

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ:
БИОФИЗИКОВ, БИОТЕХНОЛОГОВ,
МОЛЕКУЛЯРНЫХ БИОЛОГОВ И ВИРУСОЛОГОВ**

Сборник тезисов

Новосибирск
Наукоград Кольцово
2020

раздел 2

БИОФИЗИКА

АКТИВАЦИЯ ОТОЛИТОВОГО АППАРАТА ВО ВРЕМЯ ТЕСТА ИМПУЛЬСА ГОЛОВЫ

ACTIVATION OF OTOLITH ORGANS
DURING HEAD IMPULSE TEST

А. Д. Абдыкеримов, В. П. Дёмкин, М. О. Плешков

Томский государственный университет

A. D. Abdykerimov, V. P. Demkin, M. O. Pleshkov

Tomsk State University

E-mail: method396@gmail.com

Аннотация

Целью работы являлось исследование функционирования отолитовых органов во время теста импульса головы. Отолитовый аппарат — часть вестибулярной системы, ответственной за восприятие положения головы, а также вектора гравитации и ускорений прямолинейных движений. Во время быстрых поворотов головы (например, во время теста импульса головы) на отолитовые органы действует сила инерции. Для оценки величины вклада центробежной силы в активацию отолитовых органов была использована физико-математическая модель динамики отолитов. В результате симуляции были получены значения ускорений отолитовых органов, в несколько раз превышающие пороговые значения их чувствительности.

Abstract

The aim of this work was to study the functioning of the otolith organs during the head impulse test. The otolith apparatus is a part of the vestibular system responsible for the perception of the position of the head, as well as the vector of gravity and acceleration of rectilinear movements. During rapid head turns (for example, during the head impulse test), inertial forces act on the otolith organs. To assess the value of the contribution of centrifugal force to the activation of the otolith organs, a physical and mathematical model of the dynamics of otoliths was used. As a result of the simulation, the values of the accelerations of the otolith organs were obtained several times higher than the threshold values of their sensitivity.

Отолитовый аппарат — важнейшая структурная часть вестибулярной системы человека, отвечающая за восприятие линейных ускорений головы и силы тяжести. Отолитовые органы имеют сложную структуру, состоящую из волосковых клеток — механорецепторов, которые укоренились в желе, называемом отолитовой мембраной, а поверх нее находится слой отокональных тел карбоната кальция. Таким образом, динамика этой системы очень близка к маятнику с критическим затуханием.

Для выявления отклонений в работе вестибулярного аппарата используются различные тесты. Все они в основном направлены на количественную оценку функции полукружных каналов. Например, тест импульса головы является общепринятым методом функционального тестирования шести полукружных каналов, заключающимся в резком повороте головы амплитудой 15–30° со скоростью около 150–300 градусов в секунду и одновременным фиксированием взгляда испытуемого на стационарном объекте, расположенном перед ним. Однако эта методика в том виде, в каком она была сформирована, не учитывает вклад отолитовых органов в вестибулоокулярный рефлекс в целом. Считается, что за восприятие поворотов отвечают только полукружные каналы, хотя при таких скоростях вращения головы отолиты неизбежно должны испытывать центробежное ускорение.

Для оценки величины ускорения, приложенного к отолитовым органам, нами была выбрана модель динамики, учитывающая силы вязкости и упругости и модифицированная для работы в неинерциальной системе отсчета при наличии вращения. В качестве внешнего стимула выступала центробежная сила. Форма стимула была рассчитана усреднением записей угловой скорости поворота головы 50 испытуемых во время теста импульса головы в горизонтальной плоскости. Расстояние от оси вращения до отолитовых органов было измерено из 20 снимков МРТ здоровых людей

с использованием свободного ПО 3D-Slicer. Для вычисления величины центробежных сил, приложенных к отолитовым органам, а также для расчета линейного смещения отолитовой мембраны использовался программный пакет Matlab.

В результате симуляции были получены значения ускорений отолитовых органов, в несколько раз превышающие пороговые значения их чувствительности (в $0,08-0,14 \text{ м/с}^2$), а также смещение отолитовой мембраны как функция времени, где максимальное смещение мембраны равно $0,2 \text{ мкм}$.

На основании полученных результатов выдвинута гипотеза о вкладе отолитов в вестибулоокулярную реакцию на поворот головы при больших скоростях (более $100^\circ/\text{с}$).