

# 全国医疗照射频度估算方法研究

牛亚婷 苏垠平 梁婧 侯长松 孙全富

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所 辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室, 北京 100088

通信作者: 孙全富, Email: sunquanfu@nirp.chinacdc.cn

**【摘要】 目的** 利用部分省份放射诊疗机构的调查数据, 研究全国放射诊疗总频度的估算方法。**方法** 全国部分省份医疗照射频度水平委托调查涉及 25 个省份的 557 家放射诊疗机构。对数据进行了变量间的相关性分析、多重线性回归分析, 比较包含不同变量组合的模型拟合效果。**结果** 医疗照射频度与门急诊人次、放射诊疗设备数量、放射工作人员数量之间存在大的相关性 ( $|r| > 0.5$ )。从调查数据中通过分层随机抽样, 得到日均放射诊疗工作负荷的代表性样本。利用多重线性回归, 建立放射诊疗总人次与门急诊人次、住院人次、放射诊疗设备数量、放射工作人员数量和医院级别之间的数学模型, 并进行了模型诊断。估算 2016 年全国放射诊疗总人次为 5.89 亿。同时, 采用稳健回归和中位数回归, 对医疗照射频次进行了估算。**结论** 对全国放射诊疗总频度的估算有多种方法, 建议采用随机抽样, 结合统计和监测数据进行。样本的代表性十分重要, 模型的指定和优化也需要更深入的研究。

**【关键词】** 放射诊断; 放射治疗; 医疗照射; 频度; 估算

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.05.002

## Study on estimation of medical exposure frequency in China

Niu Yating, Su Yiping, Liang Jing, Hou Changsong, Sun Quanfu

Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, China CDC, National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100088, China

Corresponding author: Sun Quanfu, Email: sunquanfu@nirp.chinacdc.cn

**【Abstract】 Objective** To study the estimation method of medical exposure frequency in China through the survey of diagnostic radiology and radiotherapy institutions in selected provinces. **Methods** A survey of medical exposure frequency was carried out involving 557 diagnostic radiology and radiotherapy institutions in 25 provinces. The correlation analysis and multiple linear regression analysis were conducted, with the fitting effects of the models with different variables being compared. **Results** The total medical exposure frequencies highly correlated with number of outpatient, number of equipment and number of radiation workers ( $|r| > 0.5$ ). Representative samples of the daily medical exposure workload were obtained by stratified random sampling from the survey data. Mathematical models were built using the multiple linear regression between total medical exposure frequency and hospital levels, number of outpatients, number of inpatients, number of equipment, and number of radiation workers. The total medical exposure frequency in 2016 was estimated to be 589 million examinations based on the models. In addition, the frequencies of medical procedures were derived using the robust regression and the median regression. **Conclusions** There are several methods for estimating the total medical exposure frequency. It is desirable to use the stratified random sampling combined with the published statistical and monitoring data. The representativeness of sample is critical. The specification and optimization of models also require further study.

**【Key words】** Diagnostic radiology; Radiotherapy; Medical exposure; Frequency; Estimation

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.05.002

随着经济和社会的发展, 我国放射诊疗发展迅猛, 目前据了解约有 6 万家放射诊疗机构和 12 万台放射诊疗设备, 医疗照射正在成为越来越重要的电离辐射来源之一, 医疗照射水平包括总频度与患者

剂量及其年龄-性别-检查方法-检查部位等分布的监测与估算凸显重要。

估算全国的医疗照射水平, 需要获得医疗照射频度及其分布数据和有代表性的患者剂量数据, 其

中频度数据是基础。全国医疗照射频度调查方法近年来备受关注<sup>[1]</sup>。获得频度数据的方法主要有以下 3 种:①对全部医院开展基于纸质调查表的普查;如我国曾于 20 世纪八九十年代末期开展的两次全国放射诊疗水平调查<sup>[2-3]</sup>。②对部分医院开展调查,再通过一定的模型估算总体频度数据。如苏垠平等<sup>[4]</sup>利用样本中放射诊疗占医疗服务的比例外推,估算我国 2005—2014 年间的年总频度;江苏省采用分层随机抽样的方法,用设备平均负荷估算了江苏省的医疗照射频度<sup>[5]</sup>;美国从 1973 年开始,设立了全国 X 射线检查趋势评估(NEXT)项目<sup>[6]</sup>,每年从全国选择 200~300 家医院(最多不超过 500 家),开展频度和照射参数的调查与监测工作。③基于医疗保险、区域放射信息系统(RIS)、图片存档及通信系统(PACS)等云平台数据,重建医疗照射频度数据,如辐射防护与核安全医学所正在浙江宁波进行基于区域医院信息云平台重建照射频度和照射参数的监测试点。我国台湾地区依据全民健康保险数据估算了台湾地区的医疗照射水平<sup>[7]</sup>。但其难点是建立覆盖整个区域的平台,或授权使用这样的平台。

本研究拟利用 2016 年 25 个省 557 家放射诊疗机构的调查数据,研究医疗照射频度与其他变量之间的关系,建立估算全国医疗照射总人次的数学模型。

## 资料与方法

1. 研究对象:根据国家卫健委的统计数据,2016 年底,全国共有 2.9 万家医院<sup>[8]</sup>,假定这些医院均有放射诊疗设备,基层医疗卫生机构 92.6 万家,其中包括社区卫生服务中心、乡镇卫生院、诊所(医务室)和村卫生室,假定全部 3.7 万家乡镇卫生院都至少有一台放射诊断设备是合理的;此外,还有 2.4 万家专业公共卫生机构,其中部分也有放射诊断设备。因此,保守假设是全国有 6.6 万家放射诊疗机构。

2. 调查方法:本调查委托 25 个省市的省级放射卫生技术机构通过配额抽样方式(每个省市要求完成 10~30 家医院的调查)选择了 557 家放射诊疗机构,在抽样过程中考虑了地区经济发展和医院级别分布,在执行工作中对随机性无严格要求。

抽样完成后,对选中的医疗机构采用问卷调查方式收集资料。调查表内容包括医用辐射机构基

本情况、放射诊疗设备信息、放射工作人员信息、放射诊断和放射治疗频度等。调查表填写由课题组成员或医院工作人员完成,调查详细情况见文献[9]。

3. 数据整理:利用 EpiData 3.1 建立医疗照射总人次数据库,人工录入调查数据。数据整理包括对数据进行异常数值和变量间的逻辑错误检查,发现有不合理数据后首先与纸质调查表或调查机构对比、确认并修改;删除下列数据:存在逻辑错误(比如门急诊人次小于住院数)的记录和放射工作人员、放射诊疗设备数量或放射诊疗人次等数据为零的记录。

分析中主要变量的定义如下:医疗照射总人次为常规 X 射线诊断,胃肠机、口腔、碎石等应用总人次,CT 诊断,介入放射学,放射治疗与核医学等应用总人次之和;医疗服务为门急诊人次与住院人次之和。

## 4. 统计分析方法

(1)统计描述:本调查收集的数据不符合正态分布,因此用中位数( $M$ )和四分位数间距(IQR)表示;并使用率或构成比描述数据构成。

(2)模型拟合:本研究采用多重线性回归方法,以调查的医疗照射总人次为因变量,以医院级别[(未定级医院、一级医院、二级医院、三级医院和基层医疗卫生机构),以哑变量形式进入模型]、门急诊人次、住院人次、放射诊疗设备数量、放射工作人员数量等变量为可能的自变量,进行模型拟合。此外,鉴于上述变量均为 0 时,医疗照射总人次应为 0,故采用不含常数项的线性回归模型;考虑到建立模型的主要目的是进行估算,因此没有对原始数据进行变量变换;基于调查数据通过分层随机抽样,构建了以医院日均放射诊疗工作负荷为特征的代表性样本。

不同模型间主要以校正决定系数( $R_{adj}^2$ )和赤池信息准则(AIC)来评价模型拟合效果。其评价标准为  $R_{adj}^2$  值越大,AIC 值越小时模型拟合效果越好。对选定模型从模型是否满足线性假设,残差是否满足正态性、方差齐性,变量间是否存在共线性,异常值和强影响点处理等方面进行模型诊断,并比较了最小二乘法、稳健回归和中位数回归的估算结果。

估算全国总人次时,使用的数据是《中国卫生和计划生育统计年鉴》提供的全国分级的医疗卫生机构数量,总诊疗人次和住院人次;放射工作人员

数量和放射诊疗设备数量来自于全国监测项目。

数据清理、代表性样本抽取用 Stata 12.0 实现,模型拟合和诊断等用 SAS 9.4 reg、robustreg 和 quantreg 等程序实现。

## 结 果

1. 总结调查结果:本调查截至 2017 年 11 月,共收集 25 个省 557 家放射诊疗机构的 2016 年度的医疗服务数据。经过数据整理,用于本研究的有 477 家机构的数据,共涉及 3 860 台放射诊疗设备、16 968 名放射工作人员、222 256 683 人次医疗服务和 39 428 423 人次的放射诊疗,放射诊疗与医疗服务的比例为 17.74%。在全部放射诊疗中,常规 X 射线诊断占比为 52.4%,CT 检查为 37.1%,胃肠镜检查为 7.1%,介入放射学为 0.7%,放射治疗为 1.5%,核医学为 1.1%。

本调查的变量包括门急诊人次、住院人次、放

射工作人员数量、放射诊疗设备数量和放射诊疗人次数据,对其进行分布检验结果显示均不符合正态分布,因此,用 *M* 和 *IQR* 对其进行集中趋势和离散趋势描述,具体情况列于表 1。由表可知,医疗照射总人次占医疗服务人次的比值在未定级医院和一级医院中显著偏高。据此比值可以粗略估算我国放射诊疗的总人次。

为了检验调查的代表性,依据 2016 年的卫生统计年鉴数据,计算了全国数据和调查数据中各级放射诊疗机构的构成比。2016 年全国共有 983 394 家医疗卫生机构,开展了 793 170.0 万人次的医疗服务。根据本研究的目的,有代表性的样本需要能反映日均放射诊疗负荷的分布特征。表 2 列出了全国医院构成、医疗服务构成和本调查样本的基本情况。

2. 变量间相关性分析:对医疗照射总人次与可能变量间的关系进行了相关性分析,结果列于表 3。医疗照射总人次与放射工作人员数量之间呈现高

表 1 主要变量的中位数和四分位数间距

Table 1 Median and inter-quartile range of main variables

| 医院级别   | 机构数量 | 门急诊人次    |            | 住院人次     |            | 医疗服务人次   |            | 医疗照射总人次  |            | 放射诊疗设备数量 |            | 放射工作人员数量 |            | 放射诊疗人次/医疗服务人次 |            |
|--------|------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|---------------|------------|
|        |      | <i>M</i> | <i>IQR</i> | <i>M</i>      | <i>IQR</i> |
| 未定级医院  | 6    | 32 600   | 101 022    | 475      | 1 347      | 33 075   | 114 502    | 13 556   | 15 222     | 4        | 4          | 3        | 5          | 0.60          | 0.63       |
| 一级医院   | 39   | 8 426    | 35 275     | 1 018    | 2 115      | 10 000   | 37 976     | 4 215    | 9 576      | 1        | 1          | 2        | 3          | 0.42          | 0.85       |
| 二级医院   | 173  | 151 784  | 320 226    | 9 664    | 16 378     | 161 399  | 345 622    | 33 178   | 65 421     | 4        | 6          | 10       | 19         | 0.21          | 0.29       |
| 三级医院   | 159  | 789 658  | 924 643    | 43 458   | 39 512     | 836 055  | 986 674    | 135 574  | 159 598    | 15       | 14         | 77       | 78         | 0.19          | 0.17       |
| 基层医疗机构 | 100  | 30 329   | 57 387     | 838      | 2 001      | 31 787   | 57 811     | 3 884    | 4 697      | 1        | 0          | 2        | 2          | 0.17          | 0.64       |

表 2 全国 2016 年医疗服务数据与 2016 年调查数据的构成比

Table 2 Composition ratios of national medical service and selected 477 hospitals in 2016 in China

| 诊疗机构级别 | 全国 <sup>[8]</sup> |             | 本调查       |                                |                 |
|--------|-------------------|-------------|-----------|--------------------------------|-----------------|
|        | 机构构成比 (%)         | 医疗服务构成比 (%) | 机构构成比 (%) | 放射诊疗日均工作负荷 <sup>a</sup> (人次/d) | 放射诊疗日均人次构成比 (%) |
| 未定级医院  | 9.61              | 4.19        | 1.26      | 68.7                           | 9.1             |
| 一级医院   | 9.22              | 4.36        | 8.18      | 21.3                           | 2.7             |
| 二级医院   | 7.89              | 24.69       | 36.27     | 144.5                          | 19.1            |
| 三级医院   | 2.22              | 32.56       | 33.33     | 501.7                          | 66.4            |
| 基层医疗机构 | 71.06             | 34.20       | 20.96     | 20.1                           | 2.7             |
| 合计     | 100.00            | 100.00      | 100.00    | 756.2                          | 100.0           |

注:<sup>a</sup>放射诊疗日均工作负荷=同一级别医院放射诊疗总负荷·医院数<sup>-1</sup>·365<sup>-1</sup>,考虑急诊全年均有

表 3 医疗照射总人次与可能变量间的相关系数(*r*)

Table 3 Correlation coefficient (*r*) between total procedure number and selected variables

| 变量       | 医疗照射总人次 | 门急诊人次 | 住院人次 | 诊断设备数量 | 工作人员数量 |
|----------|---------|-------|------|--------|--------|
| 医疗照射总人次  | 1.00    | 0.51  | 0.43 | 0.77   | 0.80   |
| 门急诊人次    | 0.51    | 1.00  | 0.36 | 0.56   | 0.60   |
| 住院人次     | 0.43    | 0.36  | 1.00 | 0.45   | 0.47   |
| 放射诊疗设备数量 | 0.77    | 0.56  | 0.45 | 1.00   | 0.82   |
| 放射工作人员数量 | 0.80    | 0.60  | 0.47 | 0.82   | 1.00   |

度相关( $|r| \geq 0.8$ ),与放射诊疗设备数量、门急诊人次之间呈现中度相关( $0.5 \leq |r| < 0.8$ );放射工作人员数量与放射诊疗设备数量之间也存在高度相关。由表 3 可知,医疗照射总人次与各变量之间均存在线性关系,可以尝试对其进行多重线性回归模型拟合。

3. 包含不同变量的模型拟合效果:在估算总的医疗照射总人次时,公开可用的资料包括门急诊人次、住院人次、医院级别等数据。同时,近年来国家卫健委开展的医用辐射安全监测项目可以提供部分年份的放射诊疗设备数量和放射工作人员数量等数据,国家卫健委监督中心也有较为系统的放射诊疗设备数量信息。

将上述变量进行不同组合,建立了多个回归模型,模型拟合结果列于表 4。模型评价采用  $R_{adj}^2$  和 AIC,由表 4 可知包含放射诊疗设备数量和放射工作人员数量的模型拟合效果更好。但综合考虑,拟合方程中除有统计学意义的变量外,还应包括对医疗照射总人次有影响的变量,如门急诊人次和住院人次等。

将上述第 8 个组合的模型作为选定模型,拟合参数结果列于表 5。

4. 估算全国的放射诊疗总人次:采用上述模型,基于《中国卫生和计划生育统计年鉴 2017 年卷》<sup>[8]</sup>提供的 2016 年的相关数据,估算得到了 2016 年全国放射诊疗总人次为 7.47 亿人次。

为了能够代表全国放射诊疗总体情况,从当前样本中分层抽取约 300 家放射诊疗机构作为估算用的样本,分层依据为医院级别,各级医院的构成比参照表 2 的放射诊疗日均负荷构成比,一级医院及未定级医院 36 家,二级医院 57 家,三级医院 159 家,基层医疗卫生机构 8 家。鉴于可用于抽样的数据中三级医院数量受限,最终有 260 家医院作为估

算样本。

基于这一样本,采用多重线性回归拟合模型的方程为:医疗照射总人次 = -10 459 × 未定级医院数量 - 12 106 × 二级医院数量 - 22 762 × 三级医院数量 - 5 654.16 × 基层医疗卫生机构数量 + 0.0007 × 门急诊人次 + 0.08 × 住院人次 + 831.50 × 放射工作人员数量 + 7 737.45 × 放射诊疗设备数量。

同样采用 2016 年统计数据,估算全国放射诊疗总人次为 5.89 亿人次。考虑到数据中存在明显的异常值和高杠杆记录,也采用了中位数回归和稳健回归,得到全国放射诊疗总人次的估算结果的点估算值分别为 6.84 亿人次和 7.82 亿人次。接保守估计,2016 年全国放射诊疗总人次取 5.89 亿。

表 4 包含不同变量模型的拟合效果

Table 4 Fitting effects for models with different variables

| 包含不同变量的模型                     | 模型拟合效果参数    |            |
|-------------------------------|-------------|------------|
|                               | $R_{adj}^2$ | AIC        |
| 设备数量                          | 0.748       | 10 716.444 |
| 设备数量+医院级别                     | 0.748       | 10 721.261 |
| 设备数量+医院级别+门急诊人次+住院人次          | 0.749       | 10 721.060 |
| 医院级别+门急诊人次+住院人次+放射工作人员数量      | 0.718       | 10 776.794 |
| 设备数量+门急诊人次+住院人次+放射工作人员数量      | 0.771       | 10 675.089 |
| 医院级别+门急诊人次+住院人次               | 0.590       | 10 954.907 |
| 设备数量+放射工作人员数量                 | 0.771       | 10 672.264 |
| 设备数量+医院级别+门急诊人次+住院人次+放射工作人员数量 | 0.770       | 10 679.829 |

## 讨 论

根据估算全国医疗照射频度可利用的数据,基于此次全国 25 个省份的调查,比较了包含不同变量的多重线性模型的拟合效果,构建了一个能反映放射诊疗实践在各级医院分布构成的严格的随机样本,样本量为 260 家放射诊疗机构,据此利用全国的

表 5 选定的医疗照射总人次拟合模型的拟合参数

Table 5 Fitting model parameters to predict total procedure number

| 医院和变量        | 系数         | 标准误       | t 值   | P 值  | 95% CI     |           |
|--------------|------------|-----------|-------|------|------------|-----------|
|              |            |           |       |      | 下限         | 上限        |
| 未定级医院        | -9 151.99  | 29 552.00 | -0.31 | 0.76 | -67 224.00 | 48 920.00 |
| 二级医院         | -5 694.01  | 6 212.00  | -0.92 | 0.36 | -17 902.00 | 6 513.54  |
| 三级医院         | -17 931.00 | 10 621.00 | -1.69 | 0.09 | -38 801.00 | 2 938.77  |
| 基层医疗卫生机构     | -3 982.68  | 7 251.00  | -0.55 | 0.58 | -18 233.00 | 10 267.00 |
| 门急诊人次(次/千人口) | 1.95       | 6.04      | 0.32  | 0.75 | -9.91      | 13.82     |
| 住院人次(次/千人口)  | 85.40      | 71.39     | 1.20  | 0.23 | -54.89     | 225.69    |
| 放射工作人员数量     | 828.91     | 124.00    | 6.67  | 0.00 | 584.72     | 1 073.12  |
| 放射诊疗设备数量     | 7 400.12   | 711.00    | 10.40 | 0.00 | 6 001.74   | 8 798.51  |

注:以一级医院为参照组

门急诊人次、住院人次、各级各类医院数量,以及近年来监测获得的放射诊疗设备和放射工作人员数量,估算了 2016 年全国放射诊疗总人次为 5.89 亿人次。

作为选定的模型,其包括了可能有数据的全部变量。对模型的诊断包括异常值和共线性诊断:首先,异常值和杠杆值诊断结果以 Cook's D 为判定标准,结果显示 477 个记录中 29 个记录较为明显,估算时,建议使用稳健回归或中位数回归以降低异常值和杠杆值的影响;其次是本模型的残差不满足正态性分布的要求,理论上应该进行变量变换或选用其他模型,如分位数回归方法;第三,残差分析显示不满足方差齐性,这对于估算结果的区间估算是影响的,应使用偏最小二乘回归方法。共线性诊断显示本模型变量间不存在明显的共线性问题,设备数量的方差膨胀因子(VIF)最大,但仅为 6.92,模型 VIF 平均值为 2.90。显然,这一模型存在进一步优化的空间,或可以采用非线性模型拟合<sup>[4]</sup>。

关于全国放射诊疗总人次调查,不同年代采用的方法不尽相同。早期采用普查性质的调查,1985 年我国医疗照射总人次为 1.53 亿人次<sup>[2]</sup>,该调查涉及 24 个省份的 1.5 万家医院,包括乡镇卫生院,占当时机构总数的 17.7%。90 年代的调查结合了面上普查、分层抽样和典型调查<sup>[3]</sup>;面上普查对所有从事 X 射线诊断工作的单位(含私人诊所)进行基本状况调查;分层抽样调查了 1996—1998 年 24 种 X 射线诊断检查类型的各月接诊人次,调查医院的选择是在面上普查的基础上,以年放射工作量为分层依据,将所在省份 X 射线诊断单位按其大小排队,分为 4 层或 5 层进行抽样;典型调查涉及全国 17 个省份 250 多家医疗机构。据此估算了当时全国医疗照射总人次为 2.44 亿人次。2010 年,我国对全国 78.3% 的医疗卫生机构开展了放射诊疗防护工作调查,简单外推得出我国 2010 年医疗照射总人次为 3.32 亿;高林峰等<sup>[10]</sup>普查了 2007 和 2009 两个年度上海市开展 X 射线诊断业务的全部 1 279 家医疗机构,获得了当地的放射诊断水平;2014 年宁夏通过卫生监督部门发文普查了 225 家医院的相关信息,估算了医疗照射频度<sup>[11]</sup>。此外,通过抽样,在部分医院开展调查再经过一定模型合理外推,也可以得到总频度数据。苏垠平等<sup>[4]</sup>通过在浙江、江苏和宁夏 390 家医院开展调查,利用获得的数据,建立了放射诊疗总人次和 CT 检查总人次占比与门急

诊人次、区域、医院级别和 CT 设备数量之间的关系,估算了我国 2005—2014 年间的年总人次为 3.3 亿。近年来,一般认为我国每年开展 4.6 亿人次放射诊疗,约占全球 50 亿人次的 1/10。

本研究结果显示 2016 年放射诊疗总人次为 5.9~7.8 亿人次之间。这一估算是基于 260 家有代表性的样本,估算需要的变量包括门急诊人次、住院人次、放射诊疗设备数量和放射工作人员数量等,特别地,估算中利用公开的统计数据对医院级别进行了调整。考虑到近年来社会经济的发展,特别是 2013 年以来,我国城镇和农村居民的医保基本做到了全覆盖,本文的估算数据 5.9~7.8 亿人次放射诊疗,也即我国目前每千人口的医疗照射频度为 424~562 次。这一估算包括了放射治疗和核医学,由于其占比较低(分别为 1.5% 和 1.1%),对放射诊疗总频度贡献较小。

考虑到本调查中仅涉及 3 家专业公共卫生机构,他们主要开展职业健康检查、餐饮业公共场所从业人员预防性体检等,根据国家统计局网站<sup>[12]</sup>提供的数据,仅餐饮业从业人员就涉及 407 万人,前者多包括胸部拍片,后者要求每年接受一次拍片或透视。同时,我国还有大量牙科诊所,本调查未包括这些单独的牙科诊所。此外,本调查的医疗机构类型主要包括一级、二级、三级、未定级医院和基层医疗卫生机构,从放射诊疗人次占全部医疗服务的比例看,未定级医院和一级医院的比例远高于其他医院。未定级医院的日均工作负荷较大,本调查的数量仅为 6 家,其放射诊疗服务的特征需要今后更多的研究,上述情况均会导致对全国总频度存在一定程度的低估。

估算结果与抽取的样本密切相关,这反映的是数据质量和代表性,还与采用的模型拟合方法高度相关。不同拟合方法,如最小二乘法、中位数回归和稳健回归,得到的结果是不同的,分别为 5.89 亿、6.84 亿和 7.82 亿人次,结果差异主要取决于数据分布和异常值处理。此外,关于本研究中“人次”定义的问题,既往调查一般是指一个患者到机构的一次就诊,从数据处理角度,也就是一次收费、一次挂号产生的全部同类检查视为一人次。但本调查中,根据 UNSCEAR 建议,存在将一次就诊涉及多个部位的检查,视为多人次放射诊疗。这会导致影响总放射诊疗特别是常规 X 射线检查、CT 检查的频度。

值得展望的是,基于本研究建立的方法和进一

步优化后的模型,可以利用国家卫健委公开的历年医院数量、医疗服务数据,再考虑监测网获得的近年来各省份的放射诊疗设备、放射工作人员数量信息,可以较为可靠地估算各省份历年的放射诊疗总人次。省份估算时需要对比异地就诊和服务人口予以考虑。

联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)近年来希望有关国家特别是人口数量大、放射诊疗普遍的国家提供放射诊疗水平数据。从本研究的结果看,我们只要每年对各级各类医院做随机抽样监测(比如抽取 300 家医疗机构),再结合每年医疗服务、医院数量和掌握的放射诊疗设备数量、放射工作人员数量信息建立数学模型,就可以较为科学地估算每年的放射诊疗总频度。医疗照射频度的分布,比如检查方法、检查部位、受检者年龄、性别分布以及各种检查的照射参数和患者剂量等,则应依据抽样结果而定。如此,理论上就可以估算全国的医疗照射水平和集体剂量。

**利益冲突** 无

**作者贡献声明** 牛亚婷负责数据分析和论文撰写;苏垠平和孙全富指导数据分析及论文修改;梁婧协助数据整理;侯长松参与论文修改

## 参 考 文 献

- [1] 苏垠平, 牛昊巍, 孙全富. 医疗照射频度调查的方法学探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2013, 33(4): 413-415. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.04.021.  
Su YP, Niu HW, Sun QF, et al. Discussion on methodology of medical exposure frequency survey. Chin J Radiol Med Prot, 2013; 33(4): 413-415. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2013.04.021.
- [2] 全国医疗照射研究协作组. 我国医疗照射的年频度水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 1989, 9(s): 10-16.  
National cooperative group on medical irradiation research. The annual frequency level of medical irradiation in China[J]. Chin J Radiol Med Prot, 1989, 9(s): 10-16.
- [3] 郑钧正, 岳保荣, 李述唐, 等. 我国“九五”期间 X 射线诊断的医疗照射频率水平[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2000, 20(s): s14-s18.  
Zheng JZ, Yue BR, Li ST, et al. Medical exposure frequency level of X-ray diagnosis during the "9th Five-Year Plan" in China [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2000, 20(s): s14-s18.
- [4] 苏垠平, 卢桂才, 肖国兵, 等. 医院放射诊疗总人次的研究与预测[J]. 中国辐射卫生, 2017, 26(3): 302-305. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.03.016.  
Su YP, Lu GC, Xiao GB, et al. Research and prediction of the total number of radiological diagnosis and treatment in hospitals [J]. Chin J Radiol Health, 2017(3): 302-305. DOI: 10.13491/j.cnki.issn.1004-714x.2017.03.016.
- [5] 杜翔, 王进. 江苏省 2015 年度放射诊断医疗照射频度调查与分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(10): 771-776. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.10.010.  
Du X, Wang J. Investigation and analysis on the frequency of medical exposure in 2015 for radiological diagnosis in Jiangsu province [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2017, 37(10): 771-776. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2017.10.010.
- [6] U.S. Food and Drug Administration. Nationwide Evaluation of X-Ray Trends (NEXT) [EB/OL]. Rockville(2018.03.28).[2019.03.15]. [https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/radiation-safety/nationwide-evaluation-x-ray-trendsnext?tdsourcetag=s\\_pcqq\\_aiomsg](https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/radiation-safety/nationwide-evaluation-x-ray-trendsnext?tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg).
- [7] Tung CJ, Yang CH, Yeh CY, et al. Population dose from medical diagnostic exposure in Taiwan [J]. Radiat Prot Dosim, 2011, 146(1-3): 248. DOI: 10.1093/rpd/ncr162.
- [8] 国家卫生和计划生育委员会. 中国卫生和计划生育统计年鉴 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2017.  
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Health and Family Planning statistical yearbook [M]. Beijing: Peaking Union Medical College Press, 2017.
- [9] 梁婧, 张庆召, 朱卫国, 等. 2016 年我国 X 射线诊断频度调查的组织和实施 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(5): 321-324. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.05.001.  
Liang J, Zhang QZ, Zhu WG, et al. Implementation of survey on diagnostic medical X-ray frequency in 2016 in China [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2019, 39(5): 321-324. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.05.001.
- [10] 高林峰, 郑钧正, 卓维海, 等. 上海市“十一五”期间 X 射线诊断的应用频率及其分布研究 [J]. 辐射防护, 2014, 34(5): 274-280.  
Gao LF, Zheng JZ, Zhuo WH, et al. Application frequency and distribution of X-ray diagnosis in Shanghai during the "11th Five-Year Plan" period [J]. Radiat Prot, 2014, 34(5): 274-280.
- [11] 孙彦玲, 卢桂才, 李鸿成, 等. 宁夏地区医疗照射频率水平调查分析 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(10): 757-760. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.10.008.  
Sun YL, Lu GC, Li HC, et al. Investigation and analysis of medical exposure frequency level in Ningxia [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2016, 36(10): 757-760. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.10.008.
- [12] 国家统计局. 2016 年统计数据 [EB/OL]. 北京 (2019.3.15). [2019.3.15]. <http://www.stats.gov.cn>.  
National Bureau of statistics of China. Statistical data for 2016 [EB/OL]. Beijing (2019.3.15). [2019.3.15]. <http://www.stats.gov.cn>.

(收稿日期: 2019-03-15)