

УДК 159.942

## ОБЗОР ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И ПСИХОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРЕССА С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

© 2022 г. В. В. Косоногов<sup>1</sup> \*, К. В. Ефимов<sup>1</sup>, З. К. Рахманкулова<sup>1</sup>, И. А. Зябрева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт Когнитивных Нейронаук, Национальный исследовательский университет  
“Высшая школа экономики”, Москва, Россия

\*e-mail: vkosonogov@hse.ru

Поступила в редакцию 31.10.2021 г.

После доработки 15.12.2021 г.

Принята к публикации 20.12.2021 г.

Данный обзор посвящен применению технологий виртуальной реальности в психофизиологии и психотерапии стресса. Рассмотрены исследования, применяющие виртуальную реальность как для введения испытуемых в состояние стресса, так и для помощи в снижении стрессовых реакций. Описаны методики, разработанные для лечения пациентов, страдающих расстройствами, связанными со стрессом (в частности, ПТСР, фобии). Во многих случаях снижение стрессовых реакций с помощью систем виртуальной реальности достигается не только на уровне самоотчета (переживания), но и на уровне показателей центральной и периферической нервной системы. Это позволяет рассматривать виртуальную реальность как современный, недорогой и эффективный метод, во-первых, для введения испытуемых в состояние стресса в целях проверки определённых психофизиологических гипотез и, во-вторых, для снижения стрессовых реакций.

*Ключевые слова:* стресс, ПТСР, тревожные расстройства, фобии, виртуальная реальность, ЧСС, КГР, ЭЭГ, психотерапия

**DOI:** 10.31857/S0044467722040062

### ВВЕДЕНИЕ

В последние годы технологии виртуальной реальности (VR) в науке и промышленности переживают бурный рост. Этот прогресс связан как с технологическим прогрессом, так и с потребностью во многих областях: науке, образовании, медицине (реабилитации), промышленности (подготовка рабочих кадров, Sloboukov et al., 2015). Одной из научных областей, в которой может быть успешно использована VR, является поведенческая наука. Психологи и нейробиологи пытались использовать технологии VR с 1990-х годов, но только в последнее десятилетие она получила широкое применение в поведенческой науке (Diemer et al., 2015; Chicchi Giglioli et al., 2017). Способность VR обеспечивать имитацию переживаний, создающих ощущение пребывания в реальном мире, делает ее уникальным и полезным методом в психологии и нейробиологии. Причины этого лежат в уникальных ха-

рактеристиках VR: она сочетает в себе способность моделировать сложные реальные ситуации и одновременно контролировать параметры эксперимента. Виртуальная реальность как метод введения испытуемых в различные состояния не так популярен, как двухмерные изображения и видеозаписи, но в последние годы количество исследований с применением VR постепенно растет.

Науки о стрессе, безусловно, относятся к областям, которые могут плодотворно использовать VR как для фундаментальных исследований связи различных явлений и процессов со стрессом, так и для прикладных работ, посвященных улучшению благополучия людей, сталкивающихся с состоянием стресса. Согласно определению Селье (Selye, 1956), стресс – это “неспецифический ответ организма на любое предъявление ему требования”. Во многих работах подчеркивается важность влияния стресса на функциониро-

вание тела человека, а также все большую распространенность получают негативные коннотации в отношении стресса. Так, в работах Фолкман (Folkman, 2011) подчеркивается отрицательное влияние стресса на физическое и ментальное здоровье и благополучие. В данном обзоре рассматриваются работы, которые оперируют понятием физиологического стресса, так как именно он может быть объективно изучен благодаря применению физиологического оборудования.

Таким образом, цель данного обзора заключается в ознакомлении читателя с исследованиями стресса в условиях виртуальной реальности. Нами будут освещены работы, которые показывают, как стресс может быть вызван и, напротив, снижен благодаря технологиям ВР, как ВР применяют для лечения различных расстройств, связанных со стрессом. В заключение мы рассмотрим основные трудности, связанные с техническими особенностями проведения подобных исследований.

### ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ КАК МЕТОД ВВЕДЕНИЯ ИСПЫТУЕМЫХ В СОСТОЯНИЕ СТРЕССА

Во многих работах было показано, что виртуальная реальность может вызывать самые разнообразные эмоции, в том числе и настолько сильные, что их классифицируют как состояние стресса. Так, в исследовании Ривы и соавт. (Riva et al., 2007) панорамы парков использовались, чтобы вызвать как тревогу, так и расслабление. Фельнхофер и соавт. (Felnhofer et al., 2015) в похожем исследовании предъявляли пять сцен виртуального парка и успешно вызывали сильные гнев и тревогу.

Существует множество исследований, посвященных способам вызвать такие сильные негативные эмоции, как тревога и страх. Такая популярность обусловлена практической важностью этой темы в клинической практике: эти методы могут быть полезны в психотерапии. Например, Пеперкорн и соавт. (Peperkorn et al., 2015) изучали влияние таких стимулов ВР, как пауки, на страх и чувство присутствия в ВР. В недавнем исследовании ВР была применена для лечения пациентов со страхом высоты (Bălan et al., 2020). Эти исследования могут служить примерами высокой экологической значимости ВР как метода изменения функционального состояния.

Ряд исследователей подключает методики физиологической регистрации вегетативной нервной системы для выявления уровня стресса при погружении испытуемых в виртуальные среды. Например, Котляр и соавт. (Kotlyar et al., 2008) использовали ВР для регистрации физиологического ответа 12 испытуемых во время исполнения речевого задания. В качестве контроля испытуемые также проходили арифметическое задание без ВР. В обоих заданиях было зарегистрировано достоверное увеличение давления и пульса. Во время задания на речь наблюдался тренд на увеличение уровней эпинефрина и норэпинефрина в крови, хотя достоверного эффекта показано не было. Авторы связывают это с недостаточным размером выборки.

Мартенс и соавт. (Martens et al., 2019) предлагали здоровым испытуемым либо совершить виртуальную поездку на лифте на вершину высокого здания, либо совершить поездку на “контрольном” лифте без образов высоты. В сравнении с контрольной группой в экспериментальной группе наблюдалось достоверное увеличение кожной проводимости, сердцебиения, самоотчетных стресса и тревоги, а также повышение уровня кортизола после исследования.

Бергстрём и соавт. (Bergström et al., 2016) исследовали иллюзии владения телом. Испытуемые были поделены на 2 группы: для одной виртуальное тело находилось в удобном положении, совпадающем с истинным положением испытуемого, для второй группы виртуальное тело находилось в неуклюжем, неудобном положении. Группа испытуемых с виртуальным телом в неудобном положении обнаружила более высокий уровень самоотчетного стресса, увеличенное сердцебиение с меньшей вариабельностью и худшее выполнение задания на обратный счет.

Не так много исследований посвящено мозговым коррелятам состояния стресса в ВР. Так, Брауэр и соавт. (Brouwer et al., 2011) давали 9 испытуемым задание со слезжкой в двух городах. Общий уровень стресса повышался при симуляции взрыва бомбы. Далее уровень стресса увеличивался еще сильнее за счет “возвращения” испытуемого в город, где “произошел взрыв”, при этом экспериментатор нарочно ругал испытуемых за то, что те якобы не справляются с заданием по сценарию. Уровень стресса отражался во фронтальной асимметрии  $\alpha$ -ритма ЭЭГ, повышенном сердцебиении и уровне кортизола.

Петерсон и соавт. (Peterson et al., 2018) исследовали стресс, возникающий при симуляции высоты в ВР. В каждом условии испытуемые должны были пройти по узкой доске. Помимо контрольного обычного выполнения этого задания, в одном условии они делали это в среде ВР на высоте роста или на огромной высоте. В условиях ВР пульс, время реакции и количество ошибок испытуемых были достоверно выше, чем в условии без ВР. Частота сердечного пульса показала достоверное повышение в сеансе ВР на большой высоте по сравнению с сеансом ВР на высоте роста человека. В сеансах ВР было зафиксировано достоверное понижение амплитуды ЭЭГ в передней поясной коре по сравнению с сеансами без ВР.

Фадеевым и соавт. (Fadeev et al., 2020) было обнаружено, что ВР (представленная опасными аттракционами и полетами) может вызывать острые стрессовые реакции, сопровождающиеся активацией симпатической нервной системы и снижением активности парасимпатической нервной системы. Реакция на высокий стресс сопровождается уменьшением мощности альфа-волн ЭЭГ и, наоборот, активация реакции избегания сопровождается увеличением мощности альфа-волн ЭЭГ.

Абу Хасан и соавт. (Abu Hasan et al., 2021) использовали ЭЭГ для исследования деятельности строителей в виртуальной среде. В ходе эксперимента испытуемым были даны задания, симулирующие стрессогенную деятельность (управление краном, прокладка труб). Состояния стресса и дезориентации отражались в падении тета-ритма и отрицательном индексе фронтальной  $\alpha$ -симметрии. Однако по ходу научения наблюдалось смещение индекса в положительную сторону (т.е. сторону приятных эмоций).

Любопытны случаи применения методик ВР в психологии экстремальных ситуаций. Технологии позволяют моделировать ситуации, которые невозможно или весьма затратно воплотить в ходе обучения специалистов опасных профессий. Так, Риос и Пелечано (Ríos, Pelechano, 2020) изучали поведение человека в толпе, симулированной при помощи ВР. Испытуемые были погружены в виртуальную среду с различным уровнем стресса (пожарная тревога или пожарная тревога и непосредственно пожар) и различной долей бегущих в одну сторону персонажей (симуляций людей). Испытуемым было предложено при-

нять решение: следовать за группой или искать выход самостоятельно. Для всех уровней стресса увеличение доли бегущих к выходу персонажей приводило к увеличению доли испытуемых, следующих за группой. Это отражает поведение людей при несчастных случаях, а значит, виртуальные среды могут быть использованы для обучения безопасности жизнедеятельности.

Клиффорд и соавт. (Clifford et al., 2019) воссоздали виртуальный пожарный самолет для учений. В ходе исследования на основании данных о вариабельности сердечного ритма выяснилось, что уровень стресса пожарных летчиков одинаково высок и при работе в виртуальной среде, и при настоящих учебных полетах. Это вскрывает огромный потенциал применения технологий ВР для обучения специалистов экстремальных профессий.

Отдельного рассмотрения заслуживают работы в области психиатрии. Так, накоплен пласт исследований, направленных на изучение реакций и особых свойств пациентов в ВР. Например, Хессе и соавт. (Hesse et al., 2017) изучали влияние социальной обратной связи на уровни стресса и социальной паранойи. Испытуемые с историей психотических расстройств, а также здоровые испытуемые были погружены в среду кабинета, где им нужно было попросить помощи у персонажа. Его ответ мог быть либо утвердительным, либо отрицательным. Наблюдались увеличенные показатели чувства присутствия и социальной паранойи у пациентов, склонных к психотическим расстройствам, по сравнению со здоровыми испытуемыми.

Велинг и соавт. (Veling et al., 2016) указали на роль социального стресса в возникновении симптомов психоза. 55 пациентов с историей недавнего психотического расстройства, 20 пациентов с высоким риском возникновения психоза, 42 родственника (братья или сестры) пациентов с историей психоза и 53 здоровых испытуемых контрольной группы были погружены в обстановку бара, отрисованного при помощи ВР с различными уровнями социального стресса (плотность людей, этнический состав, уровень враждебности). В результате уровень паранойи и субъективного стресса испытуемых увеличивался с ростом социального стресса среды. Важно заметить, что этот эффект был более выражен для людей с предрасположенностью к психозу.

Диббетс (Dibbets, 2020) разработала новую парадигму ВР для исследования факторов риска развития навязчивых воспоминаний и избегающего поведения как главных симптомов травмы вследствие стрессового события. С помощью технологий ВР 82 здоровых испытуемых были подвергнуты легкому травмирующему событию. При последующем наблюдении (спустя неделю) испытуемых помещали в виртуальную среду и в серии из 20 экспериментов предлагали выбрать одну из сред. Репертуар сред включал сцены травмы, сцены, в различной степени связанные с травмой, и нейтральные сцены. В зависимости от выбора той или иной сцены определялась степень избегания травмирующего события. Также было измерено несколько факторов риска до и после травмы. Было показано, что данная парадигма ВР успешно приводила к возникновению мыслей и убеждений, связанных с травмой, навязчивых воспоминаний и избегающему поведению. Наиболее заметными факторами риска, способствовавшими возникновению перечисленных симптомов, оказались отрицательные эмоции во время индукции травмы, личностный уровень тревоги и избегающие стратегии преодоления, что совпадает с данными клинических исследований.

Имеются также попытки классифицировать уровень стресса в ВР по показателям биологических сигналов при помощи методов машинного обучения. Так, Тартариско и соавт. (Tartarisco et al., 2015) разработали алгоритм на основе нейро-нечетких (neuro-fuzzy) сетей, способный по физиологическим (электрокардиограмма, частота дыхания) и поведенческим данным испытуемого автоматически распознавать его уровень стресса во время терапии виртуальной реальностью. В качестве испытуемых были приглашены 20 медсестер. Они проходили сеансы терапии, имитирующие типичные стрессовые ситуации, с которыми они обычно сталкиваются на своем рабочем месте. Уровень стресса в ходе эксперимента дополнительно оценивался по стандартным клиническим шкалам. Точность распознавания в итоге составила 83%.

Хам и соавт. (Ham et al., 2017) использовали вариабельность сердечного ритма во время погружения в виртуальную реальность для классификации 3 уровней стресса. Для легкого стресса использовалась панорама моря, для сильного — темная комната, патрулируе-

мая охранником. Признаки для машинного обучения были получены при помощи линейного дискриминантного анализа. Точность классификации, однако, была невысока и составила 74% для базового уровня стресса, 81% для легкого, 82% для сильного.

В другом исследовании (Cho et al., 2017) в качестве признаков для классификации уровня стресса при просмотре ВР были отобраны вариабельность сердечного ритма, кожная проводимость и температура кожи. Алгоритм классифицировал 5 стрессовых состояний с точностью 95%: базовый уровень стресса, легкий стресс, средний стресс, сильный стресс и восстановление после стресса.

Наконец, любопытно исследование повторного погружения в виртуальную среду (Lin et al., 2019). 3 группы испытуемых были погружены в лабиринт: 1 раз, 2 раза или 3 раза соответственно. В течение каждого сеанса испытуемому было предложено пройти задание на нахождение сокровищ, в ходе последней сессии срабатывала пожарная тревога и испытуемому нужно было эвакуироваться. Результаты показали достоверное уменьшение времени нахождения сокровищ, а также значимое уменьшение времени эвакуации при увеличении числа погружений в виртуальную среду. Также был показан достоверный эффект стресса, вызванный пожарной тревогой и огнем, а именно увеличение времени и пройденной дистанции при эвакуации.

Таким образом, в ходе многих исследований было показано, что ВР может быть эффективно использована для введения испытуемого в состояние стресса. Важно, что повышение уровня стресса было показано не только на основании данных самоотчета участников, но и на уровне вегетативной нервной системы с помощью таких показателей, как изменение пульса, артериального давления, кожной проводимости, уровень эпинефрина в крови. Кроме того, увеличение стресса было показано с использованием мозговых коррелятов стресса. Такая характеристика ВР, как высокая экологическая валидность, позволяет использовать ее в психологии экстремальных ситуаций (в том числе для обучения профессионалов) и психиатрии. Вызываемые ВР эмоции достаточно сильны для того, чтобы применять методы машинного обучения для классификации уровня стресса по показателям биологических сигналов.

## ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СОЦИАЛЬНОГО СТРЕССА

Отдельно стоит упомянуть исследования, в которых ученые стремились вызвать у испытуемых социальный стресс. Речь идет в первую очередь о страхе выступлений, собеседований и страхе перед критикой или руководителем. Предполагается, что сценарии таких условий можно стандартизировать намного успешнее в ВР, нежели при живом присутствии людей, которые должны вызывать стресс у испытуемых. В ВР персонажи могут быть запрограммированы определенным образом, а при проведении сценариев вживую помощники исследователя могут вести себя недостаточно одинаково, создавая таким образом неодинаковые условия для разных испытуемых. Помимо этого, виртуальная реальность может предъявлять и быстро менять любые свойства людей, которые могут вызывать стресс испытуемых — пол, возраст, одежду (например, врача, полицейского, начальника) и так далее.

Пертауб и соавт. (Pertaub et al., 2002) исследовали, как разные типы поведения виртуальных слушателей влияют на степень тревоги у испытуемого-докладчика. Им необходимо было провести 5-минутную презентацию перед восемью персонажами-мужчинами. Было запрограммировано три различных типа поведения персонажей: безразличие, дружелюбность и враждебность. Оценивались уверенность до и после выступления, а также субъективное восприятие соматических реакций. Субъективные оценки уверенности до и после выступления перед дружелюбными или безразличными слушателями положительно коррелировали между собой, в то время как враждебные слушатели аудитории вызывали нарастание тревоги независимо от изначальной степени уверенности.

Слэйтер и соавт. (Slater et al., 2006) также успешно использовали виртуальную реальность для изучения реакций страха перед выступлением. Группы испытуемых — со страхом публичного выступления и без — делили пополам; одна часть выступала в пустой аудитории, а другая — в аудитории со слушателями. В ходе эксперимента оценивали ряд показателей: уровень тревожности на основе опросника, субъективную оценку соматических реакций и частоту сердечных сокращений. Результаты показали, что испытуемые,

имевшие страх выступления перед аудиторией, испытывали больший стресс, находясь в аудитории с виртуальными слушателями, чем в пустой аудитории, даже несмотря на неестественность поведения слушателей и низкое качество трехмерных моделей. Участники, не испытывавшие трудностей с публичными выступлениями, реагировали на обе среды одинаково низким уровнем тревоги.

Йонссон и соавт. (Jönsson et al., 2010) впервые предложили новую методику проведения Трирского социального стресс-теста с помощью технологии ВР. Испытуемым было необходимо произнести речь и выполнить арифметическое задание перед виртуальной аудиторией, состоявшей из одной женщины и двух мужчин, дважды с интервалом в неделю. Во время исследования измерялись уровень кортизола в слюне, частота сердечных сокращений, парасимпатическая активность по показателю высокочастотной вариабельности сердечного ритма, и амплитуда Т-зубца электрокардиограммы. Результаты уровня стресса, полученные с помощью нового метода, совпадали с данными классического Трирского теста, проводимого вживую.

Позднее Циммер и соавт. (Zimmer et al., 2019) разработали свою виртуальную версию Трирского социального стресс-теста. 93 здоровых испытуемых были разделены на группы проходящих стресс-тест вживую или в ВР и 2 группы контроля, выступавших с речью в настоящей или виртуальной пустой комнате. У 2 экспериментальных групп, проходящих Трирский тест, наблюдался схожий уровень кортизола и  $\alpha$ -амилазы в слюне (показатели стресса). Эти уровни были достоверно выше аналогичных показателей у контрольных групп. Однако различия не были обнаружены в измерениях кожной проводимости и частоты сердечных сокращений.

Хартанто и соавт. (Hartanto et al., 2014) исследовали возможности управления уровнем стресса, вызываемым в ходе терапии воздействием виртуальной реальностью для лечения социального тревожного расстройства. В первом исследовании каждый из 16 участников подвергался воздействию 3 виртуальных сред: нейтрального виртуального мира (без социального взаимодействия) и двух сценариев-диалогов между участником и виртуальным персонажем — свидания вслепую и собеседования при приеме на работу. Было показано, что, по мере того как нейтральный мир сменялся сценариями свидания

ния вслепую или собеседования, уровень тревожности испытуемых значительно повышался; при этом различные сценарии ВР вызывали разные уровни тревоги.

Таким образом, ВР может быть использована для введения испытуемого в состояние социального стресса. Одним из распространенных вариантов является использование ВР-версии Трирского социального стресс-теста, но используются и другие методы, вызывающие социальный стресс. Дальнейшая работа в данном направлении, по-видимому, будет заключаться в тонкой настройке персонажей и среды под нужды определенных исследований. Так, можно легко увеличивать количество персонажей, их настроение, обстановку, в которой они находятся (например, больница или зрительный зал). Технология ВР уже хорошо проявила себя в избавлении от стрессовых расстройств и фобий, что будет изложено далее.

#### УПРАВЛЕНИЕ СТРЕССОМ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Имеется обширная литература, посвященная снижению уровня стресса с применением технологий ВР. Эта технология может быть названа преемницей кабинетов психологической разгрузки и тренажеров расслабления с биологической обратной связью. Хорошо известно, что определенные образы природы могут снижать состояние стресса у испытуемых (Annerstedt et al., 2010; Anderson et al., 2017), что отражается не только на самоотчетном уровне, но и на уровне активации мозга, концентрации кортизола, частоты сердечных сокращений, кожной проводимости (Park et al., 2007; Lee et al., 2009; Kim et al., 2021). В настоящее время ведется работа по уточнению особенностей работы систем ВР в целях расслабления, в частности, служащих, военных, медицинских работников.

Так, Ван и соавт. (Wang et al., 2019) изучали расслабление в условиях восприятия виртуальных панорам, изображавших различные виды лесов и ландшафта. 96 испытуемых были поделены на 7 выборок, которым показывали различные панорамы природы. В качестве показателей стресса записывались артериальное давление, частота сердечных сокращений, концентрация амилазы в слюне и самоотчетное настроение. Все панорамы с различ-

ными типами леса вызывали некоторое расслабление, а наличие водоема на панораме увеличивало уровень расслабления.

Гаджолли и соавт. (Gaggioli et al., 2014) также исследовали влияние ВР на уровень стресса. Испытуемые, из числа учителей и медицинских работников ( $n = 121$ ), были разделены на 3 выборки: экспериментальная проходила курс релаксации в ВР (просматривая виды моря и т.д.), вторая выборка проходила курс когнитивной поведенческой терапии, третья ожидала помощи в дальнейшем. Только экспериментальная группа показала уменьшение хронических показателей тревожности и улучшение навыка эмоциональной поддержки.

В работе Аннерстедт и соавт. (Annerstedt et al., 2013) изучалось влияние виртуального визуального и звукового ряда, имитирующего природу, на скорость восстановления нормы после стресса. Для введения в состояние острой стрессовой реакции испытуемым предъявляли Трирский виртуальный социальный стресс-тест. Восстановление после стресса изучалось в двух виртуальных природных средах (лес с воздействием звуков природы и без них) и одном контрольном состоянии, не содержащем ни изображений леса, ни звуков природы. В ходе эксперимента регистрировались данные электрокардиограммы, уровень кортизола и субъективные оценки уровня стресса. Эмпирические данные показали, что добавление к виртуальному изображению леса звукового ряда живой природы позволяет ускорить восстановление после стресса.

Погружение в виртуальную реальность также применялось и для изучения влияния обстановки рабочего помещения на уровень восстановления после стресса (Yin et al., 2020). Сначала 100 здоровых испытуемых были погружены в виртуальную реальность грязного шумного офиса, в котором они проходили 2 задания, направленные на увеличение стресса: арифметическое задание и задание на память. Далее испытуемые были разделены на 4 группы: одна группа была погружена в обстановку кабинета без окна и растений, вторая – в обстановку кабинета с красивым видом из окна, третья – в обстановку кабинета с растениями, последняя – в обстановку кабинета и с растениями, и с красивым видом из окна. В процессе погружения в виртуальные среды для восстановления после стресса у испытуемых измерялись частота сердечных сокращений, вариабель-

ность сердечного ритма, кожная проводимость и артериальное давление. 2 группы, погруженные в обстановки с добавлением природных элементов (растения, растения + вид из окна), показали достоверно более успешное восстановление после стресса по сравнению с группой, погруженной в среду обычного кабинета.

Ли и соавт. (Li et al., 2020) использовали виртуальную реальность для изучения влияния яркости на восстановление после стресса. 120 испытуемых решали арифметическое задание, увеличивающее уровень стресса, а затем были разделены на группы для просмотра панорам леса с 6 уровнями яркости. По показателям кожной проводимости, пульса и тревожности авторы делают вывод о максимальном восстановлении после стресса при средней яркости, близкой по яркости к солнечному свету, по сравнению с высокими или низкими уровнями яркости.

Применяется виртуальная реальность также и для обучения испытуемых более эффективным методикам работы со стрессом, увеличения разнообразия способов совладания. Паллавичини и соавт. (Pallavicini et al., 2016) в своём обзоре рассматривают множество программ для ВР, которые хорошо себя показали при обучении управлению стрессом среди военнослужащих.

Крешентини и соавт. (Crescentini et al., 2016) применили виртуальную реальность для обучения детей 7–8 лет техникам осознанности для борьбы со стрессом. После восьминедельного курса дети обнаружили более высокий уровень осознанности и более низкую тревожность, а также более низкие физиологические показатели стресса: частоту сердечных сокращений и возбуждение мышцы, сморщивающей бровь (*corrugator supercilii*).

Также было исследовано влияние программ управления стрессом в ВР на физиологические показатели пациентов с расстройствами настроения (Shah et al., 2015). 22 пациента проходили 3 часовых сеанса ВР, совмещавшие психотерапевтические советы и практику расслабления. По результатам программы испытуемые показали достоверно пониженные уровни тревоги, депрессии и достоверно повышенные уровни температуры кожи и субъективного расслабления.

В уже упоминавшемся исследовании Хартанто и др. (Hartanto et al., 2014), в рамках сце-

нария собеседования, авторы изменяли на ходу соотношение между положительно и отрицательно окрашенными ответами виртуального персонажа. Результаты показали, что положительная обратная связь персонажа приводила к уменьшению тревоги, снижению частоты сердечных сокращений и более развернутым ответам испытуемых.

Во многих исследованиях было показано, что ВР может быть использована для снижения стресса и расслабления. Доказательством успешности применения ВР для снижения стресса служат не только данные самоотчета, но и объективные измерения. В дальнейшем ВР может быть использована для уменьшения стресса как у здоровых людей, так и у пациентов с расстройствами настроения. Наиболее частым сюжетом ВР в подобных экспериментах является природная среда.

### ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ БОЛИ

Помимо достижения общего расслабления виртуальная реальность помогает и в снижении острой боли, что начали использовать практикующие врачи для помощи пациентам с острыми или хроническими болями и даже в качестве обезболивания. Так, Волицки и соавт. (Wolitzky et al., 2005) применили виртуальную реальность для снижения стресса перед операцией на выборке онкобольных детей. Дети из экспериментальной выборки рассматривали панорамы зоопарка, тогда как в контрольной выборке такого вмешательства не было. В итоге и самоотчетные показатели стресса, и частота сердечных сокращений была ниже в случае использования ВР. Аминабади и соавт. (Aminabadi et al., 2012) показали, что детская зубная боль также может снижаться при использовании ВР.

В похожем исследовании Пискош и Чуб (Piskorz, Czub, 2018) изучали влияние ВР на субъективный уровень стресса и болевых ощущений при заборе крови из вены. Одна группа в процессе играла в требующую внимания виртуальную игру, а другая — нет. Группа детей, игравшая в игру во время процедуры, показала достоверно более низкие уровни стресса и боли по результатам опросника.

Сойка и соавт. (Soyka et al., 2016) предложили свой эффективный метод снижения стресса путем комбинации дыхательных техник и интерактивных систем ВР, имитирую-

щих подводный мир. Во время сеанса ВР испытуемым предъявляли изображение медуз, двигающихся вверх и вниз со скоростью примерно 6 вдохов в минуту. Задача участников состояла в том, чтобы следовать своим дыханием за ритмичным движением медуз. Половина участников наблюдала медуз в окружении подводного мира, другая половина – вне какой-либо окружающей среды (стандартная техника). По данным опросников и физиологических показателей (частота дыхания, пульс) подводный виртуальный мир был оценен как более увлекательный и подходящий для самостоятельного использования дома по сравнению с традиционной дыхательной техникой по управлению стрессом, обеспечивая при этом аналогичную степень расслабления.

Виейра и соавт. (Vieira et al., 2018) применили виртуальную реальность в кардиореабилитации пациентов. В эксперименте участвовало 3 группы пациентов по 11 человек, прошедших курс физических упражнений на протяжении 6 месяцев: первая группа проходила курс в виртуальной среде с помощью персонажа-терапевта, вторая группа проходила тот же курс по напечатанному руководству без ВР, контрольная группа проходила обычную терапию и была проинструктирована о необходимости физических упражнений в начале эксперимента так же, как группы 1 и 2. Группа, проходившая курс в ВР, показала более высокие показатели избирательного внимания и разрешения конфликтных ситуаций по сравнению с двумя другими группами. Однако общие показатели благополучия, депрессии, стресса и тревоги не отличались.

Скейтс и соавт. (Scates et al., 2020) использовали виртуальные изображения природы для уменьшения уровней стресса и болевых ощущений у пациентов с диагностированным раком. 50 пациентов прошли через 2 сеанса химиотерапии: первый проходил без погружения в виртуальные среды, а второй – с погружением. После второго сеанса пациенты показали улучшение показателей расслабления, умиротворения и отвлечения в сравнении с показателями до процедуры. Однако снижения уровней стресса и боли не наблюдалось.

Ганри и соавт. (Ganry et al., 2018) использовали ВР для уменьшения предоперационной тревоги 20 пациентов с диагностированным раком кожи. В качестве стимула использовалась панорама тропического пляжа, направленная на расслабление пациента. По-

сле просмотра наблюдалось снижение как уровня самоотчётного стресса, так и уровня кортизола в слюне.

Наконец, Паллавичини и соавт. (Pallavicini et al., 2021), отвечая на запросы современности, представили протокол исследования, направленного на уменьшение уровня стресса медицинского персонала итальянских больниц, участвовавшего в борьбе с пандемией COVID-19. Виртуальная среда включает в себя панорамы тропического острова, который разделён на 3 пути: введение в курс по тревоге и стрессу, причины и симптомы, основные методы терапии. Каждый путь оснащен под-сказками и краткими советами из психотерапевтической литературы. Авторы планируют запустить два исследования: одно – по изучению эффектов уменьшения стресса испытуемых, второе – по сравнению уровней обучения испытуемых, прошедших виртуальный курс и освоивших ту же информацию в виде презентаций и брошюр.

Следовательно, в последние годы ВР применяется для снижения и контроля болевых ощущений у взрослых и детей. Применение ВР может помочь отвлечь пациентов от болевых ощущений и, вероятно, повысить их приверженность лечению. На основании проведенных исследований можно утверждать, что ВР имеет потенциал для использования в клинической практике.

## ЛЕЧЕНИЕ ПТСР С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Другим важным с точки зрения общественного здравоохранения заболеванием является посттравматическое стрессовое расстройство (ПТСР). В России до половины военнослужащих, переживших травмирующие события, испытывают различные реактивные состояния (Юдин, 2011). К настоящему времени одним из наиболее эффективных методов вмешательства является терапия погружением (или экспозицией, или вскрывающая терапия), которая заключается в повторном переживании травмирующего события с элементами переобусловливания с помощью введения приятных раздражителей, расслабления, опровержения когнитивными техниками (см. обзор Эстербрук и др., 2020). В настоящее время возникла почва для внедрения технологий виртуальной реальности в соответствующие методики, так как по-

тенциально виртуальные среды могут давать более яркие зрительные и слуховые образы, чем воображение пациентов. Кроме того, виртуальная среда легко управляется врачами и психологами, в отличие от воображения.

В одной из ранних работ исследователи использовали виртуальную реальность для терапии пациентов с ПТСР, вызванным аварией с участием мотоцикла (Walshe et al., 2003). 14 испытуемых с диагностированной фобией автокатастрофы были погружены в курс из 12 часовых сеансов виртуального вождения. 7 пациентов, прошедших курс полностью, показали достоверно пониженные уровни частоты сердечных сокращений, самоотчётного уровня стресса, страха вождения, симптомов ПТСР и уровня депрессии по сравнению с уровнями до начала терапии. Рэди и соавт. (Ready et al., 2006) использовали виртуальную реальность для лечения группы ветеранов войны с ПТСР. 21 пациент-ветеран проходил терапию с использованием 2 сценариев в ВР. После прохождения терапии наблюдались долгосрочные достоверные понижения показателей по шкале оценки депрессии Бека и по шкале симптомов ПТСР.

Дифеде и Хоффман (Difede, Hoffman, 2002) использовали виртуальную реальность для лечения пациента с ПТСР, вызванным терактом в США 11 сентября 2001 года. В ходе терапии пациенту предлагалось погрузиться в симуляцию терактов. После 6 сессий показатель пациента по шкале оценки депрессии Бека снизился на 83%, а показатель по шкале симптомов ПТСР оказался ниже на 90%.

Эти же исследователи (Difede et al., 2007) в дальнейшем использовали симуляцию терактов 11 сентября 2001 года в ВР для лечения группы пациентов с ПТСР, вызванным этим событием. 13 человек из группы терапии виртуальной реальностью показали значительное снижение показателей по шкале симптомов ПТСР по сравнению с 8 пациентами из контрольной группы. Авторы указывают на важность ВР как средства терапии для пациентов, для которых терапия воображением не приносит результатов.

Леви и соавт. (Levy et al., 2019) разработали виртуальный магазин для терапии и интеграции ветеранов войн с ПТСР и легкими повреждениями мозга для возврата в социальную жизнь. Испытуемые использовали данную систему на протяжении 2 лет (ветераны без ПТСР и повреждений мозга, а также ветера-

ны с ПТСР или повреждениями мозга). Система использовалась как для сеансов терапии ветеранов, так и ими самостоятельно. По прошествии 2 лет симптоматика ПТСР у больных достоверно уменьшилась. Показатели удобства пользования системой оказались на высоком уровне, необходимом для медицинского использования.

Риццо и соавт. (Rizzo et al., 2013) разработали программу для обучения военных механизмам адаптации к стрессу и способам совладания. Программа состоит из серии сценариев, симулирующих боевые действия. После прохождения программы ветераны войн с ПТСР показывают достоверные снижения симптомов ПТСР и тревоги. Авторы предлагают программу к использованию не только для лечения клинических случаев ПТСР, но и при профессиональном отборе и обучении военных.

Маклей и соавт. (McLay et al., 2014) исследовали эффекты ВР на настроение и когнитивные процессы пациентов, страдающих ПТСР. Испытуемые, набранные из числа ветеранов войн, были погружены в среду, симулирующую боевые действия в рамках курса терапии. Помимо разнообразных самоотчетных метрик у испытуемых замерялись и физиологические показатели (сердцебиение, кожная проводимость, температура, частота дыхания). Также испытуемые прошли серии заданий на когнитивные функции: тесты на реакцию и разновидности теста Струпа. Результаты показали достоверное снижение симптомов ПТСР и достоверное улучшение результата эмоционального теста Струпа для испытуемых, прошедших терапию виртуальной реальностью. Значения опросников и физиологических показателей не показали достоверного улучшения и не коррелировали с улучшением по эмоциональному тесту Струпа. Авторы подтверждают пользу ВР в терапии ПТСР, но отмечают, что спектр позитивных эффектов может быть весьма узким.

Недавно был разработан новый подход к лечению ПТСР – экспозиционная терапия, ориентированная на действие (action-centered exposure therapy, Kamkuimo Kengne et al., 2018). Разработчики описали случай водителя грузовика, страдавшего от ПТСР после аварии. При помощи ВР пациента погружали в симулятор грузовика с различными сценариями: от простого вождения до сценария с наблюдением горящего грузовика, косвенно напоминающего об аварии. Авторы утвер-

ждают, что данный подход помогает пациенту вернуться к привычным действиям без прямого контакта с реальным объектом (групповиком).

Стоит также обратить внимание на попытки сочетать терапию ВР с другими методами психотерапии для лечения ПТСР. Например, для терапии ветеранов войн совместно с виртуальной реальностью применялась транскраниальная стимуляция постоянным током (van't Wout-Frank et al., 2019). 12 пациентов прошли по 6 сеансов с одновременной настоящей или плацебо-стимуляцией вентромедиальной префронтальной коры на протяжении 2 недель. Также у испытуемых измерялась кожная проводимость, которая показала снижение возбуждения у испытуемых, подвергшихся настоящей стимуляции.

Мистри и соавт. (Mistry et al., 2020) исследовали терапевтический потенциал сочетания технологии ВР с медитацией для пациентов с различной степенью проявления симптомов ПТСР. 96 молодых людей практиковали медитации как с применением ВР, так и без нее. Медитации в виртуальной среде оказались более успешными. Однако испытуемые с более выраженными симптомами ПТСР отмечали возрастание стресса как во время медитации в ВР, так и без нее.

Маклей и соавт. (McLay et al., 2011) сравнили две терапии для лечения действующих военных с ПТСР: терапию воздействия ВР (включающую звуки и биологическую обратную связь) и традиционное лечение без использования ВР. Через 10 недель лечения 7 из 10 испытуемых, прошедших воздействие виртуальной реальностью, наблюдали улучшение состояния по шкале клинической оценки ПТСР, и только 1 испытуемый из 9 – после обычной терапии.

Баньос и соавт. (Baños et al., 2011) исследовали эффективность разработанной ими индивидуально настраиваемой системы ВР “Мир Эммы” (EMMA’s World) для лечения расстройств, связанных со стрессом. 39 испытуемых с диагнозами: ПТСР ( $n = 10$ ), реакция горя ( $n = 16$ ) и расстройство адаптации ( $n = 13$ ) – были случайным образом распределены в одну из двух групп терапии: когнитивно-поведенческая терапия с использованием виртуальной среды “Мир Эммы” или без нее. Для усиления эмоциональных переживаний испытуемых вместо демонстрации образов или повествовательных техник, описываю-

щих негативный опыт, использовалась виртуальная среда. Оценка пациентов производилась до и после лечения и показала, что когнитивно-поведенческая терапия с виртуальной реальностью была столь же эффективна, как и стандартная когнитивно-поведенческая терапия. Это позволяет разработчикам рассматривать использование ВР в качестве альтернативы существующим традиционным формам лечения.

Однако также высказываются сомнения в высокой эффективности метода ВР для лечения ПТСР. Так, была оценена эффективность воздействия виртуальной реальностью по сравнению с широко используемым психотерапевтическим методом длительного воздействия (Foa et al., 2020) для лечения ПТСР у солдат действующей службы (Reger et al., 2016). 162 испытуемых поделили на 3 выборки: ВР, длительного воздействия и ожидания. Активная терапия длилась 10 сессий. По завершении полного курса и терапия виртуальной реальностью, и терапия длительного воздействия показали сопоставимую эффективность. Однако спустя 3 и 6 месяцев анализ показал значительно более сильно выраженное уменьшение симптомов ПТСР после терапии длительного воздействия, чем после терапии виртуальной реальностью.

В этом же русле Байдель и соавт. (Beidel et al., 2019) исследовали возможность применения терапии воздействия ВР при посттравматическом стрессе, связанном с боевыми действиями. Оценка эффективности лечения производилась в двух выборках: испытуемых, проходивших терапию виртуальной реальностью и групповые занятия по борьбе с гневом, депрессией и социальной изоляцией, и испытуемых, проходивших только терапию виртуальной реальностью и образовательные/просветительские занятия по ПТСР. Технологической особенностью данного исследования было использование запахов и звуков, помимо зрительного погружения. Терапия длилась 6 месяцев, а срезы проводились до начала терапии, после проведения первой терапии, спустя 3 месяца и 6 месяцев. Выяснилось, что терапия виртуальной реальностью – хороший инструмент для снижения ПТСР, депрессии и гнева, но для снижения социального избегания, по-видимому, требуются групповые занятия вживую.

Наконец, обратимся к недавнему метаанализу влияния терапии виртуальной реальностью на ПТСР (Deng et al., 2019). По сравне-

нию с «ожидающими» контрольными выборками испытуемые, прошедшие терапию виртуальной реальностью (175 человек совокупно), обнаружили среднюю величину эффекта ( $g = 0.567$ ). Но при этом эффект значимо не отличался при сравнении с выборками, прошедшими психологическое консультирование или экспозицию вживую (239 испытуемых совокупно,  $g = 0.017$ ). Это показывает высокий потенциал метода ВР в лечении ПТСР, возможно, даже частичную замену терапии вживую в некоторых случаях. Однако не стоит забывать, что выбор методики лечения и наблюдение за больными в любом случае должны оставаться за психотерапевтом.

### ЛЕЧЕНИЕ ТРЕВОЖНЫХ РАССТРОЙСТВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Большое внимание терапевты уделяют внедрению технологий ВР в методики, применяемые для лечения тревожных расстройств. В случае этих заболеваний очень высокий страх доходит до уровня состояния стресса, который приводит к избеганию. Именно постоянное избегание и приводит к закреплению фобического расстройства (Ekeberg et al., 1990). Соответственно, многие методики лечения основаны на снижении стресса при воображении, воспоминании или непосредственном восприятии объекта страха. В этих случаях состояние стресса снижают как путём погружения (экспозиции), так и с применением дополнительных психотерапевтических вмешательств (расслабления, обратной связи, опровержения и т.д.).

В одной из ранних работ (Rothbaum et al., 1995) изучалась эффективность использования ВР для лечения страха высоты. Для участия в исследовании были отобраны 20 студентов. Из них часть случайным образом распределили в группу терапии с использованием ВР ( $n = 12$ ), а часть попала в группу контроля ( $n = 8$ ). В течение семи еженедельных сеансов студенты подвергались воздействию разной высоты в различных виртуальных средах (таких как мост, балкон, стеклянный лифт) и проводили в каждой среде столько времени, сколько им было нужно для адаптации. До и после лечения оценивались степень тревоги, избегание, восприятие высоты и уровень стресса. Использование ВР оказало положительное воздействие и снизило страх высоты. Показате-

ли контрольной выборки остались неизменными.

В этой же лаборатории далее была исследована эффективность терапии виртуальной реальностью для избавления от страха перед полетом (Rothbaum et al., 1996). Объектом исследования была 42-летняя женщина. Использовался следующий набор сценариев: нахождение в самолете, взлеты и посадки, полеты как в спокойную, так и в штормовую погоду. Лечение было прекращено после шести сеансов, когда испытуемая больше не проявляла беспокойства, связанного с воздействием. Показатели субъективной оценки страха и стресса снизились после терапии виртуальной реальностью.

В работе Ботеллы и соавт. (Botella et al., 1998) была изучена эффективность использования ВР для лечения клаустрофобии. Объектом исследования была 43-летняя женщина, которая страдала от клинически значимых расстройств и нуждалась в психологической терапии. На протяжении 8 сеансов испытуемая имела возможность исследовать в своем темпе три виртуальные среды, отличающиеся возрастающей степенью сложности. Субъективные оценки страха и избегания резко снизились после завершения курса терапии и поддерживались на том же уровне на протяжении всего периода последующего наблюдения (1 месяц), что свидетельствует об эффективности терапии воздействия виртуальной реальностью в борьбе с клаустрофобией.

Помимо терапии ВР через погружение (экспозицию) возможно также и добавление эффекта других методов психотерапии. Такое сочетание было применено, в частности, в исследовании пациентов с фобией полетов (Wiederhold et al., 2002), где дополнительным приемом выступила биологическая обратная связь. Пациенты были разделены на 3 группы по 10 человек: группу терапии погружением в виртуальную среду (симуляции полета) без биологической обратной связи, группу терапии погружением с биологической обратной связью (частота сердечных сокращений, кожная проводимость, температура, частота дыхания) и группу терапии воображением. Через 3 месяца наблюдалась достоверная разница выборок в частоте авиаперелетов: в выборке терапии погружением без обратной связи совершали авиаперелеты 8 человек, в выборке терапии погружением с биологической обратной связью совершали авиаперелеты 10 человек, а в выборке терапии вообра-

жением совершать авиаперелеты смог лишь 1 человек. Шибан и соавт. (Shiban et al., 2017) рассматривали эффект диафрагмального дыхания как метода расслабления во время терапии виртуальной реальностью. Помимо опросниковых измерений также исследовалась частота сердечных сокращений и кожной проводимости. Тест проводился в 2 этапа с разделением в 1 неделю. Группа, которая испытала воздействие ВР в сочетании с диафрагмальным дыханием, показала более высокую склонность к эффективному преодолению страха перед полетом. Побочных эффектов выявлено не было.

Любопытно также сравнения результатов лечения тревожных расстройств методом ВР и с помощью терапии вживую. Например, в одной из работ (Vouchard et al., 2017) было показано, что когнитивно-поведенческая терапия с элементами воздействия виртуальной реальностью эффективнее для лечения социального тревожного расстройства, нежели традиционная когнитивно-поведенческая терапия. Воздействие оказывалось еженедельно на протяжении 14 недель. Программа когнитивно-поведенческой терапии с добавлением ВР в сравнении со стандартной программой (без ВР) показала увеличение эффективности терапии (по сравнению с испытуемыми, ожидающими лечение), но лишь по некоторым самоотчетным показателям. Улучшения сохранялись на протяжении всего 6-месячного периода наблюдения.

В последние годы начали накапливаться метаанализы, сравнивающие терапию виртуальной реальностью и терапию погружением или экспозицией вживую, то есть непосредственным столкновением с объектом страха. Так, на основании 30 исследований совокупно 1057 испытуемых была показана высокая величина эффекта между терапией виртуальной реальностью и списком ожидания ( $g = 0.90$ ) и между терапией виртуальной реальностью и плацебо ( $g = 0.78$ ). При этом различия между терапией погружением вживую (*in vivo*) и терапией виртуальной реальностью не были значимыми ( $g = 0.07$ ; Carl et al., 2019). Эти же авторы показывают, что в случае социальных фобий и панического расстройства величина эффекта между терапией виртуальной реальностью и списком ожидания еще выше ( $g = 0.97$  и  $g = 1.03$  соответственно). Любопытно, что в более раннем метаанализе (Powers, Emmelkamp, 2007) был даже показан невысокий эффект терапии

виртуальной реальностью по сравнению с терапией погружением вживую ( $d = 0.35$ ), что, однако, может говорить лишь о необходимости более полного сбора данных.

Что касается длительности или количества вмешательств для получения положительного эффекта, Пауэрс и Эммелькамп (Powers, Emmelkamp, 2007) обнаружили погранично значимую связь между этими показателями. Например, в одном из исследований с одним сеансом ВР величина эффекта была 0.6 в сравнении с сеансом расслабления (Mühlberger et al., 2001). Тогда как Ботелля и соавт. (Botella et al., 2007), применив 9 сеансов терапии ВР для лечения панических атак и агорафобии, смогли достичь величины эффекта 1.67.

ВР в терапии тревожных расстройств может быть использована двумя основными способами. Во-первых, ВР используется для экспозиционной терапии при погружении пациента в ситуацию, провоцирующую стресс, для постепенного снижения уровня страха. Во-вторых, ВР может использоваться в сочетании с методами терапии для расслабления (например, в сочетании с биологической обратной связью).

## ВЫВОДЫ

К настоящему времени в психофизиологии и психотерапии стресса накоплен положительный опыт использования систем ВР. Разработаны методики как для изучения, так и для управления стрессом, причем не только на здоровых испытуемых, но и на пациентах, для которых эпизоды повышенного стресса являются одним из симптомов заболевания. Во многих исследованиях снижение стрессовых реакций с помощью систем ВР было показано не только на уровне переживания, но и на уровне показателей центральной и периферической нервной системы. Это позволяет рассматривать виртуальную реальность как современный, недорогой и эффективный метод как для введения испытуемых в состояние стресса в целях проверки определенных психофизиологических гипотез, так и для снижения стрессовых реакций.

К основным ограничениям описываемого метода относится отсутствие в исследованиях контроля за всеми переменными в экспериментах. Так, невозможно утверждать, что наблюдаемый эффект достигается только за счет применения “полной” ВР. Подобный контроль мог бы быть осуществлен при проведении аналогичных экспериментов с “ча-

стичной” ВР, например, на обычном компьютере без шлемов ВР.

Другим важным ограничением используемого метода являются технические вопросы, связанные с особенностью ВР как метода. Во-первых, при проведении экспериментов с регистрацией периферических физиологических показателей или применением технологий нейрокартирования возможны электромагнитные помехи со стороны систем ВР. Во-вторых, при проведении регистрации физиологических параметров неизбежно некоторое ограничение свободы движений испытуемого, которое не позволяет использовать все преимущества ВР как технологии. Одновременно с этим, необходимые для более полного погружения движения головы или рук для манипуляций в ВР создают помехи для регистрации физиологических показателей. Следовательно, исследователям требуется тщательно продумывать экспериментальный план, учитывающий указанные ограничения.

В настоящее время ВР массово не используется в лечении стрессовых расстройств, однако постепенно роль ВР возрастает. В перспективе ВР может активно использоваться как дополнение к проведению традиционной психотерапии. Стоит отметить, что терапия должна проводиться под контролем психотерапевта, самостоятельное использование ВР пациентами может не привести к желаемым результатам. Потенциальную опасность в этой связи представляет уход пациентов в самолечение. Одним из решений данного противоречия может быть не свободное распространение приложений для лечения в ВР, а назначение такого лечения в рамках традиционного общения психотерапевта и пациента.

В дальнейших исследованиях стоит обратить внимание на увеличение выборки, повышение экологической валидности в экспериментах, а также более тонкую “настройку” параметров ВР в зависимости от цели применения. Также стоит обратить внимание на сочетание ВР с другими методами, в частности, с отслеживанием глазодвижений, что позволит получить дополнительную информацию о восприятии испытуемым ВР.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена с использованием Уникальной научной установки НИУ ВШЭ “Автоматизи-

рованная система неинвазивной стимуляции мозга с возможностью синхронной регистрации биотоков мозга и отслеживания глазодвижения” при финансовой поддержке Российской Федерации, грант № 075-15-2021-673.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Эстербрук С.А., Орлова Е.А., Карнекова Т.А., Гребенников Ю.Л.* Когнитивно-бихевиоральная терапия посттравматического стрессового расстройства (по материалам зарубежных исследований). Современная зарубежная психология. 2020. 9: 76–84.
- Юдин В.Е.* Система комплексного и дифференцированного применения технологий восстановительной медицины в реабилитации специалистов опасных профессий на позднем госпитальном этапе Дисс. д.м.н. 2011. 358 с.
- Abu Hasan R., Sulaiman S., Ashykin N.N., Abdullah M.N., Hafeez Y., Ali S. S.A.* Workplace Mental State Monitoring during VR-Based Training for Offshore Environment. *Sensors*. 2021. 21: 4885.
- Aminabadi N.A., Erfanparast L., Sohrabi A., Oskouei S.G., Naghili A.* The impact of virtual reality distraction on pain and anxiety during dental treatment in 4–6 year-old children: a randomized controlled clinical trial. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*. 2012. 6: 117.
- Anderson A.P., Mayer M.D., Fellows A.M., Cowan D.R., Hegel M.T., Buckey J.C.* Relaxation with immersive natural scenes presented using virtual reality. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2017. 88: 520–526.
- Annerstedt M., Norman J., Boman M., Mattsson L., Grahn P., Währborg P.* Finding stress relief in a forest. *Ecological Bulletins*. 2010. 53: 33–42.
- Annerstedt M., Jönsson P., Wallergård M., Johansson G., Karlson B., Grahn P., Hansen Å., Währborg P.* Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest—Results from a pilot study. *Physiology & Behavior*. 2013. 118: 240–250.
- Bălan O., Moise G., Moldoveanu A., Leordeanu M., Moldoveanu F.* An investigation of various machine and deep learning techniques applied in automatic fear level detection and acrophobia virtual therapy. *Sensors*. 2020. 20: 496.
- Baños R.M., Guillen V., Quero S., Garcia-Palacios A., Alcaniz M., Botella C.* A virtual reality system for the treatment of stress-related disorders: A preliminary analysis of efficacy compared to a standard cognitive behavioral program. *International Journal of Human-Computer Studies*. 2011. 69: 602–613.
- Beidel D.C., Frueh B.C., Neer S.M., Bowers C.A., Trachik B., Uhde T.W., Grubaugh A.* Trauma management therapy with virtual-reality augmented ex-

- posure therapy for combat-related PTSD: A randomized controlled trial. *Journal of Anxiety Disorders*. 2019. 61: 64–74.
- Bergström I., Kilteni K., Slater M.* First-person perspective virtual body posture influences stress: a virtual reality body ownership study *PloS One*. 2016. 11: e0148060.
- Botella C., Baños R.M., Perpiñá C., Villa H., Alcañiz M., Rey A.* Virtual reality treatment of claustrophobia: a case report. *Behaviour Research and Therapy*. 1998. 36: 239–246.
- Botella C., García-Palacios A., Villa H., Baños R.M., Quero S., Alcañiz M., Riva G.* Virtual reality exposure in the treatment of panic disorder and agoraphobia: A controlled study. *Clinical Psychology & Psychotherapy: An International Journal of Theory & Practice*. 2007. 14: 164–175.
- Bouchard S., Dumoulin S., Robillard G., Guitard T., Klinger E., Forget H., Loranger C., Roucaut F.X.* Virtual reality compared with in vivo exposure in the treatment of social anxiety disorder: a three-arm randomised controlled trial. *The British Journal of Psychiatry*. 2017. 210: 276–283.
- Brouwer A.M., Neerincx M.A., Kallen V., van der Leer L., ten Brinke M.* EEG alpha asymmetry, heart rate variability and cortisol in response to virtual reality induced stress. *Journal of CyberTherapy & Rehabilitation*. 2011. 4: 21–34.
- Carl E., Stein A.T., Levihn-Coon A., Pogue J.R., Rothbaum B., Emmelkamp P., Asmundson G.J.D., Carlbring P., Powers M.B.* Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Anxiety Disorders*. 2019. 61: 27–36.
- Chicchi Giglioli I.A., Pravettoni G., Sutil Martín D.L., Parra E., Raya M.A.* A novel integrating virtual reality approach for the assessment of the attachment behavioral system. *Frontiers in Psychology*. 2017. 8: 959.
- Cho D., Ham J., Oh J., Park J., Kim S., Lee N.K., Lee B.* Detection of stress levels from biosignals measured in virtual reality environments using a kernel-based extreme learning machine. *Sensors*. 2017. 17: 2435.
- Clifford R.M., Jung S., Hoermann S., Billinghamurst M., Lindeman R.W.* Creating a stressful decision making environment for aerial firefighter training in virtual reality. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. 2019. 181–189.
- Crescentini C., Capurso V., Furlan S., Fabbro F.* Mindfulness-oriented meditation for primary school children: Effects on attention and psychological well-being. *Frontiers in Psychology*. 2016. 7: 805.
- Deng W., Hu D., Xu S., Liu X., Zhao J., Chen Q., Liu J., Zhang Z., Jiang W., Ma L., Hong X., Cheng, S., Liu B., Li, X.* The efficacy of virtual reality exposure therapy for PTSD symptoms: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*. 2019. 257: 698–709.
- Dibbets P.* A novel virtual reality paradigm: Predictors for stress-related intrusions and avoidance behavior. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 2020. 67: 101449.
- Diemer J., Alpers G.W., Peperkorn H.M., Shiban Y., Mühlberger A.* The impact of perception and presence on emotional reactions: a review of research in virtual reality. *Frontiers in Psychology*. 2015. 6: 26.
- Difede J., Cukor J., Jayasinghe N., Patt I., Jedel S., Spielman L., Giosan C., Hoffman H. G.* Virtual reality exposure therapy for the treatment of post-traumatic stress disorder following September 11, 2001. *Journal of Clinical Psychiatry*. 2007. 68: 1639.
- Difede J., Hoffman H.G.* Virtual reality exposure therapy for World Trade Center post-traumatic stress disorder: A case report. *Cyberpsychology & Behavior*. 2002. 5: 529–535.
- Ekeberg Ø., Kjeldsen S. E. Greenwood D. T., Enger E.* Correlations between psychological and physiological responses to acute flight phobia stress, *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*. 1990. 50: 671–677
- Fadeev K.A., Smirnov A.S., Zhigalova O.P., Bazhina P.S., Tumialis A.V., Golokhvast K.S.* Too real to be virtual: Autonomic and EEG responses to extreme stress scenarios in virtual reality. *Behavioural Neurology*. 2020. 5758038.
- Felnhofer A., Kothgassner O.D., Schmidt M., Heinzle A.K., Beutl L., Hlavacs H., Kryspin-Exner I.* Is virtual reality emotionally arousing? Investigating five emotion inducing virtual park scenarios. *International Journal of Human-Computer Studies*. 2015. 82: 48–56.
- Foa E.B., McLean C.P., Brown L.A., Zang Y., Rosenfield D., Zandberg L.J., Ealey W., Hanson B., Hunter L., Lillard I., Patterson T., Rosado J., Scott V., Weber C., Wise J., Zamora C., Mintz J., Young-McCaughan S., Peterson A.L.* The effects of a prolonged exposure workshop with and without consultation on provider and patient outcomes: a randomized implementation trial. *Implementation Science*. 2020. 15: 1–14.
- Folkman S. (ed.).* The Oxford handbook of stress, health, and coping. — Oxford University Press. 2011. 3: 12–15.
- Gaggioli A., Pallavicini F., Morganti L., Serino S., Scaratti C., Briguglio M., Crifaci G., Vetrano N., Giulintano A., Bernava G., Tartarisco G., Pioggia G., Raspelli S., Cipresso P., Vigna C., Grassi A., Baruffi M., Wiederhold B., Riva G.* Experiential virtual scenarios with real-time monitoring (inter-reality) for the management of psychological stress: a block randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*. 2014. 16: e3235.

- Ganry L., Hersant B., Sidahmed-Mezj M., Dhonneur G., Meningaud J. P.* Using virtual reality to control preoperative anxiety in ambulatory surgery patients: A pilot study in maxillofacial and plastic surgery. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*. 2018. 119: 257–261.
- Ham J., Cho D., Oh J., Lee B.* Discrimination of multiple stress levels in virtual reality environments using heart rate variability. 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2017: 3989–3992.
- Hartanto D., Kampmann I. L., Morina N., Emmelkamp P.G., Neerinx M.A., Brinkman W.P.* Controlling social stress in virtual reality environments. *PLoS One*. 2014. 9: e92804.
- Hesse K., Schroeder P.A., Scheff J., Klingberg S., Plewnia C.* Experimental variation of social stress in virtual reality—feasibility and first results in patients with psychotic disorders. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 2017. 56: 129–136.
- Jönsson P., Wallergård M., Österberg K., Hansen Å.M., Johansson G., Karlson B.* Cardiovascular and cortisol reactivity and habituation to a virtual reality version of the Trier Social Stress Test: a pilot study. *Psychoneuroendocrinology*. 2010. 35: 1397–1403.
- Kamkuimo Kengne S.A., Fossaert M., Girard B., Menelas B.* Action-centered exposure therapy (AC-ET): a new approach to the use of virtual reality to the care of people with post-traumatic stress disorder. *Behavioral Sciences*. 2018. 8: 76.
- Kim H., Kim D.J., Kim S., Chung W.H., Park K.A., Kim J.D., Kim D., Kim M., Kim K., Jeon H.J.* Effect of Virtual Reality on Stress Reduction and Change of Physiological Parameters Including Heart Rate Variability in People With High Stress: An Open Randomized Crossover Trial. *Frontiers in Psychiatry*. 2021. 12: 614539.
- Kotlyar M., Donahue C., Thuras P., Kushner M.G., O’Gorman N., Smith E.A., Adson D.E.* Physiological response to a speech stressor presented in a virtual reality environment. *Psychophysiology*. 2008. 45: 1034–1037.
- Lee J., Park B.J., Tsunetsugu Y., Kagawa T., Miyazaki Y.* Restorative effects of viewing real forest landscapes, based on a comparison with urban landscapes. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2009. 24: 227–234.
- Levy C.E., Miller D.M., Akande C.A., Lok B., Marsiske M., Halan S.* V-Mart, a virtual reality grocery store: A focus group study of a promising intervention for mild traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2019. 98: 191–198.
- Li C., Sun C., Sun M., Yuan Y., Li P.* Effects of brightness levels on stress recovery when viewing a virtual reality forest with simulated natural light. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020. 56: 126865.
- Lin J., Cao L., Li N.* Assessing the influence of repeated exposures and mental stress on human wayfinding performance in indoor environments using virtual reality technology. *Advanced Engineering Informatics*. 2019. 39: 53–61.
- Martens M.A., Antley A., Freeman D., Slater M., Harrison P.J., Tunbridge E.M.* It feels real: physiological responses to a stressful virtual reality environment and its impact on working memory. *Journal of Psychopharmacology*. 2019. 33: 1264–1273.
- McLay R., Ram V., Murphy J., Spira J., Wood D.P., Wiederhold M.D., Wiederhold B., Johnston S., Reeves D.* Effect of virtual reality PTSD treatment on mood and neurocognitive outcomes. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2014. 17: 439–446.
- McLay R.N., Wood D.P., Webb-Murphy J.A., Spira J.L., Wiederhold M.D., Pyne J.M., Wiederhold B.K.* A randomized, controlled trial of virtual reality-graded exposure therapy for post-traumatic stress disorder in active duty service members with combat-related post-traumatic stress disorder. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2011. 14: 223–229.
- Mistry D., Zhu J., Tremblay P., Wekerle C., Lanius R., Jetly R., Frewen P.* Meditating in virtual reality: Proof-of-concept intervention for posttraumatic stress. *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*. 2020. 12: 847–858.
- Mühlberger A., Herrmann M.J., Wiedemann G., Ellgring H., Pauli P.* Repeated exposure of flight phobics to flights in virtual reality. *Behaviour Research and Therapy*. 2001. 39: 1033–1050.
- Pallavicini F., Orena E., di Santo S., Greci L., Caragnano C., Ranieri P., Vuolato C., Pepe A., Veronese G., Dakanalis A., Rossini A., Caltagirone C., Clerici M., Mantovani F.* MIND-VR: Design and Evaluation Protocol of a Virtual Reality Psychoeducational Experience on Stress and Anxiety for the Psychological Support of Healthcare Workers Involved in the COVID-19 Pandemic. *Front in Virtual Reality*. 2021. 2: 620225.
- Pallavicini F., Argenton L., Toniuzzi N., Aceti L., Mantovani, F.* Virtual reality applications for stress management training in the military. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2016. 87: 1021–1030.
- Park B.J., Tsunetsugu Y., Kasetani T., Hirano H., Kagawa T., Sato M., Miyazaki Y.* Physiological effects of shinrin-yoku (taking in the atmosphere of the forest) using salivary cortisol and cerebral activity as indicators. *Journal of physiological anthropology*. 2007. 26: 123–128.
- Peperkorn H.M., Diemer J., Mühlberger A.* Temporal dynamics in the relation between presence and

- fear in virtual reality. *Computers in Human Behavior*. 2015. 48: 542–547.
- Pertaub D.P., Slater M., Barker C.* An experiment on public speaking anxiety in response to three different types of virtual audience. *Presence*. 2002. 11: 68–78.
- Peterson S.M., Furuichi E., Ferris D.P.* Effects of virtual reality high heights exposure during beam-walking on physiological stress and cognitive loading. *PloS One*. 2018. 13: e0200306.
- Piskorz J., Czub M.* Effectiveness of a virtual reality intervention to minimize pediatric stress and pain intensity during venipuncture. *Journal for Specialists in Pediatric Nursing*. 2018. 23: e12201.
- Powers M.B., Emmelkamp P.M.* Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: A meta-analysis. *Journal of Anxiety Disorders*. 2008. 22: 561–569.
- Ready D.J., Pollack S., Rothbaum B.O., Alarcon R.D.* Virtual reality exposure for veterans with posttraumatic stress disorder. *Journal of Aggression, Maltreatment & Trauma*. 2006. 12: 199–220.
- Reger G.M., Koenen-Woods P., Zetocha K., Smolenski D.J., Holloway K.M., Rothbaum B.O., Difede J., Rizzo A., Edwards-Stewart A., Skopp N., Mishkind M., Gahm G.A.* Randomized controlled trial of prolonged exposure using imaginal exposure vs. virtual reality exposure in active duty soldiers with deployment-related posttraumatic stress disorder (PTSD). *Journal of Consulting and Clinical Psychology*. 2016. 84: 946.
- Ríos A., Pelechano N.* Follower behavior under stress in immersive VR. *Virtual Reality*. 2020. 24: 683–694.
- Riva G., Mantovani F., Capideville C. S., Preziosa A., Morganti F., Villani D., Gaggioli A., Botella C., Alcañiz M.* Affective interactions using virtual reality: the link between presence and emotions. *Cyberpsychology & Behavior*. 2007. 10: 45–56.
- Rizzo A., John B., Newman B., Williams J., Hartholt A., Lethin C., Buckwalter J.G.* Virtual reality as a tool for delivering PTSD exposure therapy and stress resilience training. *Military Behavioral Health*. 2013. 1: 52–58.
- Rothbaum B.O.* Virtual reality exposure therapy in the treatment of fear of flying: A case report. *Behaviour Research and Therapy*. 1996. 34: 477–481.
- Rothbaum B.O.* Virtual reality graded exposure in the treatment of acrophobia: A case report. *Behavior Therapy*. 1995. 26: 547–554.
- Scates D., Dickinson J.I., Sullivan K., Cline H., Balaraman R.* Using nature-inspired virtual reality as a distraction to reduce stress and pain among cancer patients. *Environment and Behavior*. 2020. 52: 895–918.
- Selye H.* *The stress of life*. New York McGraw-Hill. 1956.
- Shah L.B.I., Torres S., Kannusamy P., Chng C.M.L., He H.G., Klainin-Yobas P.* Efficacy of the virtual reality-based stress management program on stress-related variables in people with mood disorders: the feasibility study. *Archives of Psychiatric Nursing*. 2015. 29: 6–13.
- Shiban Y., Diemer J., Müller J., Brütting-Schick J., Pauli P., Mühlberger A.* Diaphragmatic breathing during virtual reality exposure therapy for aviophobia: functional coping strategy or avoidance behavior? A pilot study. *BMC Psychiatry*. 2017. 17: 1–10.
- Slater M., Pertaub D.P., Barker C., Clark D.M.* An experimental study on fear of public speaking using a virtual environment. *CyberPsychology & Behavior*. 2006. 5: 627–633.
- Slobounov S.M., Ray W., Johnson B., Slobounov E., Newell K.M.* Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: an EEG study. *International Journal of Psychophysiology*. 2015. 95: 254–260.
- Soyka F., Leyrer M., Smallwood J., Ferguson C., Riecke B.E., Mohler B.J.* Enhancing stress management techniques using virtual reality. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Perception*. 2016: 85–88.
- Tartarisco G., Carbonaro N., Tonacci A., Bernava G.M., Arnao A., Crifaci G., Cipresso P., Riva G., Gaggioli D., de Rossi D., Tognetti A., Pioggia G.* Neuro-fuzzy physiological computing to assess stress levels in virtual reality therapy. *Interacting with Computers*. 2015. 27: 521–533.
- van't Wout-Frank M., Shea M.T., Larson V.C., Greenberg B.D., Philip N.S.* Combined transcranial direct current stimulation with virtual reality exposure for posttraumatic stress disorder: feasibility and pilot results. *Brain Stimulation*. 2019. 12: 41–43.
- Velting W., Pot-Kolder R., Couston J., van Os J., van der Gaag M.* Environmental social stress, paranoia and psychosis liability: a virtual reality study. *Schizophrenia Bulletin*. 2016. 42: 1363–1371.
- Vieira Á., Melo C., Machado J., Gabriel J.* Virtual reality exercise on a home-based phase III cardiac rehabilitation program, effect on executive function, quality of life and depression, anxiety and stress: a randomized controlled trial. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2018. 13: 112–123.
- Walshe D.G., Lewis E.J., Kim S.I., O'Sullivan K., Wiederhold B.K.* Exploring the use of computer games and virtual reality in exposure therapy for fear of driving following a motor vehicle accident. *CyberPsychology & Behavior*. 2003. 6: 329–334.
- Wang X., Shi Y., Zhang B., Chiang Y.* The influence of forest resting environments on stress using virtual reality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. 16: 3263.

- Wiederhold B.K., Jang D.P., Gevirtz R.G., Kim S.I., Kim I.Y., Wiederhold M.D. The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2002. 6: 218–223.
- Wolitzky K., Fivush R., Zimand E., Hodges L., Rothbaum B.O. Effectiveness of virtual reality distraction during a painful medical procedure in pediatric oncology patients. *Psychology and Health*. 2005. 20: 817–824.
- Yin J., Yuan J., Arfaei N., Catalano P.J., Allen J.G., Spengler J.D. Effects of biophilic indoor environment on stress and anxiety recovery: A between-subjects experiment in virtual reality. *Environment International*. 2020. 136: 105427.
- Zimmer P., Buttlar B., Halbeisen G., Walther E., Domes, G. Virtually stressed? A refined virtual reality adaptation of the Trier Social Stress Test (TSST) induces robust endocrine responses. *Psychoneuroendocrinology*. 2019. 101: 186–192.

## A REVIEW OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL AND PSYCHOTHERAPEUTIC STUDIES OF STRESS WITH VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES

V. V. Kosonogov<sup>a, #</sup>, K. V. Efimov<sup>a</sup>, Z. K. Rakhmankulova<sup>a</sup>, and I. A. Zyabreva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute for Cognitive Neuroscience, HSE University, Moscow, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: vkosonogov@hse.ru*

This review is devoted to the application of virtual reality technologies in psychophysiology and psychotherapy of stress. We discuss the studies which used virtual reality, both to induce participants to a state of stress and to help them reduce stress reactions. The methods developed for the treatment of patients suffering from stress-related disorders (in particular, PTSD and phobias) are described. In many cases, the reduction of stress reactions with the help of virtual reality systems is achieved not only at the level of self-report (experience), but also in the indices of the central and peripheral nervous system. This allows us to consider virtual reality as a modern, inexpensive and effective method, firstly, for stress induction in order to test certain psychophysiological hypotheses and, secondly, to reduce stress reactions.

*Keywords:* stress, PTSD, anxiety disorders, phobias, virtual reality, heart rate, EDA, psychotherapy