

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА ОПУХОЛИ С УЧЕТОМ АНГИОГЕНЕЗА

Колобов А.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Физический институт им П.Н.Лебедева Российской академии наук, 119991, Москва, Ленинский проспект, 53, kolobov@lpi.ru

Хорошо известно, что кровеносная система является транспортной системой организма, которая используется для доставки в ткани кислорода, глюкозы и других важных веществ. При этом основные обменные процессы кровь-ткань происходят именно в капиллярах, самых мелких сосудах кровеносной системы. Процесс роста новых капилляров в ткани называется ангиогенезом. Известно, что этот процесс может происходить в различных ситуациях: при интенсивных тренировках спортсменов, при репарации поврежденных тканей, при росте злокачественной опухоли. При этом вырабатываются различные химические медиаторы, стимулирующие рост новых капилляров и укрупнение старых, в частности фактор роста эндотелия сосудов (VEGF).

В последние годы большие надежды в онкологии возлагаются на противоопухолевую антиангиогенную терапию (ПАТ). Такая терапия направлена не на злокачественные, а на эндотелиальные клетки, с целью остановить рост новых капилляров, а значит уменьшить приток питательных веществ к опухоли, что по идее должно замедлить, в идеале остановить, ее рост. Однако клинические исследования показали, что эффективное ингибирование ангиогенеза совсем не обязательно приводит к остановке роста опухоли. Ответ на вопрос, когда использование ПАТ приведет к замедлению или остановке роста опухоли, а когда нет, может дать математическое моделирование.

Для решения этой задачи нами была разработана математическая модель, позволяющая моделировать рост различных типов опухолей в ткани с учетом ангиогенеза. Эта модель учитывает деление злокачественных клеток и их гибель при нехватке питательных веществ, а так же миграцию в ткани, причем рассматривается как собственная подвижность клеток, так и конвекция в ткани. Модель так же описывает прорастание новых сосудов к опухоли, в ответ на выделение ее клетками VEGF, и их деградацию в центре опухоли. Получившаяся система уравнений, состоящая из уравнений в частных производных параболического и гиперболического типов, исследовалась численно. Вариация параметров, определяющих ангиогенез, позволила нам исследовать его роль в росте инвазивной опухоли, а, значит, и оценить эффективность ПАТ.

Нами было показано, что в зависимости от типа опухоли (подвижности ее клеток) ангиогенез может либо ускорять рост первичной опухоли, либо практически не влиять на скорость ее роста.