



Когнитивная нагрузка при выполнении учебной задачи на зрительно-моторную координацию в среде виртуальной реальности

© Т.А. Гаврилова, В.А. Баранова

*Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Российская Федерация*

Аннотация. Изучение когнитивных факторов, влияющих на эффективность обучения в среде виртуальной реальности, постепенно приобретает актуальность в связи с ростом объема внедрения виртуальных тренажеров в сфере профессионального образования. Цель данного исследования – эмпирически изучить роль когнитивной нагрузки на обучающихся в успешности выполнения учебной задачи на зрительно-мануальную координацию в среде виртуальной реальности. Учебная задача в среде виртуальной реальности была смоделирована по сценарию игры, в которой испытуемый должен стрелять из виртуального лука по движущимся мишеням, набирать баллы и уровни продвижения в зависимости от успешности выполняемых действий. Успешность выполнения задачи оценивалась по показателю точности попаданий и по показателю максимального уровня сложности ситуаций выполнения задачи. При помощи опросной методики у 40 студентов педагогического бакалавриата оценивались субъективно воспринимаемая когнитивная нагрузка (внутренняя, посторонняя и релевантная). Полученные результаты показали, что при выполнении учебной задачи на зрительно-моторную координацию значимую роль играют два вида когнитивной нагрузки: посторонняя и релевантная.

Ключевые слова: виртуальная реальность, учебная задача, успешность обучения, когнитивная нагрузка, внутренняя, посторонняя и релевантная когнитивная нагрузка

Для цитирования: Гаврилова Т.А., Баранова В.А. Когнитивная нагрузка при выполнении учебной задачи на зрительно-моторную координацию в среде виртуальной реальности // Социальная компетентность. 2023. Т. 8. № 2. С. 55–61.

Cognitive load when performing a learning task on visual-motor coordination in a virtual reality environment

© T.A. Gavrilova, V.A. Baranova

*Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russian Federation*

Abstract. The study of cognitive factors influencing the effectiveness of training in virtual reality is gradually becoming relevant due to the growing volume of implementation of virtual simulators in the field of vocational education. The purpose of this study is to empirically examine the role of cognitive load on students in the success of a learning task on hand-eye coordination in a virtual reality environment. The training task in a virtual reality environment was modeled after a game scenario in which the subject must shoot from a virtual bow at moving targets and gain points and advancement levels depending on the success of the actions performed. The success of completing the task was assessed by the accuracy of hits and the maximum level of complexity of task situations. Using a survey technique, 40 undergraduate pedagogical students were assessed for their subjectively perceived cognitive load (internal, extraneous and germane). The results obtained showed that when performing a learning task on visual-motor coordination, two types of cognitive load (extraneous and germane) play a significant role.

Keywords: virtual reality, learning task, learning success, cognitive load, internal, extraneous and germane cognitive load

For citation: Gavrilova T.A., Baranova V.A. (2023) Cognitive load when performing a learning task on visual-motor coordination in a virtual reality environment. *Social Competence*. Vol. 8. No. 2. P. 55–61. (In Russ.).

Введение

Технологии виртуальной реальности относительно недавно стали применяться в образовании и потому их реальные возможности и ограничения изучены еще недостаточно (Селиванов, Селиванова, 2014). Одна из проблем в этой сфере – насколько такие технологии задействуют различные виды когнитивной нагрузки на обучающихся и как это влияет на успешность обучения. Дело в том, что в случае виртуальной реальности мы имеем дело с технологией, которая предполагает специфическую нагрузку на зрительное и кинестетическое восприятие обучающихся, что чревато негативными физиологическими состояниями, т.н. киберболезнь (Keshavarz et al., 2018; Смирнов и др., 2020).

Когнитивная нагрузка выступает показателем нагрузки на оперативную память индивида, от величины которой зависит закрепление усваиваемой информации в долговременной памяти (Sweller, 2019). Согласно теории когнитивной нагрузки, рабочая память обучающегося по сравнению с долговременной имеет ограниченный объем, и его перегрузка затрудняет закрепление усваиваемой информации в долговременной памяти. Выделяется три типа когнитивных нагрузок, которые происходят в процессе обучения: внутренняя, посторонняя и релевантная (уместная) (см. для обзора: Sweller, 2011). К настоящему времени еще недостаточно изучено то, как виртуальная реальность влияет на когнитивную нагрузку обучающегося. В одних исследованиях заключается, что виртуальная реальность увеличивает постороннюю нагрузку, в других – что не увеличивает. Так, при сравнении просмотра учебного фильма на уроке истории посредством видео на мониторе компьютера и просмотра в среде иммерсивной виртуальной реальности последняя сопровождалась более высоким эмоциональным возбуждением учащихся (по показателям частоты сердечных сокращений) и более низким когнитивным взаимодействием (по результатам электроэнцефалограммы) (Parong, Mayer, 2021). Аналогичные выводы сообщаются в исследовании по сравнению настольной и стереоскопической виртуальных реальностей при изучении анатомии: в случае более реалистичной стереоскопической виртуальной реальности измеренная при помощи ЭЭГ тета-мощность как мера когнитивной нагрузки была выше (Birbara, 2021). Особенную обеспокоенность исследователи высказывают по поводу иммерсионной виртуальной среды, которая характеризуется высоким уровнем погружения. Путем сравнения результатов тестов или выполнения задач между средами с высоким погружением и другими традиционными средами некоторые исследования показали, что результаты тестов пользователей были ниже (Parong, Mayer, 2021), а выполнение задач (Frederiksen et al., 2020) было хуже в средах с высоким погружением. Ученые пришли к выводу, что виртуальная среда с высоким уровнем погружения больше подходит для развлечения и не должна использоваться для серьезных задач (Mahmoudzadeh, 2021).

Вместе с тем в исследованиях делаются выводы о том, что обучение в среде виртуальной реальности не увеличивает когнитивную нагрузку. Например, не было обнаружено значимых различий при сравнении оценок посторонней когнитивной нагрузки в ходе трех видов студенческих дискуссий, – посредством видеоконференции, виртуальной реальности и «лицом к лицу» (Moser, 2020). Подробный обзор исследований по данной тематике представлен китайскими авторами (Han et al., 2021). В результате его авторы заключают, что когнитивная нагрузка и результаты работы в среде иммерсивной виртуальной реальности не связаны напрямую: повышение когнитивной нагрузки не всегда отрицательно влияет на результаты

деятельности в среде виртуальной реальности.

Цель исследования – изучить роль когнитивной нагрузки на обучающихся в успешности выполнения учебной задачи на зрительно-моторную координацию в среде виртуальной реальности.

Сформулирована гипотеза о том, что успешность выполнения учебной задачи в среде виртуальной реальности связана с разными видами когнитивной нагрузки у обучающихся. Исследование носило полевой характер.

Методы

Учебная задача на зрительно-моторную координацию в среде виртуальной реальности была смоделирована по сценарию игры «Стрельба из лука» на бесплатной платформе Steam (<https://store.steampowered.com/>). Игра выполнена на базе высококачественной 3D-ситуации, в которой испытуемый должен стрелять из виртуального лука по движущимся мишеням и набирать баллы и уровни в зависимости от точности и сложности выполняемых действий. В ходе игры происходит взаимодействие на основе тактильной, слуховой и исполнительской обратной связи с объектами среды виртуальной реальности. При этом, пребывая в игре, испытуемый может свободно перемещаться в пространстве. Успешное выполнение задачи требует от испытуемого концентрации внимания, отслеживания виртуального окружения, быстрой реакции на изменения с использованием контроллеров, точного выполнения последовательности определенных действий. Мы сочли возможным использовать данную игру как прототип учебной задачи на зрительно-моторную координацию, которая может быть рассмотрена как модельное задание по формированию навыка практического действия.

В качестве показателей успешности выполнения задачи использовались такие характеристики действия испытуемого как *точность* (количество попаданий) и *сложность* (максимальный пройденный уровень) действий.

Для эксперимента использовались шлемы виртуальной реальности HTC VIVE VR HMD с разрешением дисплея 1080x1200 и входящие в комплект контроллеры.

Перед проведением эксперимента каждому испытуемому давались устные и письменные инструкции по выполнению поставленной задачи

Оценка когнитивной нагрузки проводилась методом субъективного оценивания при помощи модифицированного опросника CLS Дж. Леппинка, который включает три шкалы: *внутреннюю*, *внешнюю* и *релевантную* когнитивную нагрузки (Lepping et al., 2013). Шкала внутренней когнитивной нагрузки (ВКН) измеряет субъективную оценку сложности изучаемой темы, шкала посторонней нагрузки (ПКН) – оформление учебного материала, а шкала релевантной когнитивной нагрузки (РКН) – тот вид нагрузки на рабочую память, которая ведет к углублению обработки информации и улучшению за счет этого результатов обучения. Максимальное количество баллов по субшкалам ВКН и ПКН – 30, по субшкале РКН – 40, минимальное по всем шкалам – 0. Предварительная оценка внутренней согласованности по тесту Кронбаха переведенных и модифицированных субшкал показала их высокую надежность ($\alpha_{ВКН} = 0,88$; $\alpha_{ПКН} = 0,81$; $\alpha_{РКН} = 0,98$).

В исследовании приняли участие 40 студентов 2 курса Дальневосточного федерального университета, обучающихся по программам педагогического бакалавриата (10 юношей и 30 девушек). Группа была выравнена по уровню игрового опыта в виртуальной реальности (имеющих хорошие навыки игры было 2 человека, и они не вошли в группу испытуемых).

Полученные результаты были проанализированы при помощи программы IBM SPSS 19.0 следующим образом:

- 1) оценки измеряемых характеристик анализировались при помощи аппарата описательной статистики и Z-теста Колмогорова–Смирнова (нормальность распределения);
- 2) проверка гипотез о связях осуществлялась посредством корреляционного, множественного регрессионного анализа.

Результаты исследования

Описательная статистика по результатам оценок испытуемыми когнитивной нагрузки по шкале Леппинга в ходе выполнения задания и показателей их успешности выполнения учебной задачи представлена в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения (M), стандартные отклонения (SD) и значения одновыборочного теста Колмогорова–Смирнова (Z)

Изменяемые характеристики	M	SD	Z	p
Внутренняя когнитивная нагрузка	10,1	7,1	0,08	0,20
Посторонняя когнитивная нагрузка	2,5	4,7	0,30	0,00
Релевантная когнитивная нагрузка	31,6	8,3	0,17	0,01
Общая когнитивная нагрузка	44,2	11,5	0,08	0,20
Точность	92,8	42,8	0,16	0,02
Сложность	8,2	3,7	0,30	0,00

По результатам корреляционного анализа (Таблица 2), *точность* умеренно позитивно связана с уровнем *релевантной когнитивной нагрузкой* ($r = 0,41^*$) и негативно с *внутренней когнитивной нагрузкой* ($r = -0,42^*$). В свою очередь, *сложность* умеренно негативно связана с *посторонней когнитивной нагрузкой* ($r = -0,33^*$) и позитивно – с *релевантной* ($r = 0,32^*$). Эти данные подтверждают выдвинутую гипотезу.

Таблица 2. Связи между показателями успешности выполнения учебной задачи в VR-среде и видами когнитивной нагрузки обучающихся (по Спирмену)

Когнитивная нагрузка	Точность $r(p)$	Сложность $r(p)$
Внутренняя когнитивная нагрузка	-0,42(0,01)*	0,29 (0,07)
Посторонняя когнитивная нагрузка	-0,31 (0,05)	-0,33 (0,04)*
Релевантная когнитивная нагрузка	0,41 (0,01)*	0,32 (0,04)*
Общая когнитивная нагрузка	-0,07 (0,65)	-0,09 (0,57)

Примечание. * $p \leq 0,05$

Таблица 3. Оценка влияния когнитивной нагрузки на успешность выполнения учебной задачи в VR-среде

переменные	Показатели успешности	β	SD	t	p
(constant)	точность	-15,05	40,32	- 0,37	0,71
	сложность	-4,14	3,27	-1,26	0,22
Внутренняя когнитивная нагрузка	точность	- 0,44	1,23	- 2,15	0,04
	сложность	исключена	исключена	исключена	исключена
Посторонняя когнитивная нагрузка	точность	0,72	1,53	3,62	0,001
	сложность	0,48	0,10	3,23	0,003
Релевантная когнитивная нагрузка	точность	0,31	0,82	0,32	0,04
	сложность	0,34	0,08	0,34	0,04

Примечание. Для показателя «точность» $Adj.R^2 = 0,49$, $F = 7,95$, $p = 0,000$. Для показателя «сложность» $Adj.R^2 = 0,39$, $F = 7,30$, $p = 0,001$.

Результаты регрессионного анализа (Таблица 3) показали, что на успешность выполнения учебной задачи в VR-среде когнитивная нагрузка (для показателя *точности* – это все виды, для показателя *сложности* – посторонняя и релевантная) оказала значимое влияние. При этом наибольший вклад вносит *посторонняя когнитивная нагрузка* ($\beta = 0,72$ для *точности* и $\beta = 0,48$ для *сложности*). Полученная модель описывает 49% дисперсий *точности* и 39% дисперсий *сложности* выполнения учебной задачи. При этом статистический анализ медиации переменной пространственного мышления на связь между показателями успешности выполнения учебной задачи и когнитивной нагрузки не выявил значимого влияния.

Обсуждение

В результате проведения эмпирического исследования гипотеза о том, что успешность выполнения учебной задачи в среде виртуальной реальности связана с разными видами когнитивной нагрузки на обучающихся получила подтверждение. Выяснилось, что чем выше точность и сложность выполняемого действия, тем ниже внутренняя (для показателя *точности*) и посторонняя (для показателя *сложности*) и тем выше релевантная (для обоих показателей) когнитивные нагрузки. Таким образом, были получены подтверждения той точки зрения, что действия в среде виртуальной реальности не являются однозначно когнитивно перегружающими обучающегося. Они соотносятся с выводами экспериментальных исследований о том, что обучение в среде виртуальной реальности способствует точности формируемых навыков (Lukačević, et al., 2020), (Ros, et al., 2021).

Также было обнаружено, что наибольшее влияние на успешность действий на зрительно-моторную координацию в среде виртуальной реальности оказывает посторонний вид когнитивной нагрузки, а именно – тот, который относится к умственным усилиям, необходимым для обработки того, как представлен учебный материал. Данный вывод не является специфическим для обучения в среде виртуальной реальности и соответствует общему для всех видов обучения положению теории когнитивной нагрузки. Примером посторонней нагрузки могут стать картинки, смайлики, различные визуальные эффекты, которые придают эстетичный вид учебному материалу, но отвлекают внимание от основного предмета занятия. Это может быть также специфика речи преподавателя, его внешний вид, излишняя многословность или, наоборот, лаконичность. Большое количество вспомогательных действий (достать учебник, открыть его на определенной странице и т.п.) также увеличивает постороннюю когнитивную нагрузку. И проблема даже не в том, что они вызывают утомление, а в том, что эти умственные усилия не обеспечивают формирования умственных действий или понятий, они не являются необходимым компонентом обучения. Устранение необходимости таких усилий, с точки зрения теории когнитивной нагрузки, способствует повышению эффективности и результативности процесса обучения (Sweller et al., 2019). В нашем случае в качестве посторонней когнитивной нагрузки могли выступить неточность подачи инструкции испытуемым, необходимость адаптации органов чувств к среде виртуальной реальности у студентов с малым опытом пребывания в подобной среде, игровой фон выполнения действий.

Заключение

В данном исследовании мы проверили то, какую роль играет когнитивная нагрузка обучающихся на успешность выполнения ими в среде виртуальной реальности учебной задачи на зрительно-моторную координацию. Было выяснено, что и в среде виртуальной реальности, как и в традиционном обучении все виды когнитивной нагрузки связаны с успешностью действия. При этом в VR-среде наибольшее влияние оказывает посторонняя нагрузка на рабочую память обучающегося. Определенным ограничением исследования была методика

диагностики когнитивной нагрузки: она оценивала субъективно воспринимаемую нагрузку. Для всесторонней оценки когнитивной нагрузки было бы полезно задействовать и психофизиологические методы оценки когнитивной нагрузки (Величковский, 2021; Поликанова, Сергеев, 2014). И хотя эти методы не позволяют дифференцировать нагрузку по видам, но вместе с субъективным оцениванием они могут позволить получить важные результаты для вывода о влиянии виртуальной реальности на психику и результаты обучения.

В перспективе также было бы интересно получить данные на более объемной выборке с учетом индивидуальных характеристик обучающихся и с привлечением специально разработанных обучающих программ для виртуальных тренажеров отработки навыков практического действия.

Тем не менее, полученные нами данные представляются полезными не только в качестве ориентировки для дальнейших психолого-педагогических исследований, но и для выработки практических рекомендаций разработчикам образовательного дизайна виртуальных тренажеров для профессионального образования, а также специалистам в области педагогической психологии.

Список источников / References

- Величковский Б.Б. Новые глазодвигательные методы оценки когнитивной нагрузки // Вопросы психологии. 2021. № 1. С. 119–129.
- Velichkovsky B.B. (2021) New oculomotor methods for assessing cognitive load. *Questions of psychology*. No. 1. P. 119–129. (In Russ.).
- Поликанова И.С., Сергеев А.В. Влияние длительной когнитивной нагрузки на параметры ЭЭГ // Национальный психологический журнал. 2014. № 1(13). <https://doi.org/10.11621/npj.2014.0109>
- Polikanova I.S., Sergeev, A.V. (2014) The influence of long-term cognitive load on EEG parameters. *National Psychological Journal*. No. 1(13). (In Russ.). <https://doi.org/10.11621/npj.2014.0109>
- Селиванов, В.В., Селиванова, Л.Н. Виртуальная реальность как метод и средство обучения // Образовательные технологии и общество. 2014. Т. 7(3). С. 378–391.
- Selivanov V.V., Selivanova L.N. (2014) Virtual reality as a method and means of teaching. *Educational technologies and society*. Vol. 7(3). P. 378–391. (In Russ.).
- Смирнов А.С., Фадеев К.А., Аликовская Т.А., Тумялис А.В., Голохваст К.С. Технологии виртуальной реальности в образовательном процессе: перспективы и опасности. // Информатика и образование. 2020. № 6. С. 4–16. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2020-35-6-4-16>
- Smirnov A.S., Fadeev K.A., Alikovskaya T.A., Tumyalis A.V., Golokhvast K.S. (2020) Virtual reality technologies in the educational process: prospects and dangers. *Computer science and education*. No. 6. P. 4–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2020-35-6-4-16>
- Birbara N.S., N. Pather. (2021) Instructional design of virtual learning resources for anatomy education. *In: Instructional Design of Virtual Learning Resources for Anatomy Education*. Springer Int. Publ. P. 75–110.
- Frederiksen J.G. et al. (2020) Cognitive load and performance in immersive virtual reality versus conventional virtual reality simulation training of laparoscopic surgery: A randomized trial. *Surg. Endosc.* No. 34(3). P. 1244–1252.
- Han J., Zheng Q., Ding Y. (2021) Lost in Virtual Reality? Cognitive Load in High Immersive VR Environments. *Journal of Advances in Information Technology*. No. 12(4). <https://doi.org/10.12720/jait.12.4.302-310>
- Keshavarz B., Philipp-Muller A.E., Hemmerich W., Riecke B.E., Campos J.L. (2019) The effect of visual motion stimulus characteristics on vection and visually induced motion sickness. *Displays*. No. 58. P. 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2018.07.00>
- Leppink J., Paas F., Van der Vleuten C.M., Van Gog T., Van Merriënboer J.G. (2013) Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*. No. 45(4). P. 1058–1072.
- Lukačević F., Škec S., Perišić M.M., Horvat N., Štorga M. (2020) Spatial perception of 3D CAD model dimensions and affordances in virtual environments. *IEEE Access*. Iss. 8. P. 174587–174604.
- Moser I., Chiquet S., Strahm S.K., Mast F.W., Bergamin P. (2020) Group decision-making in multi-user immersive virtual reality. *Cyberpsychology, Behav. Soc. Netw.* No. 23(12). P. 846–853.

- Mahmoudzadeh P., Afacan Y., Adi M.N. (2021) Analyzing occupants' control over lighting systems in office settings using immersive virtual environments. *Build. Environ.* Vol. 196.
- Parong J., Mayer R.E. (2021) Learning about history in immersive virtual reality: does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and Development*. P. 1–19.
- Ros M. *et al.* (2021) The effects of an Immersive Virtual Reality Application in First Person Point-of-View (IVRA-FPV) on the learning and generalized performance of a lumbar puncture medical procedure. *Educ. Technol. Res. Dev.* Vol. 69. No. 3. P. 1529–1556.
- Sweller J., Ayres P., Kalyuga S. (2011) Categories of knowledge: an evolutionary approach. *In: Cognitive Load Theory*. Eds J. Sweller, P. Ayres, S. Kalyuga. New York, Springer. P. 3–14.
https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4_1
- Sweller J., van Merriënboer J.J., Paas F. (2019) Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational Psychology Review*. No. 31. P. 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Parong J., Mayer R.E. (2021) Learning about history in immersive virtual reality: does immersion facilitate learning? *Educational Technology Research and Development*. No. 69(2). P. 1–19.
<https://doi.org/10.1007/s11423-021-09999-y>

Информация об авторе / Information about the author

Гаврилова Татьяна Александровна, кандидат психологических наук, доцент педагогики и психологии развития Школы педагогики
Дальневосточный федеральный университет
690922, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Россия
e-mail: gavrilova.ta@dvfu.ru

Tatyana A. Gavrilova, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Department of the Pedagogy and Developmental Psychology, School of Education
Far Eastern Federal University
10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Russia, 690922
e-mail: gavrilova.ta@dvfu.ru

Баранова Виктория Александровна, ассистент Школы педагогики
Дальневосточный федеральный университет
690922, п. Аякс, 10, о. Русский, г. Владивосток, Россия
e-mail: baranova.val@dvfu.ru

Victoria A. Baranova, Assistant, School of Education
Far Eastern Federal University
10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Russia, 690922
e-mail: baranova.val@dvfu.ru

Вклад автора / Contribution of the author

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение и подготовил рукопись к печати.

The author carried out a research work, based on the obtained results made the generalization and prepared the manuscript for publication.

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflict of interest.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 06.04.2023; одобрена после рецензирования 24.05.2023; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 06.04.2023; approved after reviewing 24.05.2023; accepted 30.06.2023.