

Экспериментальная проверка возможности применения метода электронистагмографии для проведения теста импульса головы

Зайцев Василий Андреевич

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Демкин Владимир Петрович, д.ф.-м.н., Плешков Максим Олегович

vasilysushi@gmail.com

Вестибулярная система человека представляет собой сложную биологическую систему, которая находится во внутреннем ухе и состоит из трех полукружных каналов и двух отолитовых органов с каждой стороны. Вестибулярный аппарат позволяет человеку ориентироваться в пространстве, поддерживать равновесие и стабилизировать взгляд во время движения. Последняя функция реализуется посредством вестибуло-окулярного рефлекса – поворота глаз в сторону, противоположную повороту головы, с одинаковой по величине угловой скоростью, детектируемой при помощи каналов. Различные повреждения и патологии органов внутреннего уха вызывают недостаточность или, порой, полную дисфункцию вестибулярной системы.

Тест импульса головы – один из наиболее распространенных методов диагностики полукружных каналов, а также единственный метод диагностики, который может оценить функциональность всех полукружных каналов. Во время клинического теста происходит быстрый с небольшой амплитудой поворот головы в плоскости одного из каналов, что в свою очередь вызывает вестибуло-окулярный рефлекс. Одновременно с поворотом специалист наблюдает за движением глаз, и при наличии дисфункции каналов и вестибуло-окулярного рефлекса, соответственно, наблюдаются одно или несколько скачкообразных движений глаз, т.н. корректирующих саккад, необходимых для возвращения глаз пациента к точке фиксации.

В настоящее время тест выполняется с применением метода видеоокулографии (ВОГ). Оборудование для ВОГ представляет собой очки с камерой, которая определяет ориентацию оптической оси глазного яблока в пространстве, а также детектирует угловую скорость головы при помощи встроенных гироскопов, например, айтрекер – Otometrics ICS Impulse, Denmark, использованный в данной работе. Несмотря на то, что ВОГ является самым современным и технологичным решением, оборудование для ВОГ имеет очень высокую стоимость, и не каждая медицинская организация может его себе позволить. Кроме того, одной из главных проблем оценки вестибуло-окулярного рефлекса с помощью системы айтрекинга является то, что трудно оценить небольшие, но крайне быстрые и иногда хаотичные движения глаз, связанные с воздействием источника шума внутри самого механизма систем айтрекинга.

Существует другой метод фиксации движений глаз – электронистагмография (ЭНГ). Суть метода заключается в снятии миогенных потенциалов с глазных мышц (разработчики ЭНГ-устройства – MPAQ, IDEE, Maastricht University, the Netherlands). Для детектирования горизонтальных движений глаз к лицу пациента прикрепляются три электрода: два крепятся на глазные мышцы, третий выполняет роль нулевого электрода и крепится в области лба. ЭНГ используют для оценки вестибуло-окулярного рефлекса, но в рамках других тестов, таких, как калорический и тест на поворотном кресле.

Преимущества ЭНГ перед ВОГ заключаются не только в более низкой стоимости оборудования, но и возможности регистрации движения закрытых глаз, то есть прибор обладает меньшей чувствительностью к морганиям, отсутствием чувствительности к артефактам освещения и большей частотой регистрации сигнала: 1000 Гц у ЭНГ, против 200 Гц у ВОГ.

В настоящей работе был осуществлен тест импульса головы с помощью ЭНГ. Исследование и запись сигналов проводились одновременно на двух приборах – MPAQ (ЭНГ) и ICS Impulse (ВОГ), для первичного сравнения. На лицо добровольца были прикреплены электроды для ЭНГ, а также были надеты очки ВОГ поверх электродов. Для лучшего контакта электродов с кожей, места их крепления были промыты петролейным эфиром. Калибровка миогенных потенциалов, записанных ЭНГ, на угловое положение глаз была проведена с использованием системы лазерной калибровки ВОГ (15 град.).

Тест импульса головы был проведен опытным врачом экспертом в области вестибулологии на добровольце возрастом 22 года без симптомов вестибулярной дисфункции и дисбаланса. Было проведено 4 поворота головы. Анализ сигналов заключался в сравнении отношения пиковых скоростей движения глаз, полученных с помощью ЭНГ и с помощью ВОГ, к пиковым скоростям движения головы, полученным с помощью ВОГ. Далее, была рассчитана относительная ошибка измерений.

Таким образом, в данной работе продемонстрирована возможность применения ЭНГ для оценки вестибуло-окулярного рефлекса с помощью теста импульса головы.

Результаты исследования послужат основой для разработки методики проведения теста импульса головы с помощью ЭНГ.

Список публикаций:

- [1] Baloh R.W., Kerber K.A. // *Oxford University Press*. 2011. P. 4th ed. 5-20.
[2] Khan S., Chang R. // *Neurorehabilitation*. 2013. Vol. 32. 437-443.
[3] Halmagyi G.M. // *Front. Neurol.* 2017. Vol. 8. № 258. P. 1-23.
[4] Aalto H., Hirvonen T., Juhola M. // *J. Med. Eng. Technol.* 2002. Vol. 26. № 5. P. 217–222.
[5] SIMMONS F. B., PERKINS R. C. // *Calif. Med.* 1964. Vol. 101. № 1. P. 15–18.
[6] Farkashidy J. *Electronystagmography: Its Clinical Application*. 1966. Vol. 94. №8. P. 368–372.

Математическое моделирование структур инвазивной карциномы, состоящих из небольшого числа клеток

Красняков Иван Васильевич

Брацун Дмитрий Анатольевич, Писмен Лен Михайлович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Брацун Дмитрий Анатольевич, д.ф.-м.н.

krasnyakov_ivan@mail.ru

Одни из недавних работ, посвящённые исследованию рака, говорят о том, что опухоль не является однородным скоплением перерождённых клеток, которые претерпевают неконтролируемую пролиферацию. Опухоль представляет собой своеобразный орган (или даже организм), который живёт по своим собственным законам. В обзорной статье [1], которая является программной в этом смысле, подчёркивается гетерогенный характер опухоли. Происходит внутриопухолевая дифференциация клеток по группам, которые выполняют определённые специфические функции. Более того, даже клетки одного типа могут образовывать структуры (пространственные конфигурации), которые помогают опухоли коллективно защищаться от различного рода терапий, а также повышают потенциал к метастазированию. Таким образом, при разработке лекарственных препаратов необходимо учитывать, что рак представляет собой сложную самоорганизующуюся систему, которая может адаптироваться к изменению внешних условий и менять свою линию поведения.

Важную роль в переключении карциномы на различные структурные типы инвазии играет эпителиально-мезенхимальный (ЭМ) переход. ЭМ–переход – это процесс, в ходе которого эпителиальные клетки постепенно трансформируются в мезенхимоподобные клетки и теряют свою эпителиальную функциональность и характеристики. Сам по себе ЭМ–переход является стандартным процессом, который происходит каждый раз, когда клеточной ткани требуется какое-то интенсивное движение. Например, переход наблюдается при заживлении ран, морфогенезе органов или фиброзе [2]. В этом случае клетки эпителиальной ткани должны сменить фенотип с эпителиального на мезенхимальный, т.е. фенотип ещё не дифференцировавшейся клетки, не встроенной в определённую ткань. Такой переход позволяет эпителию приобрести необходимую подвижность и гибкость в решении поставленной перед ним организмом задачи (заживление раны). После окончания процесса клетки совершают обратный МЭ–переход и ткань восстанавливает своё равновесное состояние. Известно, что ЭМ–переход сопровождает развитие опухоли, так как способствует её быстрому росту. В процессе ЭМ–перехода у злокачественных клеток, которые располагаются на инвазивном фронте опухоли, происходит разрушение десмосомы (десмосомы обеспечивают прочное соединение клеток). В результате, клетки становятся способными к перемещению, что приводит к последующему метастазированию.

В работе [3] было исследовано образование опухолевых структур, состоящих из большого числа клеток. Данная работа посвящена построению математической модели гетерогенной инвазивной карциномы, которая состоит из клеток разного фенотипа. Предполагается, что фенотип любой клетки при определённых условиях может динамически изменяться в ходе ЭМ–перехода и обратного к нему. Целью данной работы является исследование морфологических структур, которые возникают в ходе коллективной инвазии малых групп клеток карциномы (трабекулярная, тубулярная структуры и дискретные группы клеток). Сравнение этих структур с данными гистологических исследований, а также возможна классификация структур с помощью Шварц–преобразования.

Список публикаций:

- [1] Tabassum D. P., Polyak K. *Tumorigenesis: it takes a village*. // *Nat. Rev. Cancer.*, 2015. Vol. 8. P. 473–483. – DOI: 10.1038/nrc3971
[2] Stone, R. C., Pastar, I., Ojeh, N. et al. *Epithelial-mesenchymal transition in tissue repair and fibrosis* // *Cell and Tissue Research*, 2016, P. 495–506. – <https://doi.org/10.1007/s00441-016-2464-0>
[3] Bratsun D.A., Krasnyakov I.V., Pismen L.M. *Biomechanical modeling of invasive breast carcinoma under a dynamic change in cell phenotype: collective migration of large groups of cells* // *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 2019. – <https://doi.org/10.1007/s10237-019-01244-z>