

УДК 531/534:57

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ
В ВЕСТИБУЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ КОРРЕКЦИИ**

© 2011 г.

**В.В. Александров, Т.Б. Александрова, Г.Ю. Сидоренко,
К.В. Тихонова, Н.Э. Шуленина**

Московский госуниверситет им. М.В. Ломоносова

i_nelly@hotmail.com

Поступила в редакцию 24.08.2011

Представлено моделирование информационного процесса в вестибулярной системе в виде математических моделей составляющих элементов. Показаны возможности коррекции информации с целью улучшения процесса персональной ориентации в пространстве в экстремальных условиях.

Ключевые слова: биосенсор, вестибулярная система, вестибулярный механорецептор.

Исследуются модели основных элементов, образующих инерциальные биосенсоры вестибулярного аппарата.

1. Математические модели входных блоков биосенсоров:

1.1. Динамика купулоэндолимфатической системы полукружного канала [1, 2];

1.2. Динамика отолитовой мембраны отолитового органа.

2. Модель базового элемента вестибулярной системы – вестибулярного механорецептора, состоящая из четырех блоков:

2.1. Механизм механо-электрической трансдукции;

2.2. Динамика мембранного потенциала и общего ионного тока волосковой клетки;

2.3. Блок синаптической трансмиссии;

2.4. Формирование выходной информации в первичном афферентном нейроне.

3. Математическая модель биосенсора углового ускорения поворота головы вокруг местной вертикали, образованного двумя латеральными полукружными каналами.

4. Математическая модель биосенсора углового ускорения поворота головы в сагиттальной плоскости, состоящего из четырех «вертикальных» каналов.

5. Математическая модель гравитоинерциальных механорецепторов – одномерных биосенсоров, являющихся основными компонентами многомерных инерциальных биосенсоров – отолитовых органов.

Представленные модели являются описанием в среднем стохастического процесса формирования выходной информации о механическом стимуле, действующем на чувствительные массы

вестибулярного аппарата.

Проведено сравнение с математическими моделями Фернандеса–Голдберга, полученными в 70-х годах XX века [3]. Показано:

А. Выходная информация создается парами вестибулярных механорецепторов, расположенных либо в разных каналах, либо по разные стороны от стриолы макулы отолитового органа.

Б. Выходная информация об угловом движении зависит от структуры механического стимула: это информация об угловом ускорении при изменении знака углового ускорения механического стимула через время порядка секунды или более или информация об угловой скорости при стимулах с кратковременными ускорениями, постоянными по знаку (менее 0.1 секунды).

Вторая часть исследования посвящена анализу возможности коррекции вестибулярной информации с целью улучшения процесса персональной пространственной ориентации [5, 6]. При этом рассматриваются две наиболее важные задачи:

а) улучшение процесса стабилизации взора в экстремальных условиях визуального управления движением;

б) сохранение вертикальной позы на первом этапе неуправляемого падения.

Для решения этих задач предлагается два варианта коррекции.

Первый вариант – это выработка условного рефлекса высокоточного визуального управления движением в экстремальных условиях (для задачи (а) – сближение устройства спасения космонавта с орбитальной станцией или управление транспортным средством на многополосной автостраде). Основой этого варианта являются тренировки на тестирующих имитационных стендах.

При этом должно осуществляться максимальное тестирование качества управления после каждой серии тренировок.

Второй вариант – это создание автоматического корректора. Например, создание вестибулярного протеза в случае задачи (б).

Работа проводилась в рамках государственного контракта №02.740.11.0300 и проекта РФФИ №10-01-00182.

Список литературы

1. Steinhausen W. // Pflug. Arch. Ges. Physiol. 1933. V. 232. P. 500–512.
2. Alexandrov V.V. et al. Mathematical Modeling of Complex Information Processing Systems. Moscow University Press, 2001. P. 23–41.
3. Fernandez C., Goldberg J.M. // J. Neurophysiol. 1971. V. 34. P. 635–660.
4. Keen E.C., Hudspeth A.J. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2006. V. 103. P. 5537–5542.
5. Садовничий В.А. и др. // Современные проблемы математики и механики. М.: МГУ, 2009. Т. 1. С. 154–164.
6. Alexandrov V.V. et al. // 2nd WSEAS Intern. Conference on Biomedical Electronics and Biomedical Informatics. 2009. P. 105–111.

**MATHEMATICAL MODELS OF THE OUTPUT INFORMATION GENERATION
IN THE VESTIBULAR SYSTEM AND POSSIBILITIES OF ITS CORRECTION**

V.V. Alexandrov, T.B. Alexandrova, G.Yu. Sidorenko, K.V. Tichonova, N.E. Shulenina

The simulation of the information process in the vestibular system as mathematical models of its components is presented. A possibility of the correction of the vestibular information to improve the process of personal orientation in space in extreme conditions is shown.

Keywords: biosensor, vestibular system, vestibular mechanoreceptor.