

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

Ю.Г.Васильев, Г.В. Шумихина, С.А. Соболевский
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия
Ижевская государственная медицинская академия

Одной из проблем морфологических исследований в гистологии и применения данных, полученных при морфологическом анализе применительно к живым объектам, является попытка найти взаимосвязь между посмертной структурой, выявляемой на микропрепаратах и возможностью описания особенностей их функционирования. Определенную роль в разрешении этой проблемы может играть компьютерное моделирование некоторых биологических процессов. Достаточно перспективным, этом отношении, является выяснение распределения веществ в структурах биологических тканей с учетом законов диффузии, скорости метаболизма и трансмембранного переноса. Важно данное направление и в связи с невозможностью точного прижизненного определения содержания того или иного вещества в отдельных клетках и их частях, особенно в нервной системе.

Была использована методика изучения возможностей трофического обеспечения мозга с помощью математического моделирования диффузии кислорода, углекислого газа и глюкозы в программе EXCEL. Предложенный вариант моделирования рассматривает транспортные потоки газов и глюкозы в реальных микрообъектах. Формирование модели предваряет приготовление серийных гистологических микропрепаратов и их объемную реконструкцию.

В компьютер заносились данные об объекте исследования. В каждом кровеносном сосуде математически определялась линейная скорость кровотока с учетом сопротивления и градиента давления. Выяснялась содержание глюкозы и растворенных газов по ходу сосуда (при этом для кислорода рассматривались кривые диссоциации оксигемоглобина в зависимости от парциального давления кислорода, состояния кислотно-щелочного равновесия, концентрации углекислого газа). В модели учитывались коэффициенты диффузии веществ, активный трансмембранный и трансэндотелиальный перенос глюкозы.

В результате были получены интересные данные. Так выяснено, что содержание кислорода и глюкозы в нервной ткани, и особенно в телах нейронов носит крайне неравномерный характер. Это существенно отличает их распределение от углекислого газа. При этом зоны минимальной концентрации глюкозы и кислорода не совпадают, и если для одних нейронов характерен дефицит кислорода, то для других ведущим является низкие возможности компенсации по глюкозе. Расстояние в 25 мкм от капилляра является критическим не для газообмена, а для обмена глюкозы. Данные, получаемые с помощью математического моделирования соотносятся с экспериментальными и клиническими наблюдениями. Так гипогликемия со снижением содержания глюкозы в артериях до уровня $0,4 \cdot 10^{-6}$ г глюкозы/мм³, известная, как грубо дезорганизующая функцию мозга, сопровождается следующими изменениями в рассматриваемой модели. Уже в перикапиллярных пространствах содержание глюкозы падает до $1,1-0,4 \cdot 10^{-6}$ г глюкозы/мм³. Уровень глюкозы в межклеточном веществе в крайних ячейках вокруг мембраны тел части нейронов полностью истощается, что делает невозможным усиление ее всасывания из межклеточного вещества. В наиболее слабо обеспечиваемых глюкозой зонах тел нейронов содержание глюкозы снижается до $0,02-0,006 \cdot 10^{-6}$ г глюкозы/мм³. В нейропиле имеются обширные дефицитарные по глюкозе участки диаметром 30-150 мкм, в которых содержание снижается до уровня предельно низких значений от 0 до $0,05-0,06 \cdot 10^{-6}$ г глюкозы/мм³. Нейроны, удаленные более чем на 15 мкм от микрососудов, оказываются в условиях тотального недостатка рассматриваемого углевода.

Результаты математического моделирования позволяют предполагать активную роль нейроглии в транспорте глюкозы, во всяком случае, в условиях ее дефицита. При глубоком дефиците глюкозы, приводящем к коме и прекоме, но не к гибели, отказ от данного

показателя указывает на невозможность функционирования мозга вообще, что противоречит клиническим данным.

Математическое моделирование в стереологической реконструкции нервной трубки в сроки, когда в ней происходят процессы пролиферации и детерминации нейробластов, а также в ходе миграции нейробластов в области анатомических закладок органов также указывают на неравномерный характер распределения глюкозы и кислорода. Участки с относительно высоким содержанием этих веществ чередуются с областями с их низкой концентрацией. Участки дефицита глюкозы более локальны, но они же отличаются минимальным содержанием потребляемого вещества. Такое разнообразие распределения глюкозы и кислорода может явиться значимым фактором в процессе развития нервной системы.