

# 基于欧美人种人体模型 比吸收分数比较

魏平刚, 过惠平, 张维维, 杨杰

(第二炮兵工程学院 研究生三队, 陕西 西安 710025)

**摘要:** 本文以肺(左肺和右肺)为源器官, 利用 MCNP4C 程序对数学模型进行模拟计算, 求出靶器官的比吸收分数值, 并对不同成年男性模型、年龄模型和性别模型的比吸收分数(SAFs)进行分析比较。结果表明: 小孩的比吸收分数比成年人高, 女性的比男性的高。对于源器官与靶器官同体的, SAFs 伴随能量升高在 0.01~0.05 MeV 之间有明显的下降趋势; 不同体的, SAFs 伴随能量升高在 0.01~0.05 MeV 之间有明显的升高趋势。而在 0.05~4 MeV 区间, 各个靶器官的比吸收分数趋于一常数。因此, 在内照射剂量的评价过程中对小孩、成年男性和女性要区别对待。

**关键词:** 人体模型; 比吸收分数; MCNP4C; 肺通用源卡

**中图分类号:** TL75; O57      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-6931(2010)S0-0608-04

## Comparison for Specific Absorbed Fractions Based on European or North American Mathematical Phantoms

WEI Ping-gang, GUO Hui-ping, ZHANG Wei-wei, YANG Jie

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Specific absorbed fractions of target organs were calculated by MCNP4C, source organs were lungs which were divided into right lungs and left lungs. The comparison results for various adult male models, various ages models and gender models show that children's are higher than adult's, and female's are higher than male's about specific absorbed fractions. When target organs and source organs are same, specific absorbed fractions decline from 0.01 to 0.05 MeV; on the contrary, the specific absorbed fractions increase from 0.01 to 0.05 MeV. From 0.05 to 4 MeV, various organs incline to a constant value.

**Key words:** human phantoms; specific absorbed fractions; MCNP4C; lung source card

ICRP 出版的摄入放射核素的剂量系数是基于比吸收分数(SAFs)得到的, 其值是利用蒙特卡罗程序模拟光子在人体模型中输运计算得到。可见, 计算得到准确的 SAFs 值对进行内照射剂量评价至关重要的, 其值主要依赖两方面: 1) 能代表真实的人体模型; 2) 准确

的蒙特卡罗程序。本工作利用 MCNP4C 程序模拟计算, 以整个源器官 S 作为 1 个体源进行定义, 通常认为放射性核素在器官内是均匀分布的<sup>[1]</sup>。对于吸入难溶性的铀和钚的氧化物一般主要沉积在肺中, 选择以双栅元的肺(左肺和右肺)作为源器官计算靶器官的比吸收分数值,

并对不同模型、不同年龄模型和性别的比吸收分数进行比较。

## 1 不同的人体模型

### 1.1 参考值模型

由参考值模型计算得到参考值数据，其来源于文献[1]。

### 1.2 MIRD-ORNL 人体模型

运用韩国 Hanyang 大学编写的基于 MIRD-ORNL 人体模型的输入文件（1996 版）进行模拟计算，简称 MIRDO 模型。此模型基于 ORNL/TM-8381 平台，并做了进一步的修改得来。

### 1.3 UF 模型

此模型的输入文件是在 ORNL/TM-8381 平台的基础上做了一些修改得到的<sup>[2]</sup>。修改主要包括以下 4 部分：

- 1) 包括了当前数学模型关于头部、脑、肾等部位的最新发展；
- 2) 新模型增加了唾液腺、膀胱的黏膜、消化道和呼吸道；
- 3) 采用了 ICRP 89 和 ICRU 46 号报告中关于组织的元素组成和密度；
- 4) 提供了详细的左右器官的说明。

## 2 肺的通用源卡定义

以 MIRDO 模型输入文件为例，在源程序中，肺由栅元 2 300（右肺）和 2 301（左肺）组成。在此，通过栅元舍弃方法<sup>[3]</sup>定义 620 和 640 两个圆柱分别将左肺和右肺完全包围，对通用源卡定义正确与否可用程序测试。在 MCNP 程序中，可从不同方向画图检查几何结构（图 1、2、3）。

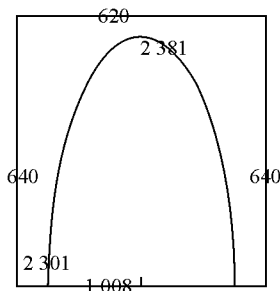


图 1 YZ 方向画图

Fig. 1 YZ view of lungs

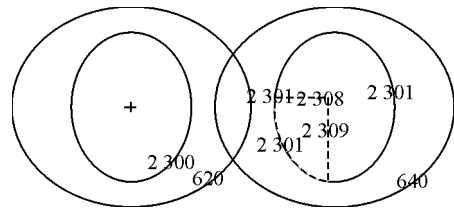


图 2 XY 方向画图

Fig. 2 XY view of lungs

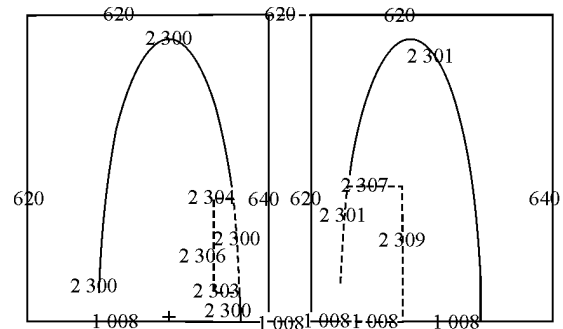


图 3 XZ 方向画图

Fig. 3 XZ view of lungs

从不同方向画图可知，肺作为源器官，被完全包括在所定义的圆柱体中，说明源的定义是正确的。

在 UF 模型中，对于肺的结构与 MIRDO 模型相比没有太大的变化，包括左肺与右肺的体积上都是一致的，只是在个别曲面的坐标和平面上有所变化。

## 3 计数卡选择

在计算 SAFs 值时，关键是求出靶器官沉积能量，由于在 MCNP4C 程序有 F6 和 \*F8 两种计数卡进行光子沉积能量计算，其单位分别为 MeV/g 和 MeV。因此，本节对两种卡计数得到的 SAFs 结果分进行比较，以选择一种合适的计数卡。

图 4、5 所示为利用 MIRDO 模型计算得到的以肝为源器官，肝、肺、肾和脾脏为靶器官，在 F6 和 \*F8 两种计数情况下计算得到的 SAFs 值的曲线。两种计数卡计算得到的结果的相对误差不超过 4%，一般情况可通用。

计数卡 F6 和 \*F8 输出的结果，要转化为 SAFs 还需要简单的公式变化。对于 F6 卡输出结果直接除以源器官发射的射线能量；\*F8 卡输出的结果转化为 SAFs 可利用式（1）计算得到（ $M_T$  为靶器官的质量， $g^{-1}$ ）。

$$\text{SAF}(T \leftarrow S) = \frac{\text{靶器官}(T) \text{ 沉积的能量}}{\text{源器官}(S) \text{ 发射的能量} \times M_T} \quad (1)$$

F6卡在计算SAFs时方便些,所以,在后面的计算过程中,统一选择F6计数卡。

由图4、5可看出,模拟计算得到的结果与参考值有一定差异,尤其是肺器官。其差异主要由模型改进和MCNP程序版本不同造成。

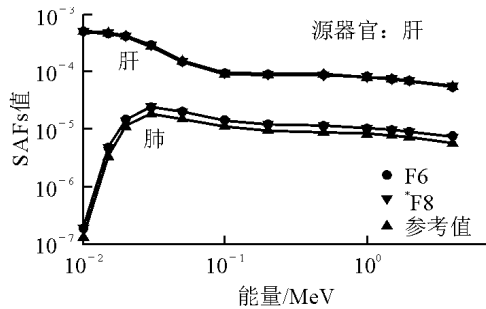


图4 F6和F8计数卡对靶器官(肝和肺)的比吸收分数

Fig. 4 SAFs for target organ (liver and lungs) under F6 and F8 tally card

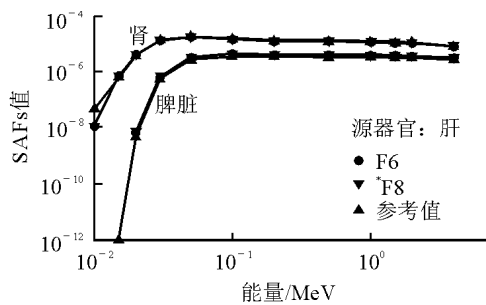


图5 F6和F8计数卡对靶器官(肾和脾脏)的比吸收分数

Fig. 5 SAFs for target organ (liver and spleen) under F6 and F8 tally card

#### 4 3种成年男性数学模型的比吸收分数比较

MIRDO模型和参考值模型计算得到的比吸收分数与年龄为30岁的UF成年人模型计算得到的结果进行比较。

对3种模型进行比较(图6)。MIRDO模型与UF成年人模型计算得到的结果比较接近,且高能端的吻合程度好于低能端,说明模型改进对低能部分影响较明显。

在辐射剂量评价过程中,在相同照射环境

下,不同年龄阶段人体所遭受的辐射剂量也有所不同。且通常认为,小孩比成人对辐射更加敏感。对于内照射剂量,有必要对不同年龄情况下的比吸收分数进行研究。

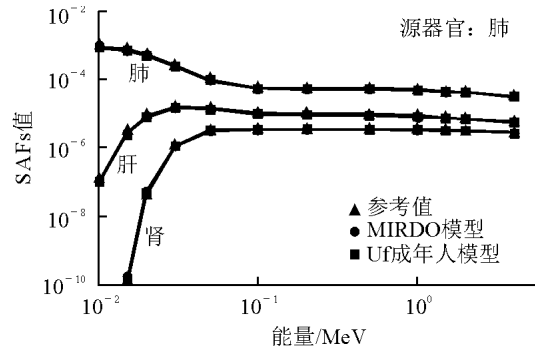


图6 成年人比吸收分数

Fig. 6 SAFs for adult male

#### 5 年龄模型比吸收分数比较

在此,选择美国佛罗里达大学开发的UF年龄模型进行计算,此模型包括新生儿、1岁、5岁、10岁、15岁和30岁年龄段的模型。不同年龄模型间大的差异是人体高度、质量和内部器官的大小有很大的差异。图7、8、9为不同年龄源器官肺对靶器官肺、肝和肾的比吸收分数值。

由图知,从新生儿到成年这段时间,人体器官的比吸收分数是逐渐减小的。能量在0.01~0.05 MeV之间时,有一明显的降低或升高趋势,在0.05~4 MeV区间,各个靶器官的比吸收分数趋于一常数。

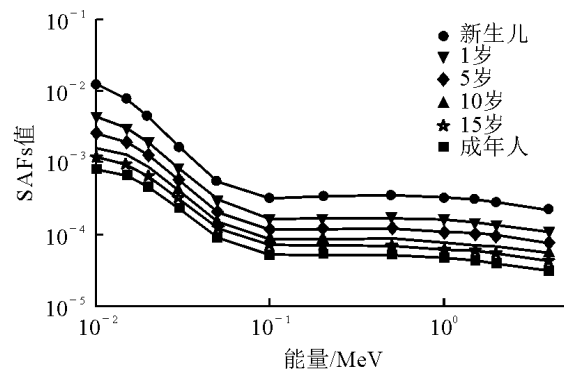


图7 肺的不同年龄比吸收分数

Fig. 7 SAFs for lungs at different ages

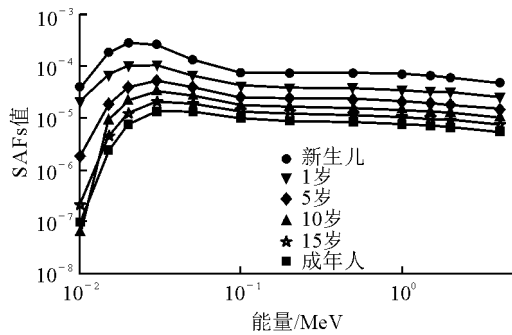


图8 肝的不同年龄比吸收分数

Fig. 8 SAFs for liver at different ages

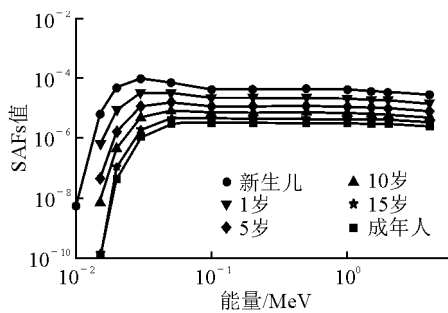


图9 肾的不同年龄比吸收分数

Fig. 9 SAFs for kidney at various ages

## 6 女性模型的比吸收分数

对于成年女性，以肺部为源器官计算出体内器官的比吸收分数，并将其于男性进行比较图 10、11 所示。此女性 MCNP 输入文件是基于 ORNL-MIRD 平台，由 D. Krstic 和 D. Nikezic 发展的。

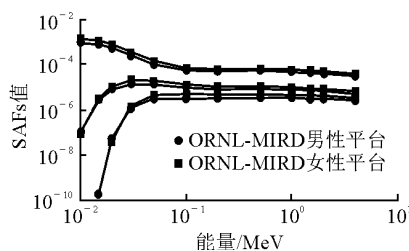


图10 女性平台比吸收分数

Fig. 10 SAFs for female phantoms

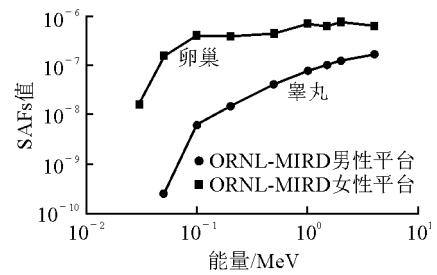


图11 女性平台卵巢比吸收分数

Fig. 11 SAFs for ovary on female phantoms

相对于男性，在同种能量下同一器官，女性的比吸收分值高于男性，即同样的摄入情况下，女性获得的内照射剂量将高于男性。所以，对于从事职业核辐射的男女性工作人员，在辐射防护方面要分别对待。

## 7 结论

通过对欧美人种不同模型的比吸收分数进行研究，在内照射情况下，小孩的比吸收分数比成年人高，女性的比男性的高。对于源器官与靶器官相同的，SAFs 伴随能量升高在 0.01~0.05 MeV 之间有明显的下降趋势；不同体的，SAFs 伴随能量升高在 0.01~0.05 MeV 之间有明显的升高趋势。而在 0.05~4 MeV 区间，各个靶器官的比吸收分数趋于一常数。

## 参考文献:

- [1] CRISTY M, ECKERMAN K F. Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources, ORNL/TM-8381[R]. USA: [s.n.], 1987.
- [2] EUN Y H, WESLEY E B, KEITH F E. Revisions to the ORNL series of adult and pediatric computational phantoms for use with the MIRD schema[J]. Health Phys, 2006, 90: 337-356.
- [3] BRIESMEISTER J F. MCNP—A general Monte-Carlo *N*-particle transport code, Version 4C [R]. USA: Los Alamos National Laboratory, 2000.