

Код УДК 004.942

Интеграция математических моделей микроциркуляции
крови и роста опухоли

Н. О. Городнова

Институт вычислительной математики

Среди причин смертности населения в развитых странах ведущее место занимают рак и болезни системы кровообращения. В связи с этим становятся особо актуальными исследования развития и влияния на организм опухолевого ангиогенеза. К подобным исследованиям относится и моделирование динамики микроциркуляторного русла.

В данной работе модель микроциркуляторного русла в области опухолевого ангиогенеза (Ангиогенез — процесс образования новых кровеносных сосудов в органе или ткани [1]) объединялась с моделью роста опухоли. Основная задача такого объединения это передача данных из одной модели в другую и, наоборот, для дальнейшего их усовершенствования. Планируется из первой модели получать данные о кровотоке в некотором заданном объеме, необходимые для того, что бы правильно задавать рост опухоли, а из второй получать концентрацию VEGF (Вещество, выделяемое опухолью, вызывающее рост сосудов), для того, что бы знать распределение новых капилляров вырастающих в сети под воздействием этого вещества.

В начальный момент времени новых сосудов нет и микрососудистая сеть строиться без «опухолевых» капилляров, то есть строиться только здоровые сосуды с нормальным распределением.

На данном этапе разработки структурно-анатомической модели сосудистой сети в окрестности опухоли для проверки ее правильной с физиологической точки зрения работы проводились следующие исследования: во-первых, для модели подбирались числовые параметры, взятые из анатомических атласов, исследований МКТ [2], а во-вторых, в модели проводились исследование на равномерное распределение сосудов по пространству (здоровая микрососудистая сеть без «ангиогенных» сосудов должна равномерно обеспечивать ткани и органы питательными веществами и кислородом. В нашей модели это достигается путем равномерного распределения сосудов).

Были произведены серии расчетов, целью которых было установить равномерность распределения. В них производились вычисления кровотока в заданных

шаровых слоях объема ($\frac{Q_i / V_{S_i}}{Q_n}$, где Q_i - поток в i -ом шаровой слое, V_{S_i} - объем i -го шарового слоя, Q_n - среднее значение потока для одного расчета). Результаты (рис. 1) показывают, что при нормальном распределении сосудов график «объемного» кровотока близок к прямой. То есть наша модель сети близка к физиологическим параметрам. Параметры сети брались из [2], [3].

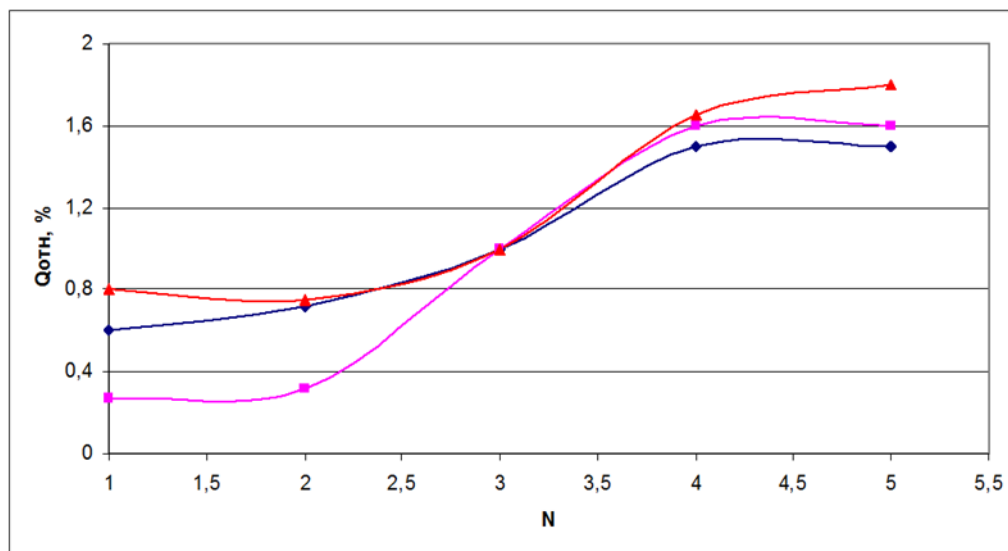


Рис. 1 Диаметр сети 1.3 сантиметра. Q_{отн} – относительный объемный поток, N – номер шарового слоя. Разными цветами на графике показаны разные плотности сосудов в постоянном объеме (синий 40 тысяч сосудов, фиолетовый 80 тысяч сосудов, красный 160 тысяч сосудов).

Литература

1. Физиология человека: учебник для вузов: в 2 ч. / под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. М.: Мир, 1996. Ч. 2
2. Axel R. Pries, Bettina Reglin, Timothy W. Secomb. Modeling of angioadaptation: insights for vascular development // Int. J. Dev. Biol. 55: 399-405.
3. Spyros K. Stamatelos, Eugene Kim, Arvind P. Pathak, Aleksander S. Popel. A bioimage informatics based reconstruction of breast tumor microvasculature with computational blood flow predictions // Microvascular Research 91 (2014) 8-21.