

С.В. Осовец, Т.В. Азизова, С.Н. Гергенрейдер

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ДОЗОВЫХ ПОРОГОВ ДЛЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ

S.V. Osovets, T.V. Azizova, S.N. Gergenreider

Methods of Uncertainty Assessment for Deterministic Effects Dose Thresholds

РЕФЕРАТ

Цель: Разработка методов и алгоритмов оценки неопределенности дозовых порогов для некоторых детерминированных эффектов на примере хронической лучевой болезни (ХЛБ) у ограниченного контингента работников атомной промышленности.

Материал и методы: На основании ранее разработанных методов оценки дозовых порогов для детерминированных эффектов, функция риска которых описывается с помощью дозового распределения Вейбулла, предложены два метода оценки неопределенности этих порогов. *Метод Монте-Карло* основан на имитационном подходе, который позволяет генерировать случайную величину D (поглощенную дозу), распределенную по закону Вейбулла с заданными параметрами D_{50} и V , по следующей формуле:

$$D_i = D_{50} \left[-\frac{\ln(1 - R_i)}{\ln 2} \right]^{\frac{1}{V}},$$

где $R_i \in (0;1)$ – случайное i -е значение риска детерминированного эффекта; D_{50} – медианная эффективная доза, V – параметр формы распределения; $i = 1, 2, \dots, n$ – число реализаций случайной величины D . Вторым подход к оценке неопределенности дозовых порогов для детерминированных эффектов основан на *методе переноса (распространения) ошибок*. Это аналитический метод, позволяющий оценить погрешности так называемых косвенных измерений.

Эффективность обоих методов при оценке неопределенности дозовых порогов продемонстрирована на примере ХЛБ у ограниченного контингента ($n = 205$ человек) работников атомной промышленности.

Результаты: Для найденной величины дозового порога $D_0 \approx 1,45$ Гр неопределенность (в виде среднеквадратичного отклонения), рассчитанная методом Монте-Карло, составила $\sigma_{D_0} \approx 0,87$ Гр, а метод переноса ошибок дал несколько большее значение $\sigma_{D_0} \approx 1,05$ Гр. Таким образом, среднее значение неопределенности дозового порога (по критерию σ_{D_0}) составляет приблизительно 60–70 % от величины D_0 .

Выводы: Предлагаемые методы вычислений неопределенности эффективных дозовых порогов имеют *оценочный характер* и являются первым шагом в разработке этой важной проблемы. Показано, что разработанные методы расчета неопределенности дозовых порогов не противоречат существующим подходам количественной оценки и регламентации порогов для детерминированных эффектов, а дополняют и расширяют данную область математического моделирования в радиационной медицине.

Ключевые слова: эффективный дозовый порог, распределение Вейбулла, детерминированные эффекты, методы оценки неопределенности дозовых порогов, хроническая лучевая болезнь

ABSTRACT

Purpose: To develop methods and algorithms for assessment of dose threshold uncertainty of some deterministic effects, e.g. chronic radiation sickness (CRS) in limited cohort of nuclear workers.

Material and methods: Based on previously developed methods of deterministic effect dose threshold assessment, when risk function is described applying Weibull dose distribution, two methods for uncertainty assessment of these thresholds are introduced. *Monte-Carlo method* is based on simulation approach which allows generating the random variable D (absorbed dose) distributed according to Weibull law with preset variables D_{50} and V as follows:

$$D_i = D_{50} \left[-\frac{\ln(1 - R_i)}{\ln 2} \right]^{\frac{1}{V}},$$

where $R_i \in (0;1)$ is random i^{th} risk value of deterministic effect; D_{50} is a median effective dose, V is parameter of distribution shape; $i = 1, 2, \dots, n$ is a number of realizations of random variable D .

The second approach to assessment of dose threshold uncertainty of deterministic effects is based on *error transfer (propagation) method*. It is an analytical method which allows assessing the errors of so-called indirect measurements. The effectiveness of both methods at assessment of dose threshold uncertainty is shown by example of CRS in limited cohort ($n = 205$ individuals) of nuclear workers.

Results: For obtained value of dose threshold $D_0 \approx 1.45$ Gy, the uncertainty (in the form of mean-square deviation) calculated using Monte-Carlo method, is $\sigma_{D_0} \approx 0.87$ Gy and the error transfer method resulted in higher value of $\sigma_{D_0} \approx 1.05$ Gy. Thus, the average value of dose threshold uncertainty (under σ_{D_0} criterion) is approximately 60–70 % of D_0 value.

Conclusion: Methods proposed for the uncertainty calculation of effective thresholds of dose have an *evaluative nature* and they are the first step to development of such relevant issue. It is shown that developed methods of assessment of dose threshold uncertainty are consistent with current approaches of quantitative assessment and regulation of thresholds of deterministic effects and they enlarge and expand this area of mathematical modeling in radiation medicine and biology.

Key words: effective threshold of dose, Weibull distribution, deterministic effects, methods of dose threshold uncertainty assesment, chronic radiation sickness