年變化趨勢，進行台灣地區醫療輻射國民輻射劑量調查作法之彙整、綜合評析，來規劃台灣地區完整(四年期)醫療輻射國民劑量調查計畫，以期能建立台灣完整的國民輻射劑量背景資料，亦作為評估國內醫療輻射劑量各項目的變化趨勢以及推動醫療輻射品保優先性的參考依據。

## 二、 完成工作項目

已完成的工作包括：(1)彙整國際主流醫療輻射調查方法；(2)建議醫療輻射劑量量測與評估方法：提出台灣地區醫療輻射調查方法研究與劑量量測評估之先期測試數據及資料統合、分析報告；(3)建議醫療輻射國民劑量評估調查方案：醫療分級、醫療輻射應用項目、劑量度量與調查評估方法、如何調查使用頻次、預估完整作業期間等。

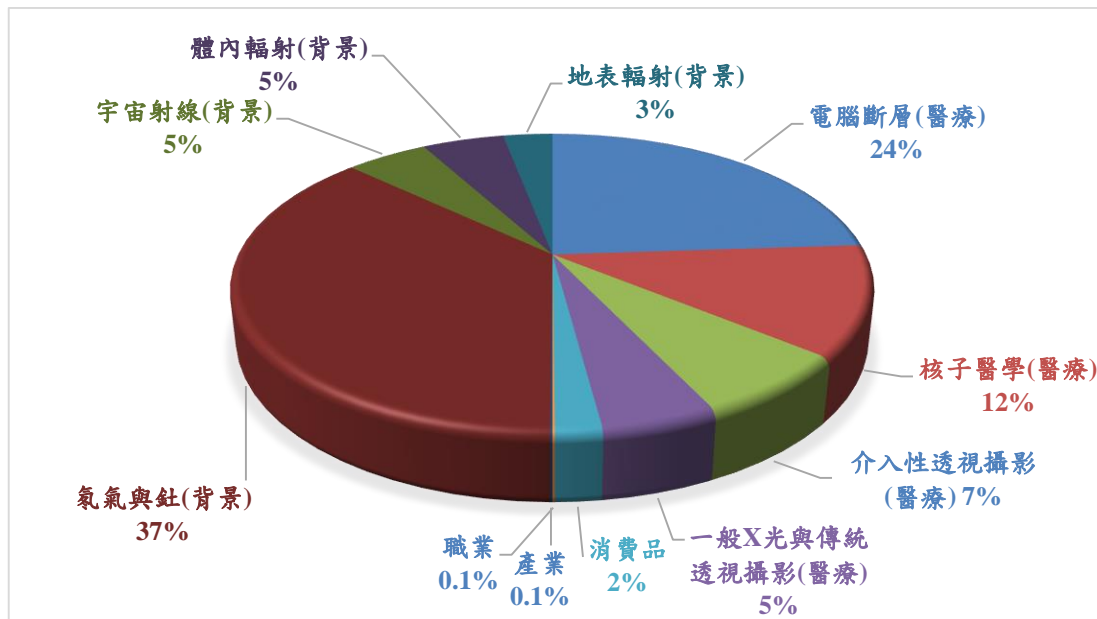
## 參、 主要發現與結論

### 一、 蒐集彙整國際主流醫療輻射調查方法

蒐集文獻資料包括美國、英國、歐盟、加拿大、聯合國等資料，再分析台灣的已發表資料，以作出醫療輻射調查方法的綜合評論。

#### (一)美國的醫療輻射曝露調查

美國輻射防護與度量委員會的160號報告(NCRP, 2009)，發表了2006年的美國人口游離輻射曝露的劑量結果，圖一顯示出各種曝露源對集體有效劑量(1,870,000 人-西弗)的貢獻百分比，2006年美國人口中每人總有效劑量約6.2毫西弗，醫療輻射曝露就約有3.0毫西弗，約佔50%的集體有效劑量，醫療輻射曝露是顯著的曝露源。



圖一、美國集體有效劑量的輻射源分布

醫療輻射曝露依據醫療設備分為五類：電腦斷層掃描、一般X光攝影和透視攝影（包括牙科、脊椎照相術和骨密度測定法）、介入性透視攝影、核子醫學、體外放射治療。

五種設備分類在2006年的所執行的檢查程序數量（或可說照射人次），有兩種層次的資料來源。第一種是來自IMV醫學信息部所製作的商業市場基準報告，此報告可明確指出醫療設備提供哪些醫療服務，這種資料是NCRP主要採用的數據。第二種是當IMV資訊不足時，所用的補充數據，其來源包括醫療保險（Medicare, 醫療投保者）的理賠紀錄，美國退伍軍人事務部的健康計劃投保者的理賠紀錄，美國大型國家雇主計劃（LNEP）的理賠紀錄，與牙科底片包膜膜的銷售紀錄。

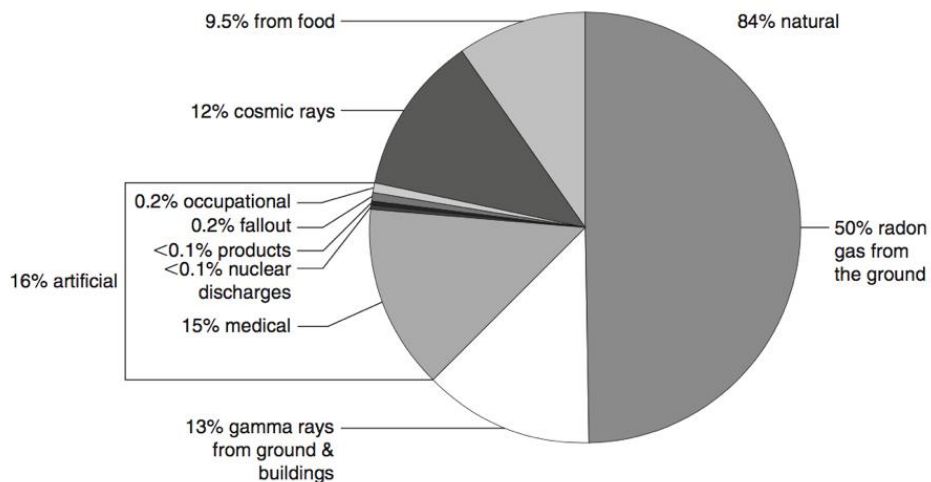
各檢查程序的有效劑量則引用已發表的文獻。電腦斷層掃描：基於文獻所提供的數據，包括劑量長度乘積、年齡和身體區域下的特定轉換因子。一般X光攝影和透視攝影：基於文獻所提供的有效劑量的數據。介入性透視攝影：基於文獻所提供的數據，包括空氣克馬面積乘積、特定檢查程序的劑量轉換因子。核子醫學：基於文獻所提供所提供的劑量轉換係數，進而可轉換成有效劑量。體外放射治療：只對治療區域外的器官和組織，所評估的吸收劑量。這樣的有效劑量推論方式，並不足得到醫療曝露的實際測量結果，也不足以進行統計變異的分析。

NCRP第160號報告指出，美國在25年間(1980s→2006)的劑量增加主要的貢獻來自電腦斷層掃描、介入性透視攝影、與核子醫學。在評估醫療輻射曝露時，雖有評估體外放射治療的劑量貢獻，但未將之納入國民劑量的評估。NCRP第160號報告評估醫療輻射曝露的幾點限制：(1)醫療設備的新舊所造成的劑量差異亦未包含於內，通常較新的設備可能會有較低的醫療劑量，但評估時是採用文獻發表的有效劑量；(2)核子醫學的劑量評估可能低估，因為核子醫學設備由單純的核醫設備，轉而趨向結合電腦斷層的設備，而電腦斷層掃描設備在這部分的劑量貢獻是未納入評估的。

## (二) 英國的醫療輻射曝露調查

英國國民健康局發表了2008年的英國人口游離輻射曝露的劑量結果(HPA, 2010)，圖二顯示出各種曝露源對集體有效劑量的貢獻百分比，2008年英國人口中每人總有效劑量約2.65毫西弗，醫療輻射曝露僅約有0.4毫西弗，約佔15%的集體有效劑量。

英國所採用的劑量評估方法，是取樣29家醫院，蒐集這些醫院中的放射信息系統(radiology information systems, RIS)中的病人檢查資訊，在外插推算至整個英國群體。至於有效劑量的資訊，大部分來自於英國國民健康局的英國病人劑量數據庫 (National Patient Dose Database of HPA)，少部分來自於發表文獻。



圖二、英國集體有效劑量的輻射源分布

英國在10年間(1998→2008)的總檢查頻次增加了10%，集體有效劑量增加了23%，劑量增加的主要貢獻來自電腦斷層掃描。相較於其

他同樣醫療等級的國家，英國的醫療檢查頻次較低，每次檢查所造成的有效劑量也較低。

### (三) 英美醫療輻射曝露劑量比較

圖一與圖二顯示出英美的醫療輻射曝露差異頗大，因此分別整理出美國與英國的人口與劑量數據列於表一與表二。兩國劑量差異的主要可能是英國的人口數較低，英國受檢查人次較少，且針對相同檢查程序，英國報告所引用文獻的輻射劑量較低。此外一個檢查程序因檢查目的有可能會作一次以上的掃描，美國的資料有處理這一部分，但英國的資料並沒有處理這一部分，因此同一檢查程序，英國評估出來的劑量會較低。

依目前的分類，兩國都沒有包含放射治療，且英國的國民劑量沒有包含核醫檢查與治療。兩國都將電腦斷層掃描獨立成一類，但在其他的X光檢查的分類是有差異的。

### (四) 其他醫療輻射曝露調查

歐盟、加拿大、聯合國等的醫療輻射曝露調查多數偏向於檢查程序的技術條件調查，進而推算該檢查的有效劑量，並無加入檢查的人口資訊或掃描次數的資訊，因而無法計算集體有效劑量，進而推算出醫療程序的平均每人有效劑量。

台灣過去的國民醫療曝露劑量的評估統計，由陳拓榮等學者

(Chen, 2011)所進行的調查最為完整，其採用類似英國的調查方法。其後亦有針對特定檢查項目進行評估，蔡惠予等 (Tsai, 2007)是調查電腦斷層掃描的檢查之劑量，葉大銘等(Yeh, 2013)則是調查電腦斷層掃描的檢查之集體劑量。近期亦有許弼勝(2017)以健保資料庫推算醫療曝露的集體劑量，所採用的方法類似美國的調查方法。

表一、美國人口數、醫療輻射集體有效劑量與平均有效劑量

類別	程序或掃描數目 (百萬)	2006年美國 總人口數 (百萬)	集體有效劑量 (人西弗)	每人有效劑量 (毫西弗)
電腦斷層掃描	67	300	440,000	1.47
一般X光照相 與透視攝影	293	300	100,000	0.33
介入性透視攝影 (診斷+治療)	17	300	128,000	0.43
核子醫學	18	300	231,000	0.77
總計			899,000	3.00

註：資料來源NCRP 160 號報告 (NCRP, 2009)

表二、英國的人口數、醫療曝露的集體有效劑量與平均有效劑量

類別	程序或掃描數目 (百萬)	2008年美國 總人口數 (百萬)	集體有效 劑量 (人西弗)	每人有效 劑量 (毫西弗)
電腦斷層掃描	3.421	61.4	16,302	0.27
一般X光照相	41.927	61.4	4,695	0.08
診斷介入性透視攝影	0.293	61.4	1,213	0.02
治療介入性透視攝影	0.442	61.4	2,037	0.03
總計			24,247	0.4

註：資料來源HPA-CRCE 012號報告 (HPA, 2010)

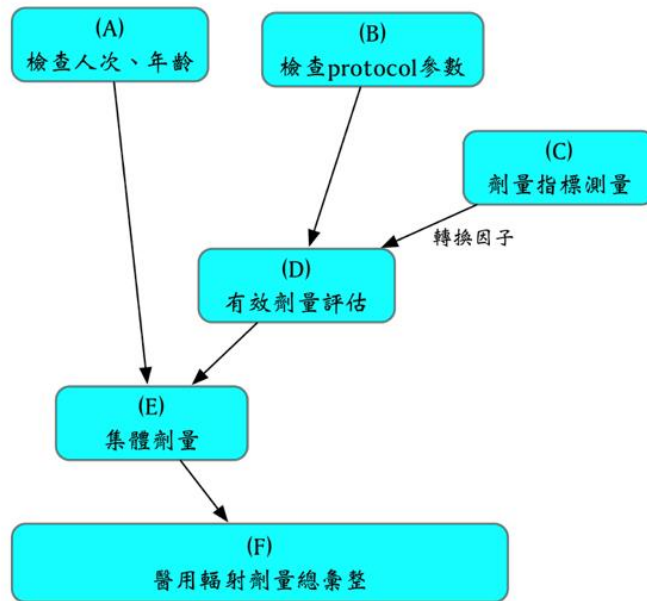
### (五) 名詞對照

中文	原文	縮寫
美國輻射防護與度量委員會	National Council on Radiation Protection and Measurements	NCRP
英國健康保護局	Health Protection Agency	HPA
集體有效劑量	collective effective dose	



## 二、醫療輻射劑量量測與評估方法研究

根據美國與英國的調查方法分析，初步規劃出台灣醫療輻射曝露的調查，如圖三。



圖三、醫療輻射劑量量測與評估方法研究

項目(A)的檢查人次與年齡分布，可以採用衛生福利部健康加值中心的國民健保資料庫之數據，惟須仔細分析健保資料庫的登記代碼，是否與臨床檢查項目可以對應起來。

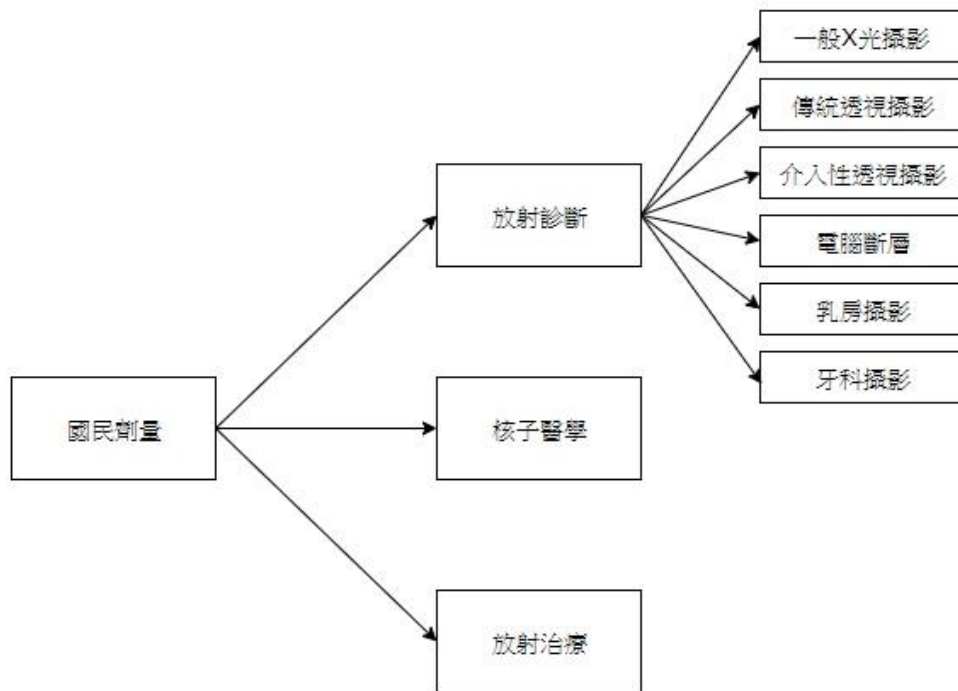
項目(D) 有效劑量的評估，可以有兩種方式取得，第一種方法是定義出各項檢查，該檢查的有效劑量則引用已發表的文獻，最好是台灣的文獻，若無則可找國際文獻。此方法雖然有某程度的誤差，但因目的是估算集體劑量，這樣的方法也是可以接受的，目前美國的調查

就是採取這種方式，英國部分檢查的調查也是採取此法。第二種方法也是需先定義出各項檢查，然後如圖三中，抽樣部分醫療院所，進行項目(B)檢查程序的參數調查，與項目(C)劑量指標的測量，依據這些抽樣的測量、調查、與評估結果，再等比放大至整體。英國大部分檢查的調查是採取此法。

項目(E)的集體劑量評估，則需要彙整項目(A)的檢查人次與年齡分布與項目(D)有效劑量的評估的結果。

### 三、 醫療輻射國民劑量評估調查方法之建議

醫療輻射造成的國民劑量評估方法，依照放射醫學在醫療院所的不同運用分為三大類：放射診斷、核子醫學與放射治療。其中，放射診斷類別中再依照儀器設備的不同細分為六類，此六類的輻射劑量評估方式亦各有不同，分別為一般X光攝影、傳統透視攝影、介入性透視攝影、電腦斷層、乳房攝影與牙科攝影。整體而言，醫療輻射造成的國民劑量共分為八大項進行評估，如圖四所示。



圖四、醫療輻射曝露之分類

國民醫療輻射劑量八大項中的每一大項，皆須透過四項步驟完成，而在評估流程中需取得資料數據分別為：國人醫療輻射序列的年度照射頻次、單次序列的有效劑量、集體有效劑量與國人年平均醫療輻射劑量，流程如下：



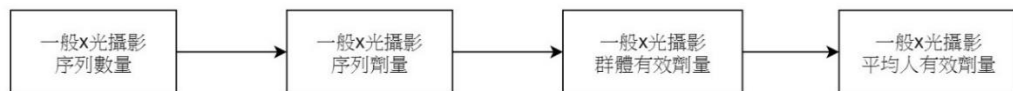
國人醫療輻射序列的年度照射頻次從全民健康研究資料庫中取得，然而全民健康研究資料庫中的資料並未含有健康檢查(例如：民眾自費檢查)所造成的輻射劑量來源，因此在某些特殊情況下，利用中華民國行政院衛生福利部公布的年度資料輔助參考，以降低評估的誤差。單次序列的有效劑量則需透過醫療院所的實際數據蒐集進

行評估，然而針對不同種類的檢查或治療儀器所造成的輻射劑量，其評估劑量的方式各有不同，針對不同項目的評估方法將在下段落中詳述。集體劑量的計算方式利用國人醫療輻射序列的年度照射頻次乘上單次序列的有效劑量取得，而平均有效劑量則須利用中華民國行政院內政部所公布的台灣年度人口總數，計算平均值取得。

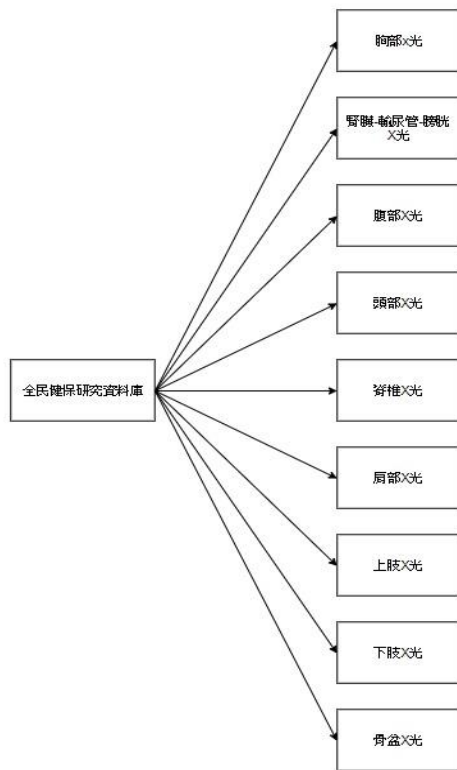
國民醫療輻射劑量評估分為三大類共八大項，每大項目各有其評估之方法：

### (一)一般X光攝影輻射劑量調查方法

一般X光攝影國民劑量評估流程簡表如下所示：

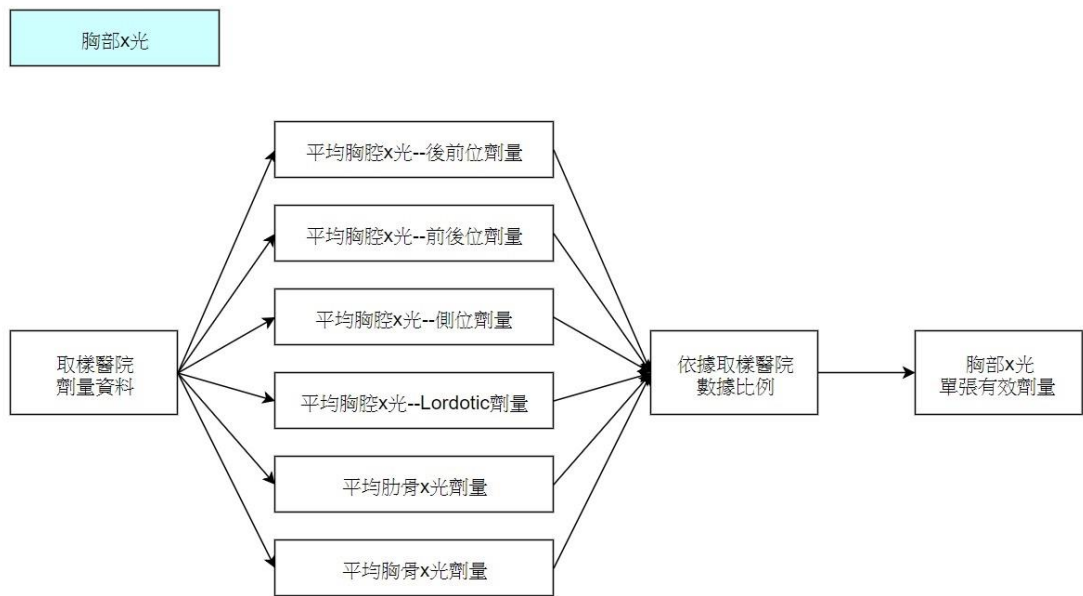


一般X光攝影的序列年度數量從全民健康保險資料庫中取得，然而健保資料庫中關於一般X光攝影的分類代碼繁多，因此需先將資料庫中的代碼數據進行分類，將一般X光攝影依照人體的部位分為九大類，分別為胸部X光、腎臟-輸尿管-膀胱X光、腹部X光、頭部X光、脊椎X光、肩部X光、上肢X光、下肢X光與骨盆X光，如圖五所示。



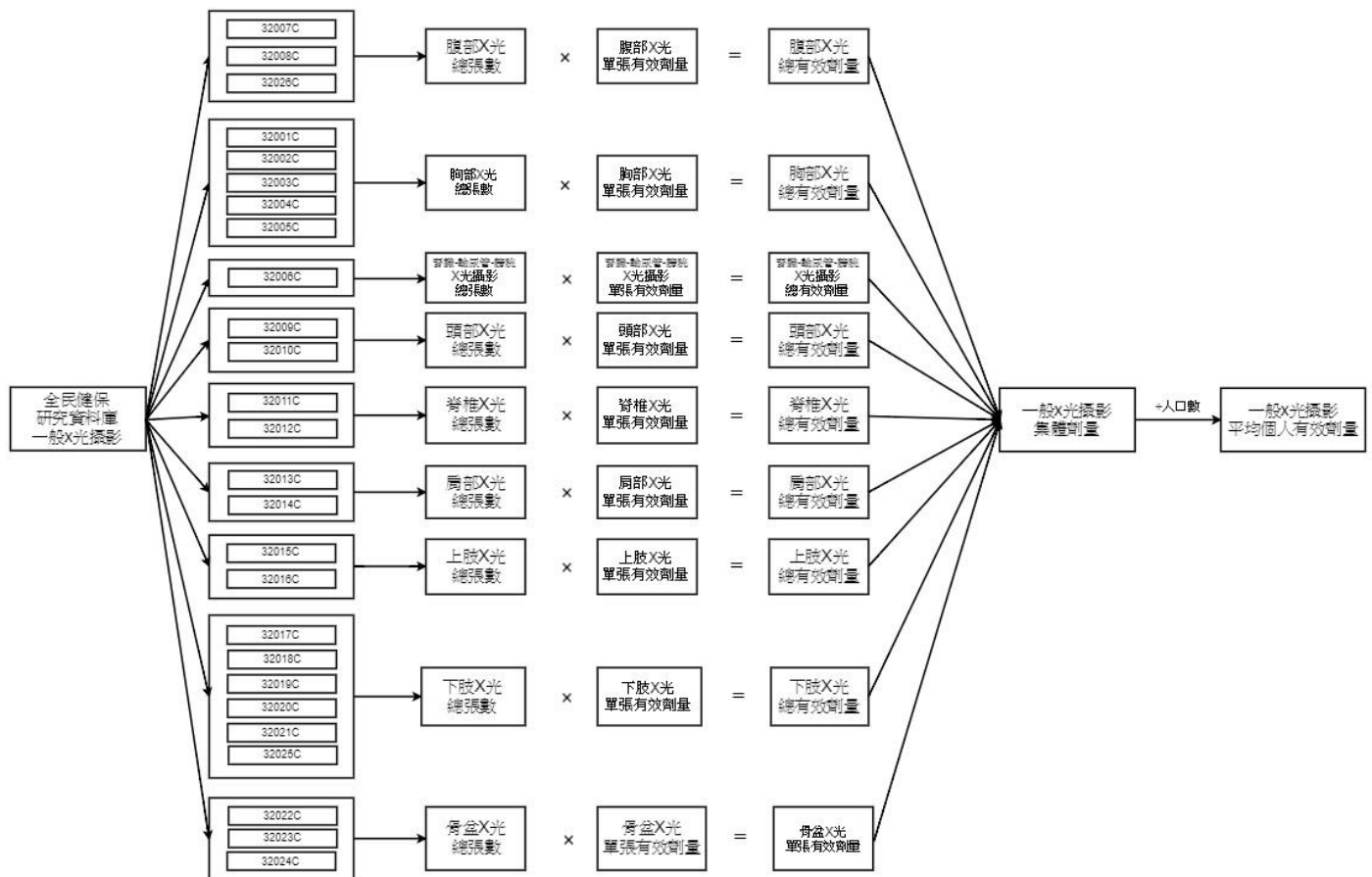
圖五、納入國民劑量評估的一般X光攝影之主要分類

一般X光攝影的個別序列劑量評估需透過取樣醫院的實際劑量參數資料進行評估，資料的數據須達年度資料的百分之十以確保取樣資料具有代表性，然而醫療院所所取得的劑量參數並不代表實際的有效劑量，需透過有效劑量評估軟體(PCXMC)進行劑量轉換，取得單次序列的有效劑量。除此之外，一般X光攝影的序列在實際運用上相當複雜，以胸部X光為例，分為胸腔X光攝影、肋骨X光攝影等，甚至胸腔X光攝影又可再細分為後前位、側位或特殊角度等，因此在劑量評估上，需將有效劑量評估軟體(PCXMC)轉換出的單次序列有效劑量依照樣本數的權重進行平均，取得胸部X光攝影單次序列有效劑量，如圖六所示。



圖六、胸部X光攝影單次序列有效劑量之評估流程

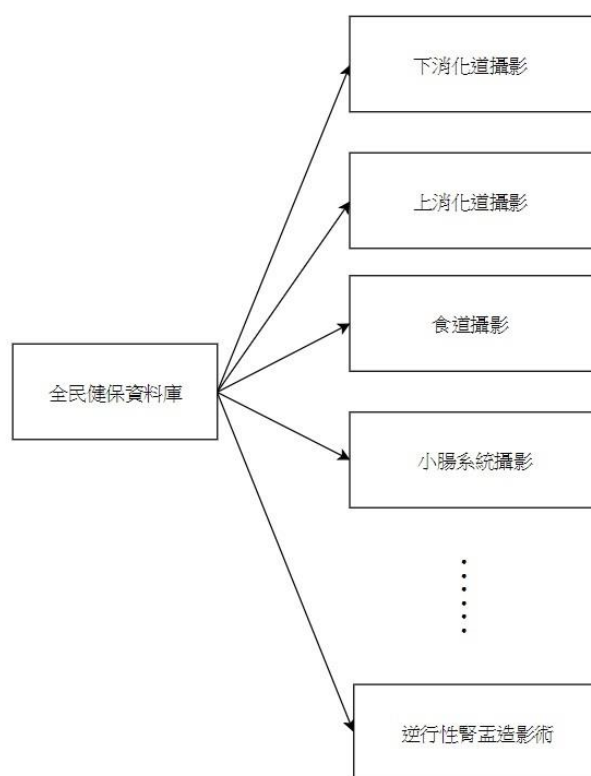
除了胸部X光攝影之外，其他的八大部位也依照相同的方式進行  
 權重平均，取得個別分類的序列有效劑量。再分別將各序列的年度數  
 量乘上各序列的單次有效劑量取得一般X光攝影的集體劑量，利用行  
 政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度一般X光攝影平均個人有  
 效劑量。評估方法流程如圖七。



圖七、一般X光攝影平均個人有效劑量評估之設計結構

## (二) 傳統透視攝影輻射劑量調查方法

傳統透視攝影的國民劑量評估須先取得年度的序列數量，從全民健保研究資料庫中的代碼序列中，總共分成三十七種不同序列的檢查項目，如圖八所示。其中年度序列頻次大於一千次以上者(前十二項序列)約占序列總數的百分之八十左右。

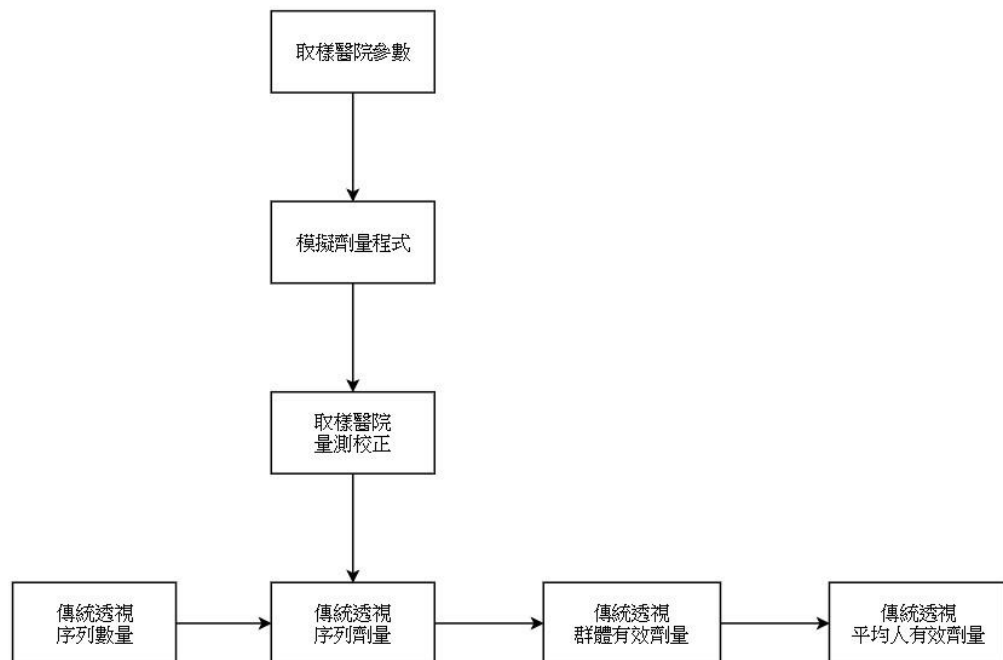


圖八、納入國民劑量評估的傳統透視攝影之主要分類

傳統透視攝影的個別序列劑量評估需蒐集取樣醫院的實際劑量參數資料，包括曝露時間、克馬面積乘積、照野大小等，資料的蒐集數據須達年度資料的百分之十以確保取樣資料具有代表性，然而醫療院所取得的劑量參數並不代表實際的有效劑量，需透過有效劑量評估軟體(PCXMC)進行劑量轉換，取得單次序列的有效劑量。除此之外，為了確保有效劑量評估軟體模擬出來的數值是準確的，將抽樣至取樣醫院進行劑量測量，驗證劑量計算的準確性。由全民健保研究資料庫取得的年度個別序列總數乘上個別序列驗證後的序列有效劑量，取得傳統透視攝影的集體劑量，再利用行政院內政部的台灣總人



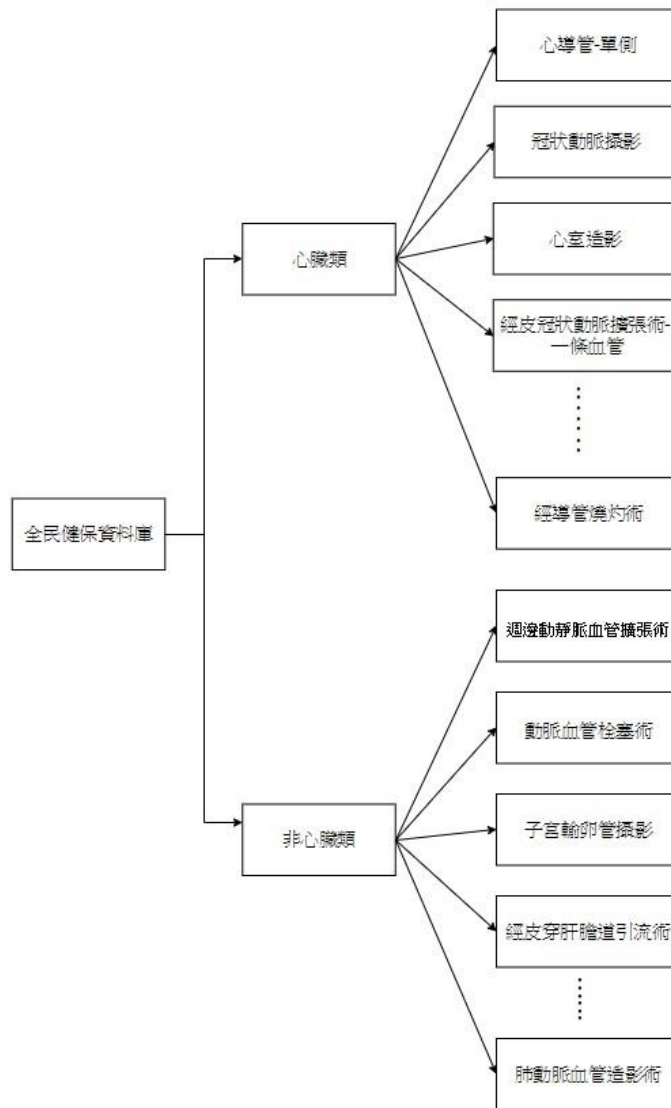
口數，計算台灣年度傳統透視攝影的平均個人有效劑量，流程如圖九所示。



圖九、傳統透視攝影有效劑量之評估流程

### (三) 介入性透視攝影輻射劑量調查方法

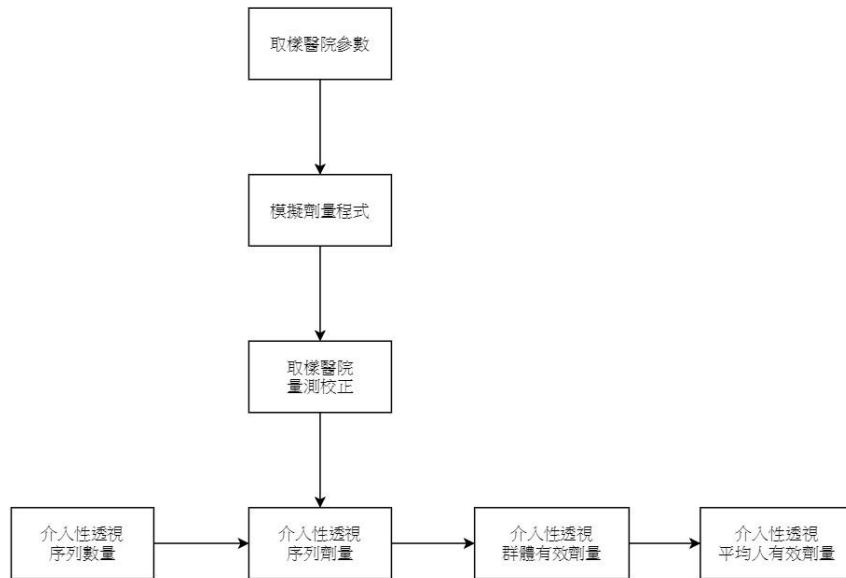
介入性透視攝影的國民劑量評估從全民健保研究資料庫中取得個別的年度序列數量，資料庫中將序列分為心臟與非心臟兩大類，如下表所示。心臟類別的序列檢查分布於醫療院所的心導管部門，年度序列頻次大於二千次以上者(前九項序列)約占序列總數的百分之九十五以上；非心臟類別的序列檢查分布於醫療院所的放射診斷部門，年度序列頻次大於一千次以上者(前二十三項序列)約占序列總數的百分之九十五左右。



圖十、納入國民劑量評估的介入性透視攝影之主要分類

介入性透視攝影的個別序列劑量評估需蒐集取樣醫院的劑量參數資料，包括克馬面積乘積、照野大小、曝露時間等，資料的蒐集數據須達年度資料的百分之十以確保取樣資料具有代表性，然而醫療院所取得的劑量參數並不代表實際的有效劑量，需透過有效劑量評估軟體(PCXMC)進行劑量轉換，取得單次序列的有效劑量。除此之外，為了確保有效劑量評估軟體模擬出來的數值是準確的，將抽樣至取樣醫院進行劑量測量，驗證劑量計算的準確性。由全民健保研究

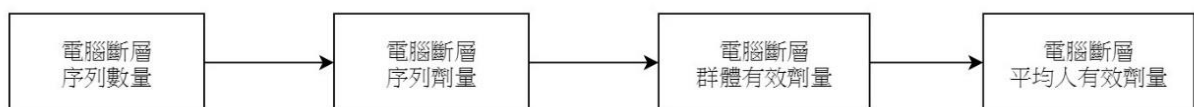
資料庫取得的年度個別序列總數乘上個別序列驗證後的序列有效劑量，取得介入性透視攝影的集體劑量，再利用行政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度介入性透視攝影的平均個人有效劑量，流程如圖十一所示。



圖十一、介入性透視攝影有效劑量之評估流程

#### (四) 電腦斷層輻射劑量調查方法

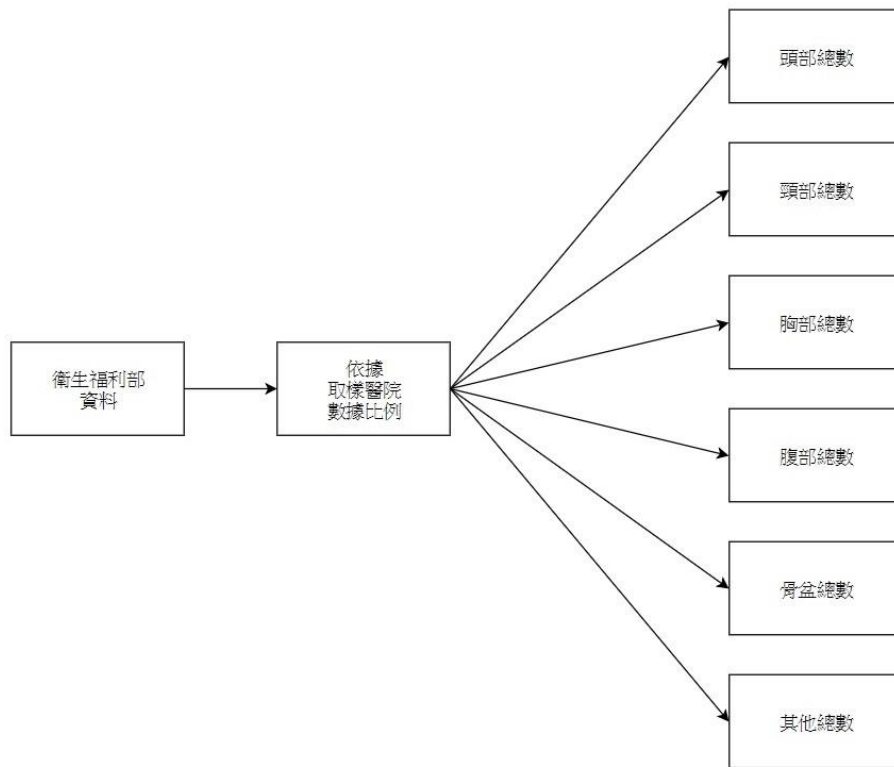
電腦斷層國民劑量評估流程簡表如下所示



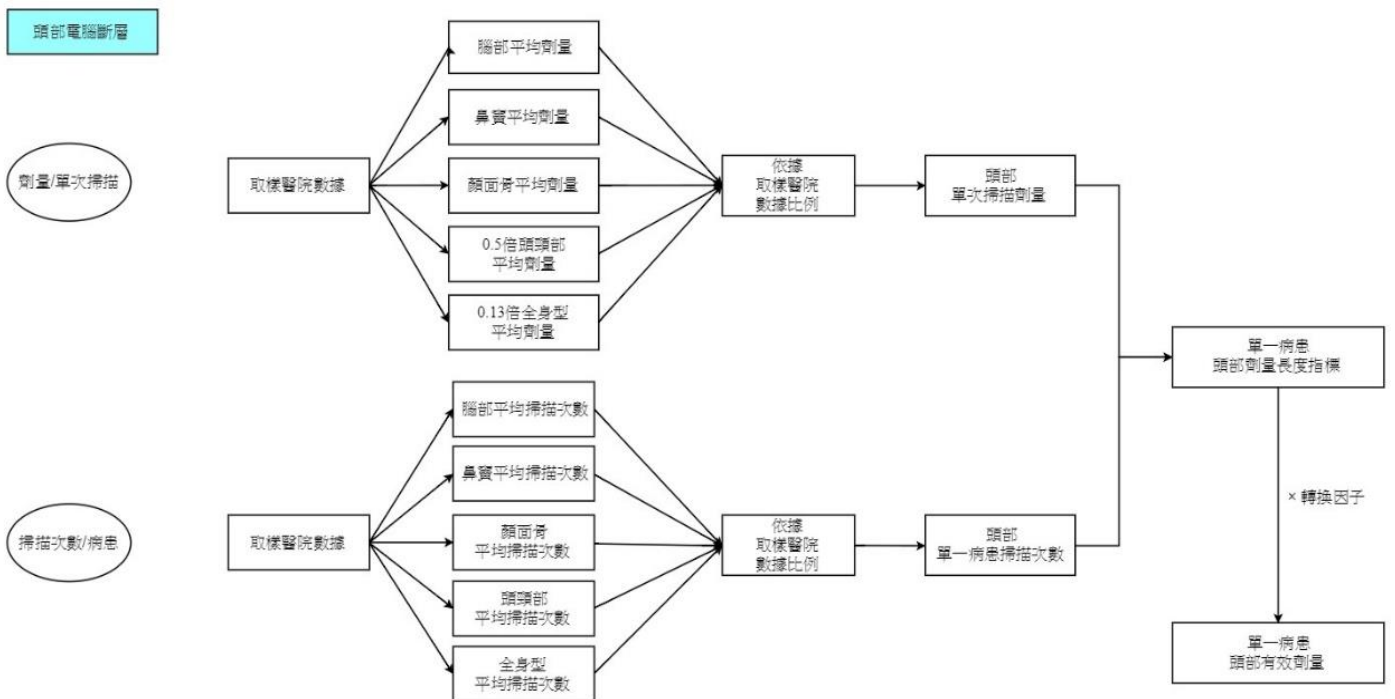
電腦斷層序列檢查相對於一般X光攝影單次輻射劑量較高，而近年來，利用電腦斷層儀器進行健康檢查(非健保之自費檢查)的比例也逐年增長，因此電腦斷層序列年度數量利用衛生福利部公布的年度

資料：「歷年特定醫療技術檢查檢驗醫療儀器使用人次」，此人次中包含著健康保險與健康檢查資訊，然而衛生福利部公布的資料只有人次沒有針對特定部位的年度數量進行分類，因此需利用取樣醫院所得到的數據比例進行分類，將電腦斷層檢查分為六大類，分別為頭部、頸部、胸部、腹部、骨盆與其他類。流程如圖十二所示。

電腦斷層的個別序列劑量評估需透過取樣醫院的實際劑量數據進行評估，資料的數據須達年度資料的百分之十以確保取樣資料具有代表性，然而電腦斷層在實際運用上相當複雜，以頭部為例，有分為腦部、鼻竇、顏面骨電腦斷層等，甚至對於外傷或癌症病患會有頭頸部、全身型電腦斷層等較長範圍的掃描，因此在評估頭部單次掃描劑量時，需依照取樣醫院數據的比例進行權重取得平均值，除此之外，不同種類的檢查掃描次數也不盡相同，甚至依照病情的需要，不同病患進行相同檢查所需掃描的次數也略有差別，因而在評估頭部單一病患掃描次數時，需依照取樣醫院所得的數據，根據不同比例進行權重取得平均。評估流程如圖十三所示。

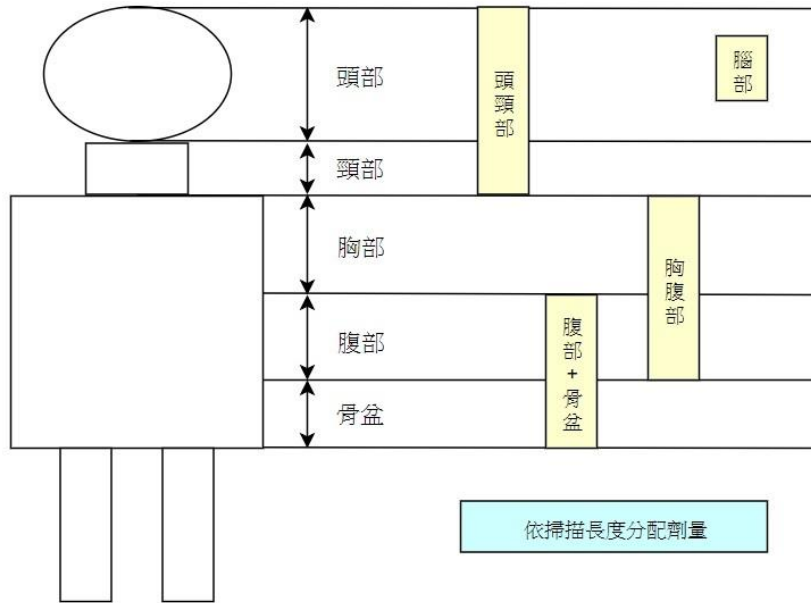


圖十二、納入國民劑量評估的電腦斷層之主要分類



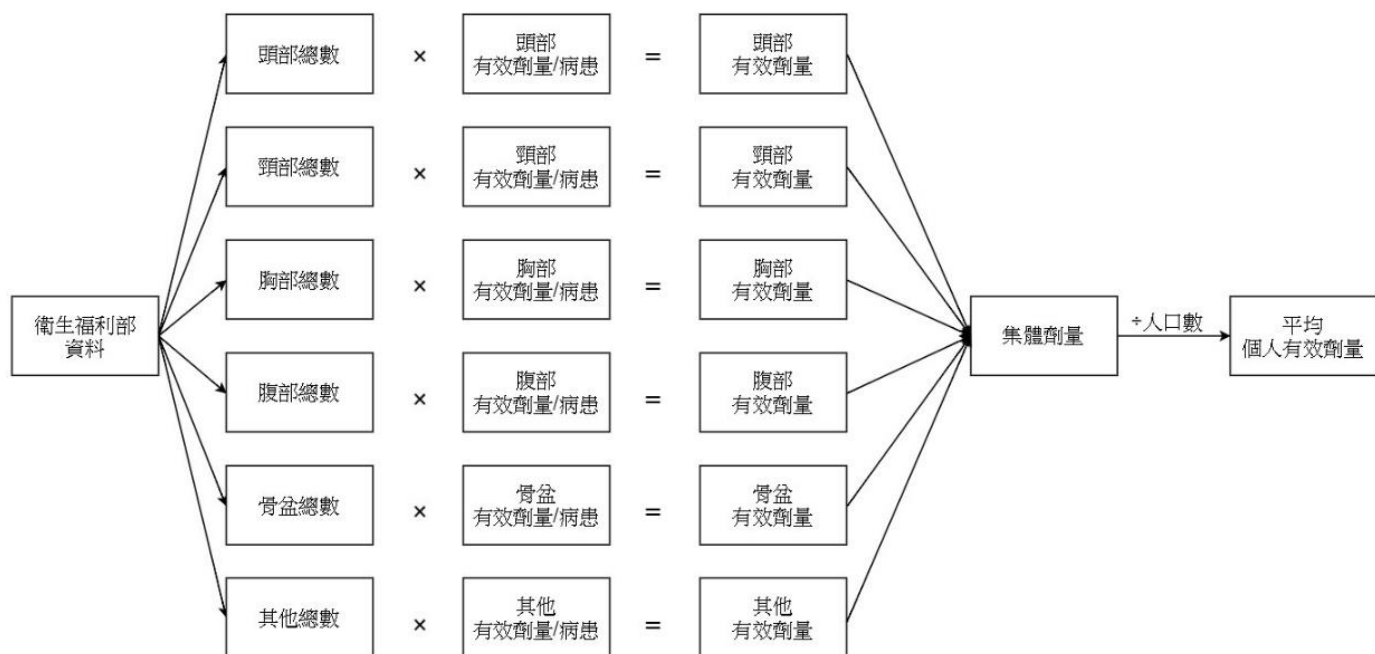
圖十三、電腦斷層單一病人單一程序的有效劑量之評估流程

根據流程圖中所示，依據不同檢查的權重所得到單一病患頭部劑量長度乘積( Dose Length Product, DLP )，再乘上劑量轉換因子，取得單一病患頭部有效劑量。針對大範圍的電腦斷層掃描，則根據掃描實際長度給予每部位劑量權重，如圖十四所示。



圖十四、電腦斷層掃描軀幹分區

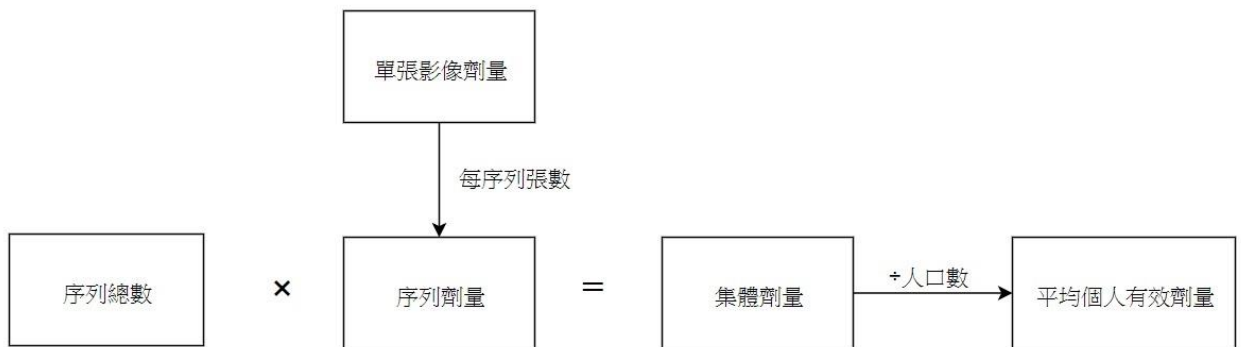
除了頭部電腦斷層之外，其他的五大類也依照相同的方式進行權重平均，取得個別分類的序列有效劑量。再分別將各序列的年度數量乘上各序列的單次有效劑量取得電腦斷層的集體劑量，利用行政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度電腦斷層平均個人有效劑量。評估方法如圖十五。



圖十五、電腦斷層有效劑量之評估流程

### (五) 乳房攝影輻射劑量調查方法

乳房攝影的國民劑量評估須從全民健保研究資料庫中取得年度序列數量，因為不同醫院或不同症狀每序列所取像的張數也不相同，因此需透過取樣醫院的實際數據得到平均每序列的取像張數，單張影像劑量也依照同樣的方式取得，而取樣資料的數據須達年度資料的百分之十以確保取樣資料具有代表性。除此之外，為了確保劑量的數值是準確的，將抽樣至取樣醫院進行劑量測量，驗證劑量計算的準確性。年度乳房攝影序列數量乘上乳房攝影序列劑量取得乳房攝影的集體劑量，利用行政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度乳房攝影平均個人有效劑量。評估方法流程如圖十六。

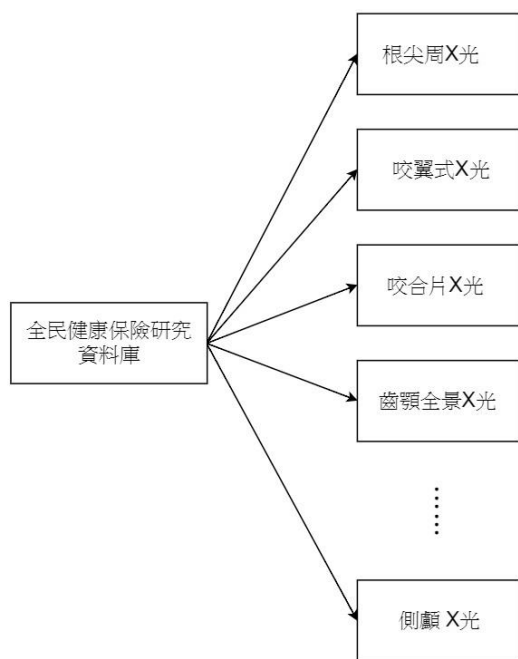


圖十六、乳房攝影有效劑量之評估流程

#### (六) 牙科攝影輻射劑量調查方法

牙科攝影的國民劑量評估須先取得年度序列數量，從全民健保研究資料庫中的代碼序列中，總共分成九種不同序列的檢查項目，如圖十七所示。





圖十七、納入國民劑量評估的牙科攝影之主要分類

牙科攝影的序列劑量將參考國內已發表的文獻進行劑量評估，而不同醫院或診所針對不同症狀每序列的取像張數也不太相同，因此需透過取樣醫院的實際數據得到平均每序列的取像張數，除此之外，為了確保劑量數值是準確的，將抽樣至取樣醫院或診所進行劑量測量，驗證劑量計算的準確性。牙科攝影的年度個別序列總數乘上個別序列有效劑量，取得牙科攝影的集體劑量，再利用行政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度牙科攝影的平均個人有效劑量，流程表如下所示：

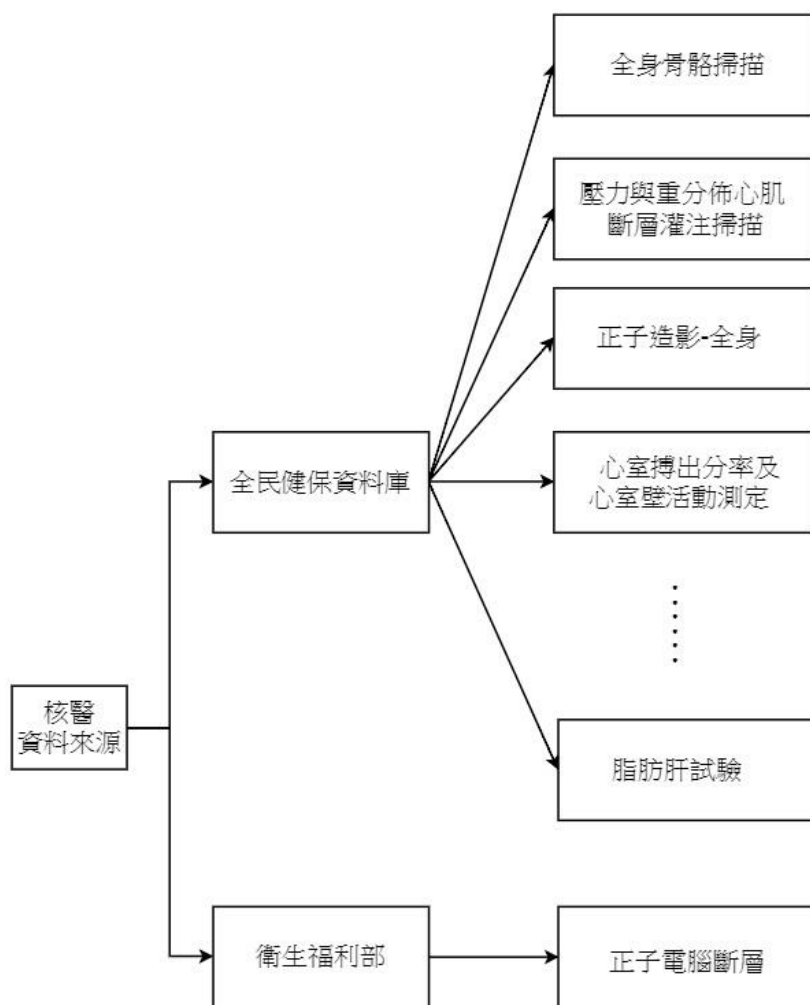


## (七) 核子醫學輻射劑量調查方法

核子醫學國民劑量評估流程簡表如下所示：



核子醫學國民劑量評估中的年度序列數量資料來源分為兩類：全民健康保險研究資料庫與衛生福利部年度資料，因考量近年來醫療健康檢查(非健保之自費檢查)的比例逐年增長，在核子醫學領域中，正子電腦斷層檢查為健康檢查之冠，因此正子電腦斷層年度序列數量利用衛生福利部公布的年度資料：「歷年特定醫療技術檢查檢驗醫療儀器使用人次」，此人次中包含著健康保險與健康檢查資訊，而其他序列的核子醫學檢查則根據全民健保研究資料庫中所取得的年度序列數量。流程如圖十八所示。



圖十八、納入國民劑量評估的核子醫學檢查之主要分類

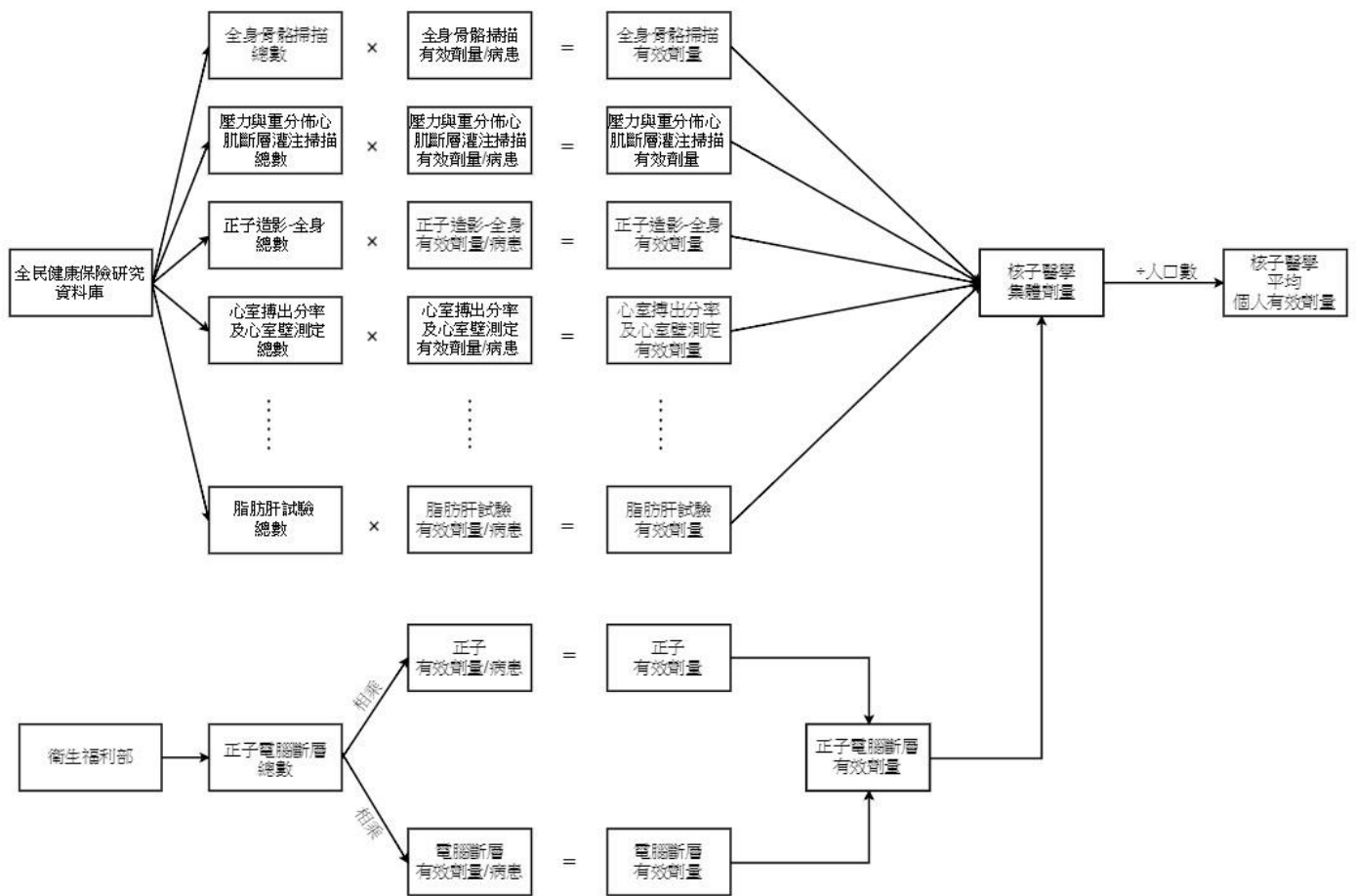
核子醫學的個別序列劑量評估與使用的放射性核種種類、活度有關，需透過取樣醫院的實際訪查、蒐集數據等進行評估，資料的數據須達年度資料的百分之十以確保取樣資料具有代表性，根據國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)所發表的文獻，取得使用不同的放射性藥物的劑量轉換因子，倘若相同的核子醫學檢查序列使用不同的放射性核種時，則根據取樣醫院數據的權重進行平均，以取得單次核子醫學序列的有效劑量。

流程表如下所示。



圖十九、核子醫學單項檢查有效劑量之評估流程

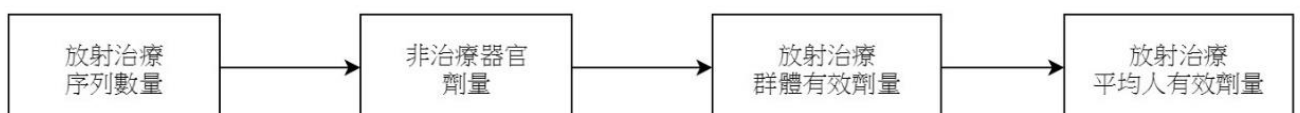
正子電腦斷層掃描的劑量分為正子劑量與電腦斷層劑量兩者之總和，正子劑量的評估方式如上所示，而電腦斷層的劑量則須至取樣醫院進行量測，取得平均值。最後，將各序列的年度數量乘上各序列的單次有效劑量取得核子醫學的集體劑量，利用行政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度核子醫學平均個人有效劑量。評估方法流程如圖二十。



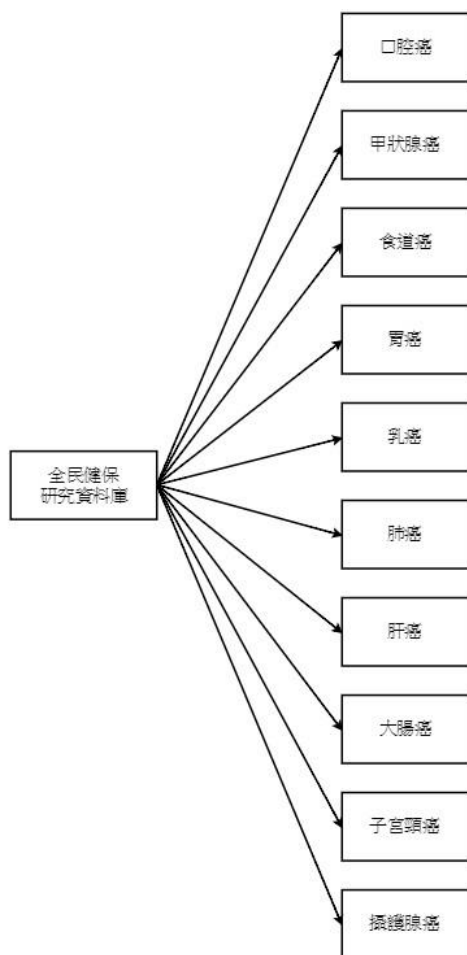
圖二十、核子醫學總有效劑量之評估流程

### (八) 放射治療輻射劑量調查方法

放射治療國民劑量評估流程簡表如下所示：



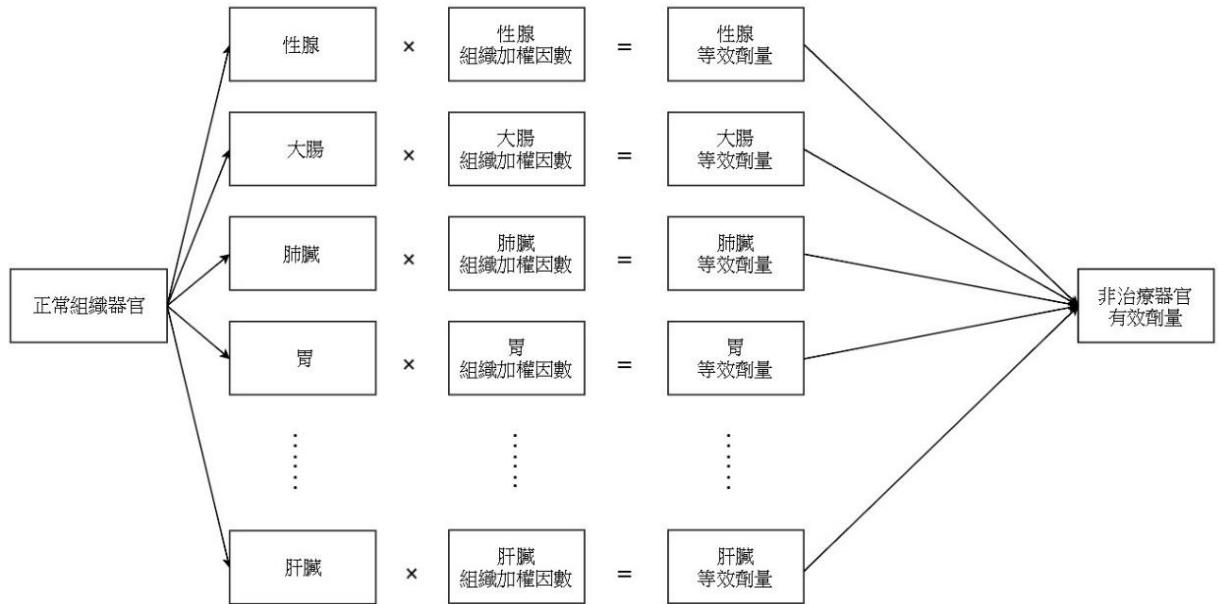
放射治療的國民劑量評估須先取得年度序列數量，選取癌症治療中以放射治療為主的十大癌症進行評估，從全民健保研究資料庫中取得各種癌症的放射治療數量。流程表如圖二十一所示。



圖二十一、納入國民劑量評估的放射治療之主要分類

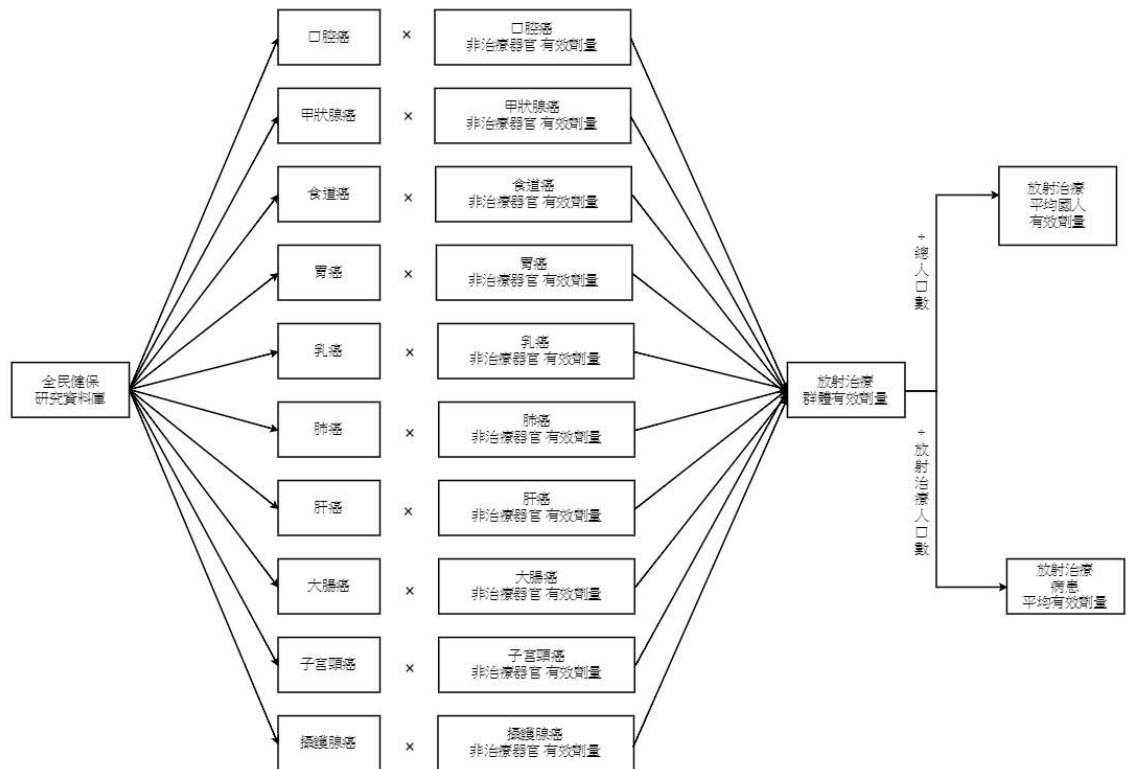
放射治療的單次序列劑量為評估非治療器官(正常組織器官)所接受的輻射劑量，將正常器官因為放射治療所接受的輻射劑量乘以該器官的組織加權因數得到該器官等效劑量，再將所有正常器官所接受的等效劑量相加取得非治療器官的有效劑量。流程表如圖二十

二所示。



圖二十二、放射治療單項治療項目的有效劑量之評估流程

放射治療的年度癌症總數乘上非治療器官有效劑量，取得放射治療的非治療器官集體劑量，再利用行政院內政部的台灣總人口數，計算台灣年度放射治療的平均國人有效劑量，除此之外，也可利用台灣年度放射治療的總人口數，計算台灣放射治療人口年平均個人有效劑量，流程如圖二十三所示。



圖二十三、放射治療總有效劑量之評估流程

#### 四、 調查的類別與檢查序列之建議

目前台灣對於醫療輻射國民劑量的評估數據相對缺乏，且評估劑量所蒐集之樣本數也相對較少，根據先前的台灣學者所發表之醫療輻射國民劑量文獻(Chen, 2011b; Yeh, 2016)進行整理，比對美國輻射防護與度量委員會的160號報告 (NCRP, 2009)、英國國民健康局發表的2008年英國人口游離輻射曝露的劑量結果(HPA, 2010)，整理出各大類的序列輻射劑量表，如表三至表十所示。每個表格都列出最關鍵序列（即頻次最高）的劑量結果。



表三、美國、英國、台灣電腦斷層序列劑量比較表

電腦斷層序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
頭部電腦斷層	2 (0.9-4)	1.4	2
頸部電腦斷層		3	5.7
胸部電腦斷層	7 (4-18)	6.6	10.6
腹部電腦斷層	10 (3-25)	5.6	20.1
骨盆電腦斷層	10 (3-25)	6	15.9
其他	5 (1-10)		4.3

表四、美國、英國、台灣核子醫學劑量比較表（依據台灣頻次排序）

核子醫學序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
全身骨骼掃描	6.3	3	4.44
壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描	17.7	12.9	10.7448
正子造影-全身	14.1	7	6.66
心室搏出分率及心室壁活動測定	7.8		3.7
全身炎症掃描	8.5	8.1	11.322
動態腎/泌尿功能測定	2.2	0.6	0.888
鎘-99m 甲狀腺掃描	4.8	0.9	2.22
唾腺閃爍攝影			4.44
碘-131 癌症追蹤檢查	11.5	10.1	4.588
全身腫瘤掃描	25	13.8	18.87
腎臟掃描	2.2	1.4	0.888
靜態核醫心臟功能檢查	17.7	12.9	10.7448
腦質斷層灌注掃描	6.9	4.8	6.66
三相骨骼掃描	6.3		4.44
肺灌注檢查	2	0.9	3.256
淋巴閃爍攝影	3.5		0.74

表五、美國、英國、台灣介入性透視攝影心臟類序列劑量比較（依據台灣頻次排序）

介入性透視攝影(心臟類) 序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
心導管－單側	7.1	3.9	
冠狀動脈攝影	7.1	3.9	
心室造影	7.1	3.9	
經皮冠狀動脈擴張術－一條血管	15.1	7.8	7.2
心導管(包含冠狀動脈攝影)	14.2	7.8	
經皮冠狀動脈擴張術－二條血管	30.2	15.6	18.2
經皮冠狀血管成形術	15.1	7.8	7.2
心導管－二側	14.2	7.8	
不整脈經導管燒灼術	17.3	6.9	

表六、美國、英國、台灣介入性透視攝影非心臟類序列劑量比較表（  
依據台灣頻次排序）

介入性透視攝影(非心臟類) 序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
血管整形術			23
血管阻塞術	70	21.2	32.3
子宮輸卵管造影	1.2	0.42	0.6
經皮穿肝膽管引流術	4.6	4.58	1.2
皮下穿刺腎造瘻術	1.6	2.09	
尿道排泄造影術	2	1.86	
逆行性膽道及胰管造影	3.9	2.46	5
電腦斷層導引下組織切片	1.6	2.6	
四肢動靜脈造影	7.1	2.3	
經皮椎體成形術	15.6	2.57	
內臟血管造影	6	8.51	
主動脈造影	5	5.1	
頸動脈造影— 雙側	15	8.45	
椎動靜脈造影	0.8	2.57	
關節造影術	0.2	0.1	
順行性靜脈 X 光攝影	0.37	0.56	
脊髓造影 — 腰椎	4	2.38	
主動脈氣球裝置術	6.8	5.1	
數位減像血管攝影(靜脈)	7.1	1.3	
經皮穿刺膽囊引流術	4	6.85	
鎖骨下動脈造影	4.1	3.6	
乳房攝影立體定位組織切片術	1.6	2.6	
肺動脈造影	6	8.2	

表七、美國、英國、台灣傳統透視攝影序列劑量比較表（依據台灣頻次排序）

傳統透視攝影 序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
靜脈注射泌尿系統造影術	3	2.1	
下消化道攝影	8	2.2	3.5
上消化道攝影	6	2	4.5
食道攝影	6	1.5	1.2
小腸系統	6	1.3	
T型管子膽囊造影術		1.1	
逆行性腎盂造影術 - 單側	2.3	1.55	
順行性腎盂造影術	0.6	1.55	
螢光透視吞嚥錄影攝影檢查	6	0.52	
膀胱造影術	1.8	0.53	
瘻管造影術		2.65	
逆行性腎盂造影術 - 雙側	4.6	3.1	

表八、美國、英國、台灣一般X光序列劑量比較表

一般 X 光序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
胸部 X 光	0.1 (0.05-0.24)	0.014	0.06
腎臟-輸尿管-膀胱 X 光	0.7 (0.04-1.1)	0.43	0.38
腹部 X 光	0.7 (0.04-1.1)	0.43	0.48
頭部 X 光	0.1 (0.03-0.22)	0.07	0.04
脊椎 X 光	1.5 (0.5-1.8)	0.6	1.15
肩部 X 光	0.008	0.011	0.07
上肢 X 光	0	0.0009	0.001
下肢 X 光	0.005	0.0002	0.002
骨盆 X 光	0.6 (0.2-1.2)	0.28	0.44

表九、美國、英國、台灣乳房攝影劑量比較表

乳房攝影序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
平均乳腺劑量/張	1.8	2.1	1.42
序列張數	2	2	1.88
劑量	0.42	0.5	0.32

表十、美國、英國、台灣牙科攝影序列劑量比較表（依據台灣頻次排序）

牙科攝影序列	美國(mSv)	英國(mSv)	台灣(mSv)
根尖周 X 光攝影	0.005	0.005	0.007
咬翼式 X 光攝影	0.005	0.005	0.011
咬合片 X 光攝影			0.015
齒顎全景 X 光片攝影	0.01	0.019	0.018
測顱 X 光攝影	0.012		0.009
顱顎關節 X 光攝影（單側）			0.013
齶蓋切除術			0.018
矯正檢查			0.027

醫療輻射國民劑量評估共分為八大類：電腦斷層、核子醫學、介入性透視攝影、傳統透視攝影、一般X光、乳房攝影、牙科攝影、與放射治療，如表十一所列。

醫療輻射國民劑量的抽樣實地調查建議篩選至少12家醫院，涵蓋北中南東等四區地理區域，且包括醫學中心、區域醫院、地區醫院等三個醫院層級分類，且抽樣調查數目至少能包含10%的檢查數，以使得抽樣的結果具有代表性。

表十一、醫療輻射國民劑量評估分類與建議納入調查的項目

類別	備註
1. 電腦斷層	根據表三的比較結果，建議調查國內22種電腦斷層檢查，再依據掃描部位分成五類。根據 NCRP 160 號報告，電腦斷層的集體有效劑量佔所有醫療輻射劑量的 49%。
1.1. 頭部電腦斷層	
1.2. 頸部電腦斷層	
1.3. 胸部電腦斷層	
1.4. 腹部電腦斷層	
1.5. 骨盆電腦斷層	
1.6. 其他	
2. 核子醫學	根據表四的比較結果，建議調查國內16種核子醫學檢查的序列，即可包含94%的檢查量，歸納成類別 2.1~2.6。根據 NCRP 160 號報告，核子醫學的集體有效劑量佔總醫療輻射劑量的 26%。
2.1. 全身骨骼掃描	
2.2. 壓力與重分佈心肌斷層灌注掃描	
2.3. 正子造影-全身	
2.4. 心室搏出分率及心室壁活動測定	
2.5. 全身炎症掃描	
2.6. 其他	

(後續)

類別	備註
3. 介入性透視攝影	根據表五的比較結果，建議調查國內
3.1. 介入性透視攝影(心臟類)	9種心臟介入性透視攝影的序列，即
3.1.1. 心導管—單側	可包含98%的檢查量，歸納成類別
3.1.2. 冠狀動脈攝影	3.1.1~3.1.6。
3.1.3. 心室造影	
3.1.4. 經皮冠狀動脈擴張術	
3.1.5. 心導管(包含冠狀動脈攝影)	
3.1.6. 其他	
3.2. 介入性透視攝影(非心臟類)	根據表六的比較結果，建議調查23種
3.2.1. 血管整形術	國內非心臟介入性透視攝影的序列，
3.2.2. 血管阻塞術	即可包含94%的檢查量，歸納成類別
3.2.3. 子宮輸卵管造影	3.2.1~3.2.6。根據NCRP 160號報告，
3.2.4. 經皮穿肝膽管引流術	介入性透視攝影的集體有效劑量佔總
3.2.5. 皮下穿刺腎造瘻術	醫療輻射劑量的14%。
3.2.6. 其他	
4. 傳統透視攝影	根據表七的比較結果，建議調查12種
4.1. 靜脈注射泌尿系統造影術	國內傳統透視攝影的序列，即可包含
4.2. 下消化道攝影	81%的檢查量，歸納成類別4.1~4.6。
4.3. 上消化道攝影	根據NCRP 160號報告，傳統透視攝
4.4. 食道攝影	影的集體有效劑量佔總醫療輻射劑量
4.5. 小腸系統	的3.6%。
4.6. 其他	
(後續)	

類別	備註
5. 一般傳統 X 光	根據表八的比較結果，建議調查國內 26 種一般傳統 X 光檢查，再依據照射部位分成六類。根據 NCRP 160 號報告，電腦斷層的集體有效劑量佔所有醫療輻射劑量的 6.4%。
5.1. 頭部 X 光	
5.2. 胸部 X 光	
5.3. 腹部骨盆腔 X 光	
5.4. 腎臟-輸尿管-膀胱 X 光	
5.5. 脊椎 X 光	
5.6. 四肢 X 光	
6. 乳房攝影	根據表九的比較結果，建議調查國內乳房攝影檢查的序列張數與每張影像的照射平均乳腺劑量。根據 NCRP 160 號報告，乳房攝影的集體有效劑量佔所有醫療輻射劑量的 0.7%。
7. 牙科攝影	根據表十的比較結果，建議調查 8 種國內牙科攝影的序列，歸納成類別 7.1~7.6。根據 NCRP 160 號報告，介入性透視攝影的集體有效劑量佔總醫療輻射劑量的 0.3%。
7.1. 根尖周 X 光攝影	
7.2. 咬翼式 X 光攝影	
7.3. 咬合片 X 光攝影	
7.4. 齒顎全景 X 光片攝影	
7.5. 測顱 X 光攝影	
7.6. 其他	
8. 放射治療	NCRP 160 號報告提及應調查放射治療區域外的正常器官所接受到的醫療輻射劑量，美國結果為平均每人 1.18 mSv。建議選擇國內 10 大癌症進行調查。

建議可將上述八大類別分別形成劑量評估的標準作業流程，以作為研究資產。此外，針對八大類、44項檢查序列包含診斷檢查及治



療細項，其國民劑量評估結果：每個檢查序列的有效劑量、集體有效劑量、與人均有效劑量，建置成台灣地區醫療輻射國民劑量資料庫，彙整建立醫療輻射劑量查詢網站，提供民眾可使用網站簡易評估個人的醫療輻射劑量。

## 五、醫療輻射國民劑量評估調查所需之資源

醫療輻射國民劑量的調查所需資源列於表十二。

表十二、醫療輻射劑量調查之所需設備、調查項目、與劑量評估方法

項目	度量劑量所需設備	調查項目	有效劑量評估軟體/模式
電腦斷層	筆型游離腔 CT劑量假體	各種檢查項目的頻次、 CTDI <sub>vol</sub> 、DLP、	CT Expo Impact CT 自行設計的蒙卡程式
乳房攝影	乳房攝影用偵檢器	各種檢查項目的頻次、入射曝露量(ESD)、技術參數(kVp, mAs, 靶與濾片組合)、曝露時間、平均乳腺劑量(MGD)	ACR 劑量轉換模式 歐盟 劑量轉換模式
一般 X 光攝影	一般 X 光用偵檢器	各種檢查項目的頻次、入射曝露量(ESD)、技術參數(kVp, mAs, 靶與濾片組合)、曝露時間、照野尺寸與位置	PCXMC 軟體 自行設計的蒙卡程式
牙科 X 光攝影	一般 X 光用偵檢器	各種檢查項目的頻次、入射曝露量(ESD)、技術參數(kVp, mAs, 靶與濾片組合)、曝露時間、照野尺寸與位置	使用參考文獻
傳統透視攝影	一般 X 光用偵檢器 DAP/KAP 游離腔	各種檢查項目的頻次、參考點曝露量(ESD)、技術參數(kVp, 靶與濾片組合)、曝露時間、KAP、照野尺寸與位置	PCXMC 軟體 自行設計的蒙卡程式
介入性透視	一般 X 光用偵檢器 DAP/KAP 游離腔	各種檢查項目的頻次、參考點曝露量(ESD)、技術參數(kVp, 靶與濾片組合)、曝露時間、KAP、照野尺寸與位置	PCXMC 軟體 自行設計的蒙卡程式
核子醫學	無	各種檢查項目治療項目的頻次、注射藥物的總活度	體內劑量評估軟體 自行設計的蒙卡程式
放射治療	無	各種治療項目的頻次、治療位置	自行開發照野外器官的劑量評估模式

## 六、 結論

本計畫已完成對台灣地區完整醫療輻射國民劑量調查計畫的前期研究評估，參酌美國與英國的做法，彙整台灣過去的研究經驗，建議將醫療輻射劑量分為八個類別來調查與評估，以考慮台灣現在的狀況，針對此八個類別分別提出合適的評估方法，並且整理出所需的軟硬體設備，提供主管機關作為未來執行的參考。

## 肆、 參考資料

Bly, R., Jahnen, A., Jarvinen, H., Olerud, H., & Vassileva, J. (2011). European population dose from radiodiagnostic procedures—early results of Dose Datamed 2.

Chen, T. R., & Tung, C.-J. (2011). Trend and risk of diagnostic medical exposure to Taiwan population. Presented at the Proceedings 2011 International Conference on Human Health and Biomedical Engineering. [http : //doi.org/10.1109/hhbe.2011.6029057](http://doi.org/10.1109/hhbe.2011.6029057)

Chen, T.R., Tyan, Y.S., Teng, P.S., Chou, J.H., Yeh, C.Y., Shao, C.H., Tung, C.J. (2011). Population dose from medical exposure in Taiwan for 2008. *Medical Physics*, 38(6), 3139-31478.

HALL, E. J., & Brenner, D. J. (2008). Cancer risks from diagnostic radiology. *The British Journal of Radiology*. [http : //doi.org/10.1259/bjr/01948454](http://doi.org/10.1259/bjr/01948454)

HPA. (2010). Frequency and Collective Dose for Medical and Dental X-ray Examinations in the UK, 2008 (No. HPA-CRCE-012) (pp. 1–58). Health Protection Agency.

HPS. (2009, March 10). People Exposed to More Radiation from Medical, pp. 1–10.

Mettler, F. A., Huda, W., Yoshizumi, T. T., & Mahesh, M. (2008). Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine : a catalog. *Radiology*, 248(1), 254–263. [http : //doi.org/10.1148/radiol.2481071451](http://doi.org/10.1148/radiol.2481071451)

Muhogora, W. E., Ahmed, N. A., Almosabihi, A., Alsuwaidi, J. S., Beganovic, A., Ciraj-Bjelac, O., et al. (2008). \*Patient doses in radiographic examinations in 12

countries in Asia, Africa, and Eastern Europe : initial results from IAEA projects. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 190(6), 1453–1461. [http : //doi.org/10.2214/AJR.07.3039](http://doi.org/10.2214/AJR.07.3039)

NCRP. (2009). *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States* (No. NCRP Report No. 160, NCRP Publications) (pp. 1–403). Bethesda, MD : National Council on Radiation Protection and Measurements.

Osei, E. K., & Darko, J. (2013). A survey of organ equivalent and effective doses from diagnostic radiology procedures. *ISRN Radiology*, 2013, 204346. [http : //doi.org/10.5402/2013/204346](http://doi.org/10.5402/2013/204346)

PHE. (2016). *Ionizing Radiation Exposure of the UK Population : 2010 Review* (No. PHE-CRCE-026) (pp. 1–48).

Tsai, H.-Y., Tung, C.-J., Yu, C. C., Yu, C.-C., & Tyan, Y. S. (2007). Survey of computed tomography scanners in Taiwan : dose descriptors, dose guidance levels, and effective doses. *Medical Physics*, 34(4), 1234–1243. [http : //doi.org/10.1118/1.2712412](http://doi.org/10.1118/1.2712412)

UNSCEAR. (2017). *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2016 Report (Vol. 2016). United Nations. [http : //doi.org/10.18356/2055d684-en](http://doi.org/10.18356/2055d684-en)

Wall, B. F. (2009). Ionising radiation exposure of the population of the United States : NCRP Report No. 160. *Radiation Protection Dosimetry*, 136(2), 136–138. [http : //doi.org/10.1093/rpd/ncp162](http://doi.org/10.1093/rpd/ncp162)

Yeh, D.-M., Tsai, H.-Y., Tyan, Y.-S., Chang, Y.-C., Pan, L.-K., & Chen, T.-R. (2016). The Population Effective Dose of Medical Computed Tomography Examinations in Taiwan for 2013. *PLoS ONE*, 11(10), e0165526. [http : //doi.org/10.1371/journal.pone.0165526](http://doi.org/10.1371/journal.pone.0165526)

許弼勝. (2017). 利用全民健保資料庫推估國民醫療診斷用輻射劑量. 高雄醫學大學.