

УДК 615.862-036.8

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ

В.А. ЛУКАШЕВИЧ

Белорусская медицинская академия последипломного образования
П. Бровки, 3, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 24 октября 2016

Сформирована научно обоснованная концепция объективной оценки процесса пространственной ориентации человека при выполнении сложной локомоции, заключающаяся в выполнении дистанционного мониторинга циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» со спектральной оценкой полученных значений ускорений нижних конечностей в полосе от 1 до 10 Гц.

Ключевые слова: адаптивная кинезитерапия, пространственная ориентация, эффективность сложных действий, дистанционный мониторинг локомоции.

Введение

Локомоции человека являются сложными действиями, направленными на достижение поставленных целей и выполняемыми в условиях постоянно изменяющихся внешнесредовых факторов. Целостность биомеханической структуры локомоций человека обусловлена временной согласованностью нейрофизиологических процессов ее обеспечения двигательной и координаторной составляющими. При этом, эффективность сложных действий обуславливается качественными характеристиками процесса оценки (внутренней и внешней) достигнутого результата и его соответствия поставленной цели, [1–7].

В настоящее время сделаны попытки создания новых теоретических подходов, практических методов и технических средств, позволяющих оценивать сложную двигательную активность человека с позиции дифференциальной дедукции выполняемой локомоции на биокинематические составляющие целенаправленных и нецеленаправленных движений, соответственно определяющие структуру моторного пула запускаемого центральной моторной программой и количество двигательных коррекций в текущем режиме [8–11].

Актуальность исследований биомеханической стабилизации тела в пространстве, как маркера качества выполнения сложных действий с одной стороны, и, как показателя эффективности процесса пространственной ориентации с другой, продиктована развитием нового инновационного направления медицинской реабилитации: «Адаптивная кинезитерапия», направленного на восстановление пространственной ориентации сложных локомоций человека посредством создания специфических условий средовой аугментации (условий при которых совокупность внешнесредовых факторов способствует усилению представлений о выполняемом действии) [9].

Целью работы являлось формирование научно обоснованной концепции объективной оценки процесса пространственной ориентации человека при выполнении сложной локомоции.

Материалы и методы

В исследовании приняло участие 35 здоровых добровольцев в возрасте от 20 до 45 лет. Все испытуемые были обследованы с использованием следующих диагностических систем.

1. Беспроводная система дистанционного мониторинга локомоций «QVM» (производства ООО «Санакорп», РБ), состоящая из сенсорного модуля, закрепляемого в

области нижней трети голени и программы анализа входящих данных. Сенсорный модуль состоит из нескольких пар акселерометров и гироскопов и представляет собой закрепляемое, посредством манжеты, на любой части тела устройство с автономной зарядкой. При выполнении тестового двигательного задания, программный модуль выполняет раскладку частот, изменения пространственных ускорений различных частей тела обследуемого, в спектр от 1 до 60 Гц. При этом тестовым заданием являлось выполнение циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте», в течение 30 с. Общий вид системы представлен на рисунке: сенсорный модуль закреплен на правой ноге пациента, анализ данных происходит в режиме on-line на планшете.



Общий вид системы дистанционного мониторинга локомоций

2. Система видеоанализа движений «Qualisys» (производства Qualisys AB, Швеция) состоящая из 8 камер Oqus (7 камер захвата данных и одна видеокамера), подключенных к компьютеру, на котором происходит настройка камер, захват данных и их последующая обработка. При этом тестовым заданием являлось выполнение функционально усложненного шагового движения «Step» с выделением интегральных показателей, отражающих нейробиомеханические аспекты эффективности сложной локомоции: коэффициента нецеленаправленных движений (P_{noise}) и коэффициента целенаправленных движений (P_{sign}).

3. Выполнение тестов совмещалось со средой виртуальной реальности, в которой, помимо виртуальной ступеньки, испытуемый визуализировал стандартизированное виртуальное окружение в виде «нейтрального ландшафта». Подобное решение позволяет не только стандартизировать условия внешней среды для всех пациентов, но и исключить влияние фоновых средовых факторов, видоизменяющих стереотип шагового движения. В качестве визуализатора виртуальной реальности использовалась технология «Oculus».

Статистический анализ полученных результатов проводился в программном пакете «Statistica 8,0». Полученные в ходе исследования данные представлены в виде медианы (Me), верхнего (UQ) и нижнего (LQ) квартилей: $Me [UQ/LQ]$.

Исследование проводилось в следующей хронологической последовательности.

1. Тестовое задание № 1: выполнение видеоанализа движений функционально усложненного шагового движения «Step» в условиях окружающего пространства.

2. Тестовое задание № 2: выполнение видеоанализа движений функционально усложненного шагового движения «Step» в условиях виртуального пространства.

3. Тестовое задание № 3: выполнение дистанционного мониторинга циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» в условиях окружающего пространства.

4. Тестовое задание № 4: выполнение дистанционного мониторинга циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» в условиях виртуального пространства.

Результаты и их обсуждение

При выполнении видеоанализа движений функционально усложненного шагового движения «Step» (тестовое задание № 1) в условиях окружающего пространства были получены следующие результаты:

- 1) коэффициента нецеленаправленных движений (P_{noise}) – 54,9[95,6/41,1];
- 2) коэффициента целенаправленных движений (P_{sign}) – 7302,3[8900,5/6010,4];

При выполнении видеоанализа движений функционально усложненного шагового движения «Step» (тестовое задание № 2) в условиях виртуального пространства были получены следующие результаты (представлены в табл. 1):

- 1) коэффициента нецеленаправленных движений (P_{noise}) – 62,1[90,2/48,2];
- 2) коэффициента целенаправленных движений (P_{sign}) – 6842,5[8112,3/5446,8];

Сравнительный анализ значений показателя P_{sign} в вариантах исследования № 1 и № 2 выявил значимые различия с достоверно меньшими показателями при выполнении тестового задания № 2 (по критерию Спирмана, $p < 0,05$) с коэффициентом корреляции $R = -0,520$.

Сравнительный анализ значений показателя P_{noise} в вариантах исследования № 1 и № 2 выявил значимые различия с достоверно меньшими показателями при выполнении тестового задания № 2 (по критерию Спирмана, $p < 0,05$) с коэффициентом корреляции $R = 0,440$.

Таблица 1. Сравнительный анализ коэффициентов

№ Тестового задания	P_{noise}	P_{sign}
№ 1	54,9[95,6/41,7]	7302,3[8900,5/6010,4]
№ 2	78,1[112,2/61,3]	6842,5[8112,3/5446,8]
p (M-U)	0,009	0,002
Коэффициент R при ($p < 0,05$)	0,440	-0,520

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что выполнение диагностического движения в условиях виртуальной реальности приводит к достоверному снижению коэффициента целенаправленных движений P_{sign} , что связано с запуском более быстрых коммуникативных путей обмена информацией, что, в свою очередь, приводит к стабилизации «внутренней схемы тела», как основного элемента системы сенсорного синтеза. При этом в среде виртуальной реальности происходит увеличение коэффициента нецеленаправленных движений (P_{noise}) за счет сенсорной дезинтеграции, развивающейся за счет потери визуального контроля за пространственным перемещением частей собственного тела – пространственная дезориентация с компонентом нарушения внешней оценки.

Далее обследуемым лицам выполнялось тестовое задание № 3 с дистанционным мониторингом циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» в условиях окружающего пространства. При этом были получены следующие результаты (представлены в табл. 2) по частотным спектрам ускорений нижних конечностей:

- 1) спектр низких частот от 1 до 10 Гц – 15,1 [19,0/9,3] мм/с²;
- 2) спектр средних частот от 11 до 25 Гц – 7,1 [10,4/5,3] мм/с²;
- 3) спектр высоких частот № 1 от 26 до 40 Гц – 5,6 [6,1/4,0] мм/с²;
- 4) спектр высоких частот № 2 от 41 до 60 Гц – 3,2 [4,5/2,1] мм/с².

Далее выполнялся корреляционный анализ значений ускорений в различных спектральных полосах с полученными значениями коэффициентов целенаправленных и нецеленаправленных движений. При этом установлены сильные корреляционные связи между:

- а) полосой высоких частот № 2 (от 41 до 60 Гц) и коэффициентом целенаправленных движений (P_{sign}) (по критерию Спирмана, $p = 0,001$) с коэффициентом корреляции $R = 0,563$;
- б) полосой высоких частот № 1 (от 26 до 40 Гц) и коэффициентом целенаправленных движений (P_{sign}) (по критерию Спирмана, $p = 0,001$) с коэффициентом корреляции $R = 0,544$;
- в) полосой средних частот (от 11 до 25 Гц) и коэффициентом нецеленаправленных движений (P_{noise}) (по критерию Спирмана, $p = 0,0002$) с коэффициентом корреляции $R = 0,614$;
- г) полосой низких частот (от 1 до 10 Гц) и коэффициентом целенаправленных движений (P_{sign}) (по критерию Спирмана, $p = 0,005$) с коэффициентом корреляции $R = 0,540$.

Вместе с этим установлена слабая корреляционная связь между полосой низких частот (от 1 до 10 Гц) и коэффициентом нецеленаправленных движений (P_{noise}) (по критерию

Спирмана, $p = 0,007403$) с коэффициентом корреляции $R = 0,348$.

Таким образом, спектральный диапазон значений ускорений нижних конечностей от 1 до 10 Гц при дистанционном мониторинге циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» не является специфическим маркером целенаправленных и нецеленаправленных движений в условиях окружающего пространства с визуальным контролем пространственного перемещения частей тела.

Следующим этапом выполнялось тестовое задание № 4, при котором дистанционный мониторинг циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» происходил в условиях виртуального пространства с использованием технологии погружения в виртуальную реальность – при провокации сенсорной дезинтеграции, развивающейся за счет потери визуального контроля за пространственным перемещением частей собственного тела – пространственной дезориентации с компонентом нарушения внешней оценки. При этом были получены следующие результаты (представлены в табл. 2) по частотным спектрам ускорений нижних конечностей:

- 1) спектр низких частот от 1 до 10 Гц – 8,5 [13,7/7,1] мм/с²;
- 2) спектр средних частот от 11 до 25 Гц – 6,8 [10,1/5,2] мм/с²;
- 3) спектр высоких частот №1 от 26 до 40 Гц – 5,1 [6,9/4,8] мм/с²;
- 4) спектр высоких частот №2 от 41 до 60 Гц – 3,0 [4,1/1,9] мм/с².

Таблица 2. Значения ускорений (в мм/с²) для частотных полос при выполнении теста № 3 и № 4

Полосы частотного спектра		Тест № 3			Тест № 4		
№	Значение в Гц	Me	UQ	LQ	Me	UQ	LQ
1	1–10	15,1	19,0	9,3	8,5	13,7	7,1
2	11–25	7,1	10,4	5,3	6,8	10,1	5,2
3	26–40	5,6	6,1	4,0	5,1	6,9	4,8
4	41–60	3,2	4,5	2,1	3,0	4,1	1,9

При статистическом сравнении значений показателя ускорений в спектре 1–10 Гц при выполнении тестового задания № 3 и № 4 установлены значимые различия при $p < 0,001$ (по критерию Манна-Уитни) с достоверно меньшими показателями при выполнении тестового задания № 4 (по критерию Спирмана, $p = 0,003$) с коэффициентом корреляции $R = -0,534$. Далее выполнялся корреляционный анализ полученных значений в спектре 1–10 Гц со значениями коэффициента нецеленаправленных движений полученных в тесте № 1 и тесте № 2, при этом установлены сильные корреляционные связи (при $p < 0,001$ и $R > 0,65$).

Таким образом, спектральная полоса частотных колебаний значений ускорений в спектре 1–10 Гц при выполнении циклической локомоции «ходьба на месте» отражает процессы реализации двигательных коррекций в текущем режиме, при этом средовые условия при которых теряется визуальный контроль за пространственным перемещением частей тела, провоцируют пространственную дезориентацию и значительно ухудшают спектральный показатель в полосе 1–10 Гц. Данный факт указывает на значимость показателей ускорений нижних конечностей в спектральной полосе 1–10 Гц в процессе качественной реализации пространственного ориентирования, а именно биокинематической стабилизации тела в пространстве.

Заключение

В ходе выполнения исследования сформирована научно обоснованная концепция объективной оценки процесса пространственной ориентации человека при выполнении сложной локомоции, заключающаяся в выполнении дистанционного мониторинга циклической локомоции шагового движения «ходьба на месте» в условиях окружающего пространства со спектральной оценкой полученных значений ускорений нижних конечностей в полосе от 1 до 10 Гц. При этом установлено, что данный спектр частот отражает процессы качественной реализации пространственного ориентирования и может быть использован для объективной оценки биокинематической стабилизации тела в пространстве. Разработанная технология является инновационной и может использоваться в качестве экспресс-метода диагностики двигательных и координаторных нарушений различного генеза.

CONCEPTUAL APPROACH TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF SPATIAL ORIENTATION

U.A. LUKASHEVICH

Abstract

In the course of the study it was formed a scientifically based concept of an objective assessment of human spatial orientation during performing of complex locomotion. This approach is to perform remote monitoring of cyclic locomotion of step motion «walking on the spot» in terms of the surrounding space. During the test is carried out the spectral evaluation of the acceleration values of the lower extremities in the band from 1 to 10 Hz. It was found that the frequency spectrum reflects the processes of qualitative implementation of spatial orientation. This indicator can be used to objectively assess bio-kinematic stabilize the body in space. The developed technology is innovative and can be used as a rapid method for diagnostic motor and coordinative disorders of various origins.

Keywords: adaptive kinezitherapy, spatial orientation, effectiveness of complex actions, remote monitoring of cyclic locomotion.

Список литературы

1. Анохин П.К. Избранные труды. Кибернетика функциональных систем. М., 1998.
2. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию. М., 1988.
3. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. // Вестн. РАН. 1995. Т. 65, № 1. С. 29–32.
4. Дружинин В.Н. Структура и логика психологического исследования. М., 1994.
5. Лукашевич В.А., Хроменков А.В., Давыдов Д.А. // Неврология и нейрохирургия Восточная Европа. 2012. № 2. С. 124–126.
6. Макаров Г.А. Спортивная медицина. М., 2003.
7. Мерлин В.С. Очерк интегрального исследования индивидуальности. М., 1986.
8. Лукашевич В.А. // Неврология и нейрохирургия в Беларуси. 2012. № 1. С. 32–39.
9. Лукашевич В.А., Сиваков А.П. // Инновационные технологии в медицине. 2015. № 1 (04). С. 79–90.
10. Лукашевич В.А., Сиваков А.П. // Инновационные технологии в медицине. 2015. № 2–3 (5–6). С. 79–90.
11. Лукашевич В.А., Тарасевич М.И. // Сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф. «Современные аспекты прикладной кинезиологии в спортивной медицине». Пинск, 15–16 апреля 2016 года). С. 36–39.

УДК 551.501.8; 551.510.42

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВОЗДУХА

С.А. ЛЫСЕНКО, В.В. ХОМИЧ

*Белорусский государственный университет
пр. Независимости, Минск, 4220030, Беларусь*

Поступила в редакцию 24.10.2016

Рассматриваются задачи оперативного получения карт загрязнений атмосферы мелкодисперсными фракциями аэрозоля по данным наземного лидарного зондирования и многоспектральной спутниковой съемки. Предложены новые методы калибровки многочастотного лидара и решения обратных задач по переносу излучения в атмосфере и аэрозольному светорассеянию. Показана возможность использования разработанных методов для оперативного слежения за переносом аэрозольных загрязнений в атмосфере во время природных пожаров.

Ключевые слова: аэрозоль, респирательные частицы, оптическое зондирование, многочастотный лидар, калибровка, спутниковые измерения.