

УДК 612.76

В.А. ДУБОВСКИЙ; В.В. САВЧЕНКО, канд. техн. наук
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

Г.А. РОЗУМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

В.М. РУБАХОВА, канд. биолог. наук
Институт физиологии НАН Беларуси, г. Минск

ТЕСТИРОВАНИЕ И ТРЕНИНГ СПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ВОСПРОИЗВОДИТЬ ЗАДАННЫЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯМИ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ТЕЛА

Исследован процесс обучения человека воспроизведению движениями центра тяжести тела заданных траекторий с использованием стабилметрической платформы балансировочного типа с визуальной биологической обратной связью по отклонению опорной поверхности от горизонтального положения. В исследовании в качестве испытуемых приняли участие студенты и преподаватели Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Выявлены особенности процесса обучения новым двигательным координациям с использованием балансировочной стабилметрической платформы. Проведен сравнительный анализ кривых обучения, полученных с использованием статической и балансировочной стабилметрических платформ.

Ключевые слова: двигательное обучение, точность движения, биомеханика, стабилметрическая платформа, неустойчивая опора

Изучение механизмов двигательного обучения, несмотря на многочисленные исследования в этом направлении, остается одной из центральных задач физиологии моторной активности человека применительно к таким областям, как медицинская реабилитация, подготовка спортсменов, профотбор и выработка профессионально важных качеств операторов систем «человек — машина» [1]. Известно, что целенаправленные движения часто включают регуляцию позы тела [2, 3], что свидетельствует о комплексном характере управления движениями человека и необходимости многостороннего изучения влияния различных факторов на процессы взаимодействия человека с внешней средой.

Одним из подходов к изучению моторной активности человека, связанной с регуляцией позы тела, является анализ процесса формирования навыка произвольного управления центром тяжести (ЦТ) тела с использованием зрительной биологической обратной связи (БОС) по стабิโลграмме [3]. При этом, как правило, используются статические стабилметрические платформы с БОС по опорной реакции и методики, основанные на произвольных перемещениях испытуемым центра давления своего тела на опорную поверхность между некоторыми заданными целевыми точками (мишенями) и оценке тех или иных параметров полученной траектории [3, 4]. Такие методики позволяют исследовать обучение произвольному управлению ЦТ тела в достаточно комфортных условиях — условиях неподвижной опоры и визуализированных заданной и реальной траектории движения. Исследования процессов обучения человека целенаправленным движениям ЦТ тела в условиях неустойчивой опоры и визуализации лишь реальной траектории движения позволили бы получить дополнительные данные о процессе формирования навыка произвольного управления ЦТ тела и провести сравнительный анализ результатов, полученных в обоих указанных случаях. Данная постановка задачи легла в основу настоящей работы, поскольку авторам неизвестны подобные исследования.

В исследовании принимали участие 62 здоровых испытуемых, не имеющих повреждений опорно-двигательного аппарата, в возрасте от 18 до 72 лет. Средний возраст составил 24,2 года.

Все испытуемые обучались произвольному управлению вертикальной позой с использованием программно-аппаратного стабилметрического комплекса «Стабилотренажер Д-01», разработанного в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси и изготовленного в ОАО «Брестский радиотехнический завод». Данный комплекс основан на использовании стабилметрической платформы балансировочного типа с БОС по отклонению опорной поверхности от горизонтального положения, характеризуется наличием ряда устойчивых положений и позволяет оценивать и тренировать способность человека воспроизводить движениями ЦТ тела заданные траектории [5].

Обучение происходило в процессе воспроизведения испытуемыми траектории, изображенной на рисунке 1, четыре раза подряд за один сеанс тренинга.

При выполнении задания испытуемый, стоя на платформе в вертикальной позе, должен был как можно более точно воспроизвести заданную траекторию, изменяя положение ЦТ своего тела и посредством визуальной БОС получая в реальном масштабе времени информацию о текущем положении опорной поверхности. В процессе выполнения задания регистрировали полученную испытуемым траекторию движения опорной поверхности, а по завершении сеанса тренинга сравнивали ее с заданной траекторией и на основании их рассогласования делали вывод о его способности воспроизводить заданную траекторию движениями ЦТ тела. Значение соответствующего показателя E выражалось в относительных единицах. Испытуемые выполняли задание по 2 раза ежедневно в течение 10 дней. Затем рассчитывали средние результаты для всей группы испытуемых за день.

Динамика формирования навыка произвольного управления ЦТ тела при воспроизведении заданной траектории в группе испытуемых представлена на рисунке 2.

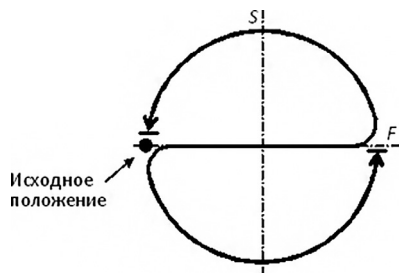


Рисунок 1 — Траектория для воспроизведения (S — сагиттальная плоскость; F — фронтальная плоскость)

Под «обучением» понималось изменение успешности выполнения задания в процессе десятидневной тренировки, которое характеризует способность к формированию новой двигательной координации [3]. Для оценки обучения производили регрессионный анализ и сравнивали углы наклона линии регрессии, описывающей полученную нами кривую обучения, и линии регрессии, полученной при формировании новой двигательной координации на статической стабилметрической платформе, приведенной в работе [3].

Результаты регрессионного анализа проведенного нами процесса обучения группы испытуемых в течение 10 дней приведены на рисунке 3.

Результаты исследования показывают, что эффективность тренировки новым двигательным координациям с использованием балансировочной стабилметрической платформы несколько выше, чем с использованием статической платформы (коэффициент регрессии в первом случае равен 0,028, во втором — 0,024). При этом следует отметить, что рост кривой обучения на балансировочной платформе характеризуется нестабильностью в период с 3-го по 7-й день тренировки. Вероятно, это может быть связано с постепенным переходом испытуемых от сознательного управления позой на основе визуальной БОС к управлению с преимущественным использованием центральной двигательной программы, формируемой в ходе моторного обучения.

Выводы. Система контроля положения тела человека в пространстве сложно организована и включает спинальный, понто-бульбарный и супра-бульбарный уровни регуляции. Согласно теории функциональных систем П.К. Анохина полезный результат изменяет и закрепляет центральные механизмы координации двигательной активности. К процессу обучения выполнению заданных траекторий движения подключаются когнитивные функции (внимание, планирование, контроль деятельности). Реализация позно-тонических и статокинетических рефлексов сопровождается активацией структур лимбической системы, участвующих в пространственной навигации. Выработка новых механизмов поддержания равновесия повышает роль дополнительных видов контроля (зрительного или про-

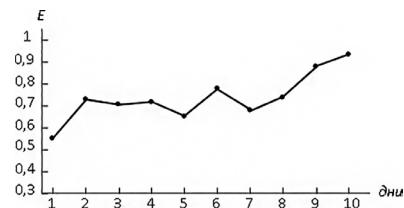


Рисунок 2 — Динамика успешности выполнения при воспроизведении заданной траектории (в относительных единицах)

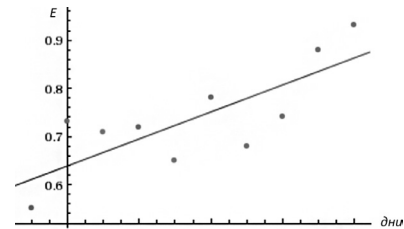


Рисунок 3 — Линия регрессии, описывающая ход обучения группы испытуемых

прицептивного). С этой точки зрения, программы обучения воспроизведению движениями центра тяжести тела по заданным траекториям с использованием стабилметрической платформы балансировочного типа, могут быть успешными и приводить к долговременному улучшению тренируемых функций. Результаты являются научным обоснованием применения тренажеров балансировочного типа с БОС в тренировочном процессе и с целью изменения, оптимизации или восстановления двигательной активности человека.

Список литературы

1. Шеин, А.П. Особенности формирования навыка зрительно-моторного слежения с использованием изометрических органов управления у ортопедических больных в различные сроки после устранения асимметрии в длине нижних конечностей / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, М.С. Сайфутдинов // Физиология человека. — 2005. — Т. 31, № 4. — С. 70–80.
2. Scott, S.H. Optimal feedback control and the neural basis of volitional motor control / S.H. Scott // Nature reviews/ Neuroscience. — 2004. — Vol. 5. — Pp. 534–545.
3. Устинова, К.И. Возрастные особенности произвольного управления вертикальной позой / К.И. Устинова, М.Е. Иоффе, Л.А. Черникова // Физиология человека. — 2003. — Т. 29, № 6. — С. 74–78.
4. Методики диагностики и тренировки функции равновесия на основе компьютерного стабиланализатора с биологической обратной связью «Стабилан-01» в неврологии. Пособие для врачей / Л.А. Черникова [и др.]. — М., 2007. — 50 с.
5. Dubovsky, V.A. / A Postural Control Training System for Patients with Neurological Disorders / V.A. Dubovsky, G.K. Mironovich; ed. R. Lagana and S.M. Esposito // Rehabilitation: Practices, Psychology and Health. — New York: Nova Science Publishers, Inc, 2012. — Ch. 5. — Pp. 113–124.

Dubovsky V.A., Savchenko V.V., Rozum H.A., Rubakhova V.M.

Testing and training of human ability to control center of gravity during movement reproduction

In this paper we present some results concerning the use of an unstable balance platform equipped with visual feedback of the support surface inclination to train human ability to control center of gravity during specific dynamic tasks associated with movement reproduction.

Поступил в редакцию 29.08.2016.