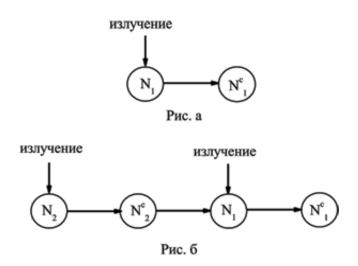
РАДИОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ МИШЕНЕЙ С УЧЁТОМ КОСВЕННЫХ ЭФФЕКТОВ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ

О.И. Василенко

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет

E-mail: vasilenkol@depni.sinp.msu.ru

Изучение воздействия ионизирующих излучений на клетки является проблем одной центральных радиобиологии. Получены многочисленные экспериментальные зависимости доза-эффект, однако проблема их интерпретации ещё весьма далека от полного решения. Причиной является большая сложность физико-химических ЭТОГО процессов, происходящих в клетке как в нормальных условиях её жизнедеятельности, так и при облучении. Попытки понять происходящее, используя математические подходы, оказавшиеся успешными в физике, привели к созданию ряда моделей взаимодействия излучения с клеткой, среди которых наиболее элегантной является теория мишеней [1,2,3]. Она основана на предположении, что наблюдаемые радиобиологические эффекты вызваны прямым повреждением излучением не любых структур клетки, а только некоторых критических, называемых мишенями, которые, например, можно отождествить с молекулами ДНК (рис. а).



В упрощённом виде модель описывается уравнением

$$dN_1 = -\beta_1 N_1 dt,$$

где N_1 — число неповреждённых мишеней, β_1 — вероятность повреждения мишени излучением.

Исследования, однако, показали, что и в отсутствии излучения молекула ДНК получает примерно 8000 повреждений в час [4], которые восстанавливаются системами репарации. Эти повреждения вызываются, в частности, свободными радикалами, типа H^{\bullet} , OH^{\bullet} , HO_{2}^{\bullet} . Под действием излучения происходит образование новых радикалов, которые вызывают дополнительные повреждения ДНК [5,6] (рис. б). Учёт этого косвенного действия радиации в теории мишеней приводит к её описанию, в упрощённом виде, с помощью уравнений

$$dN_1 = -\beta_1 N_1 dt - \sigma N_2^c N_1 dt = -dN_1^c$$

$$dN_2 = -\beta_2 N_2 dt$$
, $dN_2^c = -dN_2 - \sigma N_2^c N_1 dt - \kappa N_2^c dt$,

где N_2 — число структур, из которых образуются радикалы, N_2^c — число новых радикалов, β_2 — вероятность образования радикала под действием излучения, σ — вероятность повреждения мишени радикалом, κ радикала, суммарная вероятность репарации $\beta_{\scriptscriptstyle 1}$ повреждения мишени излучением и её репарации, N_1^c число мишеней. Взаимодействие мишенями повреждённых радикалов описывается членом $\sigma N_2^c N_1 dt$, приводит к повреждению трансформации радикала. Радикалы образуются, в первую очередь, при взаимодействии излучения с молекулами водной среды клетки, которых гораздо больше, чем мишеней. Поэтому, можно предположить, что большая часть повреждений мишеней будет вызвана именно радикалами, а не прямым действие радиации.

Модель значительно усложнилась не только в идейном, но и математическом плане, поскольку расширенная система уравнений имеет нелинейный характер. Можно ожидать, что она, в развёрнутом виде, более адекватно опишет эффекты взаимодействия излучения с клетками.

- 1. К.Г. Циммер. *Проблемы количественной радиобиологии*. М.: Госатомиздат, 1962, 99 с.
- 2. О. Хуг, А. Келлерер. Стохастическая радиобиология М.: Атомиздат, 1969, 183 с.
- 3. Ю.Г. Капульцевич. *Количественные закономерности лучевого поражения клеток*. М.:, Атомиздат, 1978, 232 с.
- 4. Л.А.Булдаков. *О рисках лучевого и нелучевого воздействия*. // Энергия: экономика, техника, экология. 2003, № 1, С. 23-26.
- 5. J. Barilla, M. Lokajíček. *The Role of Oxygen in DNA Damage by Ionizing Particles*. Journal of Theoretical Biology, V. 207, N 3, P. 405-414, 2000.
- 6. J. Barilla, M. Lokajíček, P. Simr. *Mathematical Model of DSB Formation by Ionizing Radiation*, arXiv:0801.4880 [physics.bio-ph].