

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬЮ СЕРДЕЧНОГО РИТМА И ВЫРАЖЕННОСТЬЮ РЕАКЦИИ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОГРУЖЕНИИ В СРЕДУ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Шан Вэньли, Е.И. Козлова

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
wenlishang128@gmail.com*

В данной работе исследовалось наличие и выраженность связи между вариабельностью сердечного ритма (BCP) и степенью эффекта укачивания при нахождении человека в сценах виртуальной реальности (VR-MS), а также особенности этой связи. Для прогнозирования вариабельности сердечного ритма и VR-MS были использованы модели машинного обучения. Определено, что модель MLPRegressor наилучшим образом соответствует результатам экспериментов и может быть применена для прогнозирования характера связи между исследованными переменными.

Ключевые слова: виртуальная реальность; укачивание; прогнозирование состояния; машинное обучение; VR сценарий.

ВВЕДЕНИЕ

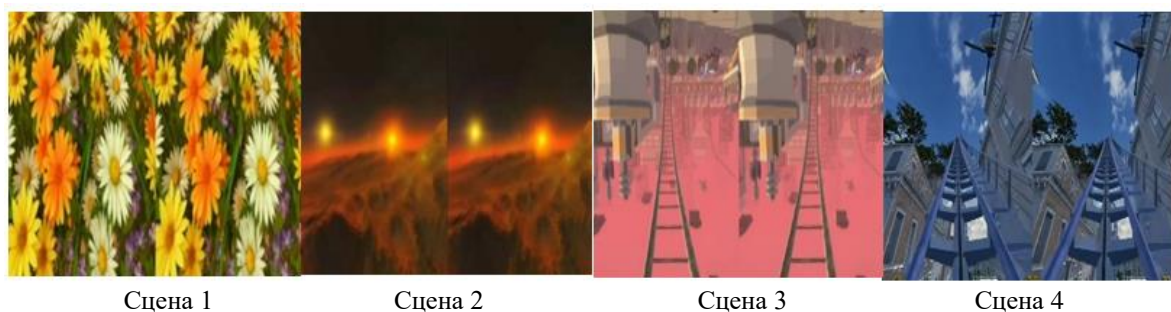
В последние годы технология виртуальной реальности (VR) привлекает все большее внимание благодаря своим иммерсивным интерактивным возможностям [1 – 3]. Исследование влияния VR-окружения на физиологические реакции, например, вариабельность сердечного ритма, субъективные переживания, такие как движение виртуальной реальности, является одной из областей, которая привлекает большой интерес [4–8].

Понимание связи между этими факторами важно для улучшения пользовательского опыта и решения потенциальных проблем здоровья в приложениях VR. В этой статье исследована связь между вариабельностью сердечного ритма и степенью тяжести укачивания в различных сценариях VR, при этом учитываются факторы окружения и индивидуальные различия испытуемых.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Экспериментальное проектирование. В рамках данного исследования испытуемые погружались в различные сценарии VR, одновременно измерялись их физиологические реакции и субъективные переживания. В исследовании участвовало 35 участников, которые имели различный уровень опыта взаимодействия с технологией VR. Были разработаны шесть различных сценариев VR, каждый из которых отличался по содержанию и интенсивности движения. Сценарии включали в себя имитацию американских горок, виртуальный туризм и интерактивные игровые среды.

Сцены: Виртуальные сцены представлены в пассивном движении: испытуемый остается неподвижным в первом лице, в то время как сцена представляется ему в виде пассивного движения. Сцены от первой до третьей: использование трех различных типов и скоростей виртуальных движущихся сцен. Сцены от четвертой до шестой: использование одной и той же сцены виртуальной реальности, но с разной скоростью воспроизведения, чтобы сравнить влияние различных скоростей воспроизведения на испытуемых. В частности, скорость воспроизведения для сцены четвертой составляет 2,0, для сцены пятой - 1,0, для сцены шестой - 0,5.



Кадры VR-сцен, использованных в эксперименте

Физиологические данные (включая вариабельность сердечного ритма) собирались с помощью носимых биоинформационных датчиков. Субъективные оценки степени тяжести укачивания получались после каждого опыта с VR с помощью опросника.

Оборудование: VR-очки для предоставления пользователю виртуального опыта, смартфон REALME gt5PRO для воспроизведения виртуальных движущихся сцен, и браслет мониторинга здоровья DIDO g28SPRO для отслеживания физиологических показателей испытуемых, таких как сердечный ритм.

Анализ данных. Для изучения связи между вариабельностью сердечного ритма и степенью тяжести движения в различных сценариях VR, а также их различий в зависимости от сценария, использовались методы статистического анализа, включая дисперсионный анализ и коэффициенты корреляции Пирсона и Кендалла. С использованием моделей машинного обучения предсказывалась степень тяжести укачивания на основе данных о вариабельности сердечного ритма и результатов опросов участников эксперимента. Учитывая особенности данных, мы применили несколько моделей машинного обучения, включая Support Vector Machine, Random Forest, Gaussian Regression, Decision Tree, Kernel Ridge, Integrated Models, MLPRegressor и SequentialModel. Эти модели были применены для подгонки данных по BCP

и оценкам VR-укачивания, а также оценили их производительность на тестовом и валидационном наборах данных. Учитывая производительность и сложность моделей, мы выбрали MLPRegressor в качестве окончательной модели для прогнозирования. Эта модель показала отличные результаты на тестовом и валидационном наборах данных, имея низкое MSE и высокий R-squared, что свидетельствует о ее высокой точности и способности к обобщению. Проведенный анализ и сравнение производительности других моделей показал, что несмотря на хорошие результаты на тестовом наборе данных, их производительность на валидационном наборе была низкой, что может свидетельствовать о переобучении или недостаточной способности к обобщению.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.

Во всех VR-сценариях наблюдалась умеренная положительная корреляция между вариабельностью сердечного ритма и степенью тяжести укачивания. Однако сила этой связи варьировалась в зависимости от конкретных характеристик каждого сценария. Модель MLPRegressor успешно предсказывала степень тяжести укачивания на основе данных о вариабельности сердечного ритма, имея низкую среднеквадратическую ошибку и высокий коэффициент детерминации R.

Контекстуальные факторы. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что контекстуальные факторы, такие как содержание VR-сцены и интенсивность движения, играют важную роль во влиянии на связь между физиологическими реакциями и степенью тяжести укачивания. Сцены с более высокой интенсивностью движения, как правило, вызывали более сильные физиологические реакции и более высокие оценки степени укачивания. Так, анализ значений коэффициента корреляции Кендалла между ИСР и оценками VR-укачивания показал относительно высокие значения (0,59, 0,61 и 0,48) в сценах с первой по третью, при этом соответствующие значения уровня значимости (p) также были очень низкими: $2,07e-05$, $3,08e-06$ и $0,00017$. Это свидетельствует о том, что в каждой сцене существует сильная упорядоченная связь между ИСР и оценками VR-укачивания, а также наличие высокой статистической значимости этих корреляций, а не случайность.

Индивидуальные различия. В реакции участников на VR-сцены наблюдались индивидуальные различия, обусловленные не только личной восприимчивостью к укачиванию, например, в транспорте, но и различием в сценариях и скорости воспроизведения представленных испытуемым сцен. Эти индивидуальные различия подчеркивают важность индивидуального подхода к разработке и применению VR.

ВЫВОДЫ

Относительно небольшой объем выборки может ограничивать обобщение результатов исследования. Кроме того, индивидуальные различия и субъективные факторы в ходе эксперимента могут влиять на стабильность результатов. В связи с этим, в будущем следует расширить объем выборки и провести дополнительное изучение влияния индивидуальных характеристик, эмоционального состояния и других факторов на ИСР и оценки ВР-укачивания. Предполагается также провести дополнительную оптимизацию выбора моделей и методов анализа данных для улучшения научной обоснованности и надежности исследования. Проведенные исследования помогают нам понять, как физиологические реакции и субъективные переживания влияют на восприятие информации в среде виртуальной реальности. Учитывая факторы окружения и индивидуальные различия, мы можем лучше разрабатывать виртуальные среды, чтобы максимально снизить дискомфорт от движения и повысить комфорт и удовлетворение пользователя. Дальнейшие исследования в этой области представят дополнительную информацию для разработки более погруженных и пользовательски-ориентированных приложений VR.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. *Arcioni B., Palmisano S., Apthorp D., Kim J.* Postural stability predicts the likelihood of cybersickness in active HMD-based virtual reality. *Displays* 58: P. 3–11. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2018.07.001>.
2. *Kim J, Chung C.Y.L., Nakamura S., Palmisano S., Khuu S.K.* The Oculus Rift: a cost-effective tool for studying visual-vestibular interactions in self-motion perception. *Front Psychol* 6: P. 248. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00248>
3. *Stanney K.M., Hale K.S., Nahmens I, Kennedy R.S.* What to expect from immersive virtual environment exposure: influences of gender, body mass index, and past experience. *Hum Factors* 45(3): P. 504–520. DOI: <https://doi.org/10.1518/hfes.45.3.504.27254>
4. *Reason J.T., Brand J.J.* Motion sickness. Academic Press, New York. 1975.
5. *Riccio G.E., Stoffregen T.A.* An ecological theory of motion sickness and postural instability. *Ecol Psychol* 3(3): 1991. P. 195–240. DOI: https://doi.org/10.1207/s15326969eco0303_2
6. *Ebenholtz S.M., Cohen M.M., Linder B.J.* The possible role of nystagmus in motion sickness: a hypothesis[J]. *Aviation, space, and environmental medicine*, 1994. 65(11): P. 1032-1035.
7. *Holmes S.R., Griffin M.J.* Correlation between heart rate and the severity of motion sickness caused by optokinetic stimulation[J]. *Journal of Psychophysiology*, 2001. 15(1): P. 35.
8. *Tokatli A., Durmus C.* Correlation between heart rate variability and motion sickness caused by optokinetic stimulation[J]. *Balkan Military Medical Review*. 2014. P. 17.