

УДК 612.76+612.82

ВЛИЯНИЕ 21-СУТОЧНОЙ “СУХОЙ” ИММЕРСИИ НА ИЛЛЮЗИИ ПОНЗО И МЮЛЛЕР-ЛАЙЕРА

© 2021 г. И. С. Соснина^{1, *}, В. А. Ляховецкий², К. А. Зеленский¹, И. И. Шошина^{2, 3},
В. Ю. Карпинская³, Е. С. Томиловская¹

¹ФГБУН ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия

²ФГБУН Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: radostniyden@mail.ru

Поступила в редакцию 19.02.2020 г.

После доработки 31.05.2020 г.

Принята к публикации 20.08.2020 г.

В ходе 21-суточной “сухой” иммерсии (СИ) изучали оценки зрительных иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера при вербальном ответе и двух вариантах моторного ответа путем “треккинга” (с наличием и отсутствием зрительной обратной связи). Исследования проводили с участием десяти испытуемых до начала иммерсии, на 3-и, 10-е, 20-е сутки иммерсии, а также по ее окончании. Показано, что СИ влияет преимущественно на моторный ответ. Изменения, заключающиеся в снижении силы зрительных иллюзий, более выражены для более сложной моторной задачи, выполняемой в отсутствии зрительной обратной связи. Результаты хорошо согласуются с данными, полученными прежде в условиях 5-суточной СИ. Одним из возможных механизмов наблюдаемых изменений оценок иллюзий может быть гиперактивация дорзального зрительного пути вследствие гравитационной разгрузки.

Ключевые слова: иллюзия Понзо, иллюзия Мюллер-Лайера, “сухая” иммерсия, гравитация, дорзальный зрительный путь.

DOI: 10.31857/S0131164621010136

Изображения, вызывающие зрительные иллюзии, нередко используются при изучении механизмов зрительного восприятия. На основе анализа выраженности иллюзий, можно судить о функциональной организации уровней зрительной системы, а использование различных способов их оценки позволяет оценить работу подсистем зрительного восприятия [1]. Зрительные иллюзии используются для изучения нарушений зрительного восприятия как при измененных состояниях испытуемого, вызванных, например, сенсорной депривацией [2] или физической нагрузкой [3], так и при различных заболеваниях, например, при шизофрении [4–6], расстройствах аутистического спектра и дислексии [7]. Известно, что сила зрительных иллюзий у одного и того же человека может быть различной в зависимости от способа оценки предъявленных стимулов. Так, при моторном (а не вербальном) ответе путем имитации схватывания многие иллюзии практически исчезают. Этот эффект объясняется в рамках концепции двух подсистем переработки зрительной информации, для “опознания” и для “действия”, связанных с работой вентрального, более подверженного влиянию иллюзий, и дор-

зального, в меньшей степени подверженного влиянию иллюзий, путей обработки информации [8].

Тесная связь и взаимовлияние зрительного восприятия и вестибулярного анализатора давно привлекает внимание исследователей [9]. При изменении условий функционирования вестибулярного анализатора, например, при микрогравитации, вероятно, должно измениться и функционирование зрительного анализатора [10]. Одной из моделей гравитационной разгрузки, широко используемой в гравитационной физиологии, является “сухая” иммерсия (СИ) [11]. Прежде нами было показано, что на протяжении 5-суточной СИ в задаче “треккинга”, т.е. ведения указательным пальцем по центральным отрезкам иллюзорного стимула, меняется сила иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера [12]. Такие изменения могут быть связаны с нарушениями в работе зрительной системы, в том числе селективными изменениями в работе дорзального потока, наблюдаемыми и в условиях микрогравитации [13, 14]. Между тем, исследования изменения зрительного восприятия изображений, вызывающих иллю-

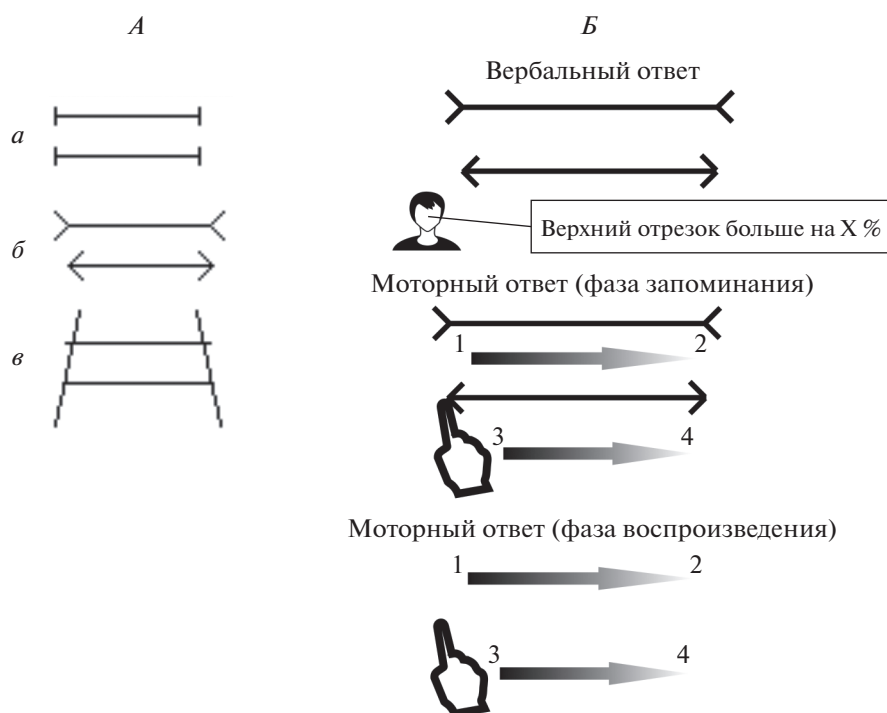


Рис. 1. Дизайн эксперимента.

А – стимульный материал. *Б* – методика эксперимента.

зии, при более длительных СИ ранее не проводились.

Аналогично предыдущему исследованию [12], в качестве стимульного материала были выбраны иллюзии Понзо и Мюллер-Лайера. В иллюзии Мюллер-Лайера при вербальном ответе отрезок, обрамленный “хвостовыми” стрелками, кажется испытуемому большим, чем отрезок, обрамленный “остриями” (рис. 1). В классическом варианте иллюзии Понзо при вербальном ответе из двух горизонтальных отрезков кажется больше верхний отрезок.

Целью работы – исследование влияния 21-суточной опорной разгрузки на силу иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера при различных модальностях ответа испытуемых: вербальной и сенсомоторной.

МЕТОДИКА

Десять испытуемых-добровольцев (мужчины) были предварительно отобраны для участия в исследовании, основной целью которого являлось выявление роли опорной афферентации в системах двигательного управления. Средний возраст испытуемых составил 29.8 ± 1.2 года. Все испытуемые были правши, оценку проводили по Эдинбургскому опроснику [15]. Все исследования были неинвазивными, и при проведении тестов дискомфорта не вызывали. Оборудование

соответствовало нормам безопасности. Все испытуемые на протяжении 21 сут находились в условиях СИ: они были погружены в ванну размером $200 \times 100 \times 100$ см, наполненную водой, температуру которой поддерживали на уровне $33 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Поверхность воды была покрыта свободно плавающей водонепроницаемой тканью, площадь которой более чем в 2 раза превосходила площадь зеркала воды. Таким образом, испытуемый, будучи погруженным в толщу воды, был изолирован от непосредственного контакта с ней. Режим дня во время иммерсии включал время на проведение экспериментальных процедур и гигиенических операций. Один раз в день испытуемых извлекали из ванны и укладывали на каталку в строго горизонтальном положении для проведения гигиенических процедур.

Исследования проводили шесть раз в следующем порядке: дважды за 48 и 24 ч до начала иммерсии (Фон-1, Фон-2, соответственно), затем – по одному исследованию на третьи, десятые и двадцатые сутки иммерсии (СИ-3, СИ-10 и СИ-20 соответственно) и после ее окончания. Фоновые исследования проводили в заполненной ванне, в горизонтальном положении, при этом испытуемый погружался в ванну лишь на время исследования. Опыт предыдущих исследований показал, что восстановление сенсомоторных функций происходит в течение первых суток после завершения СИ, поэтому завершающее исследование

проводили через 5 ч после завершения иммерсии (СИ + 5 ч). Исследование проводили в первой половине дня, при дневном освещении, после завтрака и всех необходимых гигиенических процедур. Каждому испытанному индивидуально зачитывали инструкцию, демонстрировали каким образом необходимо двигать рукой, продолжительность тестирования составляла 30 мин.

Стимульный материал включал в себя три типа изображений, в каждом из которых присутствовало два горизонтальных отрезка, которые испытуемый должен был сравнить между собой. Первый тип изображения составляли “нейтральные”, не вызывающие иллюзий, равные отрезки (контрольный стимул) (рис. 1, А, а). Во втором типе изображений верхний отрезок был обрамлен “хвостовыми” стрелками, а нижний — “остриями” (вариант иллюзии Мюллер-Лайера (рис. 1, А, б)). В третьем типе изображений были изображения классической иллюзии Понзо (рис. 1, А, в). Для каждого вида стимулов использовалось пять длин отрезков: 4, 5.5, 7, 8.5 и 10 см. Длину отрезков в паре изменяли от пробы к пробе в случайном порядке.

Каждая стадия эксперимента состояла из двух этапов. На первом этапе испытанному *вербально оценивали* разницу между отрезками. Для каждого из последовательно предъявляемых изображений они отвечали на вопрос “На сколько процентов один из пары центральных отрезков стимула больше другого”? После того как испытуемый давал оценку, экспериментатор фиксировал его и показывал следующее изображение (рис. 1, Б). В ходе предварительного тестирования выяснилось, что некоторые испытанники могут отвечать “равно” на вопрос о различии между отрезками, исходя из известной им информации о зрительных иллюзиях, а не опираясь на субъективный опыт. Чтобы данный факт не оказывал влияние на результаты, для каждого из трех видов изображений были добавлены стимулы, в которых один из отрезков (верхний или нижний) был действительно длиннее, чем другой на 2 мм. Испытанникам сообщили о том, что среди стимулов есть отрезки с небольшими отличиями по длине, и они вместе с остальными отрезками предъявляются в случайном порядке. Таким образом, испытанники должны были опираться не столько на знание о равенстве стимулов, сколько на субъективные ощущения, поскольку у них не было информации о том, действительно разные или только кажущиеся разными отрезки им предъявляют в каждой пробе. В исследовании использовали 45 изображений: 3 вида стимулов (нейтральные стимулы (без иллюзии), иллюзия Мюллер-Лайера, иллюзия Понзо), для каждого — 9 пар отрезков одинаковой длины, 3 пары отрезков, в которых верхний отрезок был больше нижнего, 3 пары отрезков, в которых нижний отрезок был больше верхнего. Сна-

чала предъявляли пятнадцать пар нейтральных отрезков, потом пятнадцать пар отрезков, обрамленных остриями, вызывающих иллюзию Мюллер-Лайера, затем пятнадцать пар отрезков, вызывающих иллюзию Понзо.

На втором этапе задачей испытуемого была *сенсомоторная оценка* длин отрезков ведущей рукой. Испытанному предъявляли изображение и ему нужно было запомнить длину отрезков, для этого необходимо было провести рукой по верхнему и нижнему центральному отрезкам, которые он видит перед собой (т.е. в условиях зрительной обратной связи). Сначала испытуемый вел рукой по верхнему отрезку, затем по нижнему отрезку, слева направо. Далее по команде, данной экспериментатором, изображение исчезало, и испытанному нужно было воспроизвести длину отрезков, совершая аналогичные движения руки по пустому экрану, сверху вниз, слева направо (по памяти, без зрительной обратной связи, рис. 1, Б). Использовали 9 изображений: 3 вида стимулов (нейтральные отрезки, иллюзия Мюллер-Лайера, иллюзия Понзо), для каждого — 3 пары отрезков, в паре оба отрезка были одинаковой длины. Для каждого вида стимулов случайным образом из вышеупомянутого набора длин выбиралось 3 пары отрезков различной длины (длина внутри пары отрезков была одинаковой, различались длины пар отрезков между отдельными пробами). Сначала предъявляли три пары нейтральных отрезков, потом три пары отрезков, обрамленных остриями, вызывающих иллюзию Мюллер-Лайера, затем три пары отрезков, вызывающих иллюзию Понзо.

Стимулы предъявляли на сенсорном мониторе *IYAMA Prolite T2252MTS* (IYAMA, Япония), размер видимой области которого составлял 476.64×268.11 мм, разрешение — 1920×800 пикселей, γ — 2.2, цветовая температура белого — 6500 К, освещенность во время касания — 200 кд/м^2 . Испытуемый располагался полулежа на расстоянии 60 см от экрана монитора.

Анализ данных. Для получения вербальной оценки относительной силы иллюзии (для нейтральных отрезков — относительной переоценки одного отрезка по отношению к другому) значения, ответы испытуемых делили на известные длины отрезков. Силу иллюзии считали положительной, если испытуемые переоценивали верхний отрезок (такого знака следовало ожидать для большинства используемых нами стимулов), и отрицательной, если испытуемые переоценивали нижний отрезок.

Для моторных ответов на сенсорном мониторе определяли координаты пикселей, в которых испытуемый касался наиболее левой и наиболее правой точек центральных отрезков, т.е. начальную и конечную точки движений руки по отрез-

кам (точки 1–4 на рис. 1, Б). На основе этих координат вычисляли длины отрезков, как евклидово расстояние между начальной и конечной точкой движения руки, и относительную силу иллюзий как разность длин отрезков, указанную испытуемым, приведенную к реальной длине отрезков. Силу иллюзии считали положительной, если испытуемые переоценивали верхний отрезок; отрицательной, если переоценивали нижний отрезок.

Полученные в исследовании наборы данных имели иерархическую структуру: каждый день для каждого испытуемого для каждого типа стимулов было получено несколько значений силы иллюзий, поэтому значимость отличий между группами значений параметров, полученными в различные дни, определялась на уровне $p < 0.05$ с помощью метода иерархических линейных моделей [16, 17]. Значимость отличий силы иллюзий от нуля в каждом дне измерений определяли на уровне $p < 0.05$ для средних значений показателей испытуемых, с помощью рангового критерия Уилкоксона. Статистическую обработку данных проводили в среде технических вычислений *Matlab R2016b* (Matworks Inc., version 9.1.0.441655). Все данные представлены в виде среднее $\pm$ стандартная ошибка.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При вербальной оценке испыталители недооценивали верхний отрезок нейтрального стимула (в среднем на $0.17 \pm 0.14\%$, $p < 0.05$) (рис. 2, А); сила иллюзии Мюллер-Лайера была положительна во все дни измерений (в среднем $1.2 \pm 0.14\%$, $p < 0.05$) (рис. 2, Б); сила иллюзии Понзо была положительна при первом фоновом измерении ($0.42 \pm 0.11\%$, $p < 0.03$) (рис. 2, В), а далее в ходе иммерсии убывала до нулевого значения (отсутствия иллюзии). Сходные данные для вербальных ответов были получены прежде для 5-суточной СИ: силы иллюзий Мюллер-Лайера и Понзо были невелики и отличались от нуля в фоновых измерениях. В настоящей работе при исследовании вербальной оценки при каждом измерении использовалось 45 различных стимулов, что в три раза больше, чем при исследовании влияния 5-суточной СИ [12]. Несмотря на это, не наблюдалось явного эффекта убывания силы иллюзий при вербальной оценке вследствие тренировки. На рис. 2 видно, что сила иллюзий при их вербальной оценке также слабо зависит от длительности пребывания в СИ. Можно предполагать, что слабая сила иллюзий Мюллер-Лайера и Понзо при вербальном ответе связаны с большим, чем для обычных испытуемых, сознательным контролем собственных действий испыталителями, обусловленным как необычным лежащим положением, так и непривычными условиями исследования.

Результаты *сенсомоторной оценки* отличались от вербальной. Следует рассмотреть данные запоминания длин отрезков и воспроизведения по отделимости.

При *запоминании* (т.е. в условиях зрительной обратной связи) на второй день фоновых измерений имела место существенная недооценка верхнего отрезка нейтрального стимула по отношению к прочим дням измерений ($3.46 \pm 0.66\%$, $p < 0.01$) (рис. 3, А). Иллюзия Мюллер-Лайера в этом случае была сильнее, чем при вербальном ответе ($p < 0.05$), и не зависела от дня измерения (6.99 ± 0.36) (рис. 3, Б). Иллюзия Понзо, наоборот, была слабее, чем при вербальном ответе ($-1.1 \pm 0.25\%$, $p < 0.05$) (рис. 3, В). Значимую недооценку верхнего отрезка наблюдали на десятый день СИ ($-1.32 \pm 0.66\%$, $p < 0.01$). Полученные данные хорошо согласуются с результатами, полученными нами в условиях действия обычной гравитации: показано, что иллюзия Понзо, в отличие от иллюзии Мюллер-Лайера при таком варианте оценки не отличается от нуля, т.е. иллюзорного эффекта нет [18]. Во многом сходную картину наблюдали для этой фазы сенсомоторного ответа в 5-суточной СИ. Иллюзия Мюллер-Лайера также оставалась положительной и была сильнее, чем при вербальном ответе, во все дни измерений. В отличие от данной работы, при более кратковременной СИ наблюдалось увеличение силы этой иллюзии после ее окончания (в точке СИ + 5 ч). Иллюзия Понзо при 5-суточной СИ также имела обратный знак [12]. В исследованиях с использованием иллюзии Понзо и Мюллер-Лайера мы стабильно фиксировали отличия при сенсомоторной оценке для этих двух иллюзий в задаче запоминания. Иллюзия Понзо в такой задаче обычно отсутствует, а для иллюзии Мюллер-Лайера фиксируются характерные отличия в оценке размеров отрезков. Можно полагать, что эти отличия в силе иллюзий связаны с тем, что иллюзии обязаны своему возникновению особенностям обработки сцены на различных уровнях зрительной системы [12, 18].

Сенсомоторная оценка при воспроизведении длины верхнего отрезка нейтрального стимула на двадцатый день СИ была ниже, чем на третий день СИ ($-2.27 \pm 0.66\%$ vs $0.35 \pm 1.67\%$, $p < 0.05$) (рис. 4, А). Иллюзия Мюллер-Лайера была выше нуля во все дни измерений, кроме измерения, проведенного после окончания СИ. На двадцатый день СИ иллюзия была сильнее, чем на второй день фоновых измерений ($10.63 \pm 3.07\%$ vs $6.66 \pm 2.34\%$, $p < 0.05$) и на десятый день СИ ($10.63 \pm 3.07\%$ vs $4.48 \pm 1.47\%$, $p < 0.01$) (рис. 4, Б). Сила иллюзии Понзо во все дни измерений не отличалась от нуля (рис. 4, В).

По-видимому, в выполнении такой более сложной, чем запоминание, моторной задачи

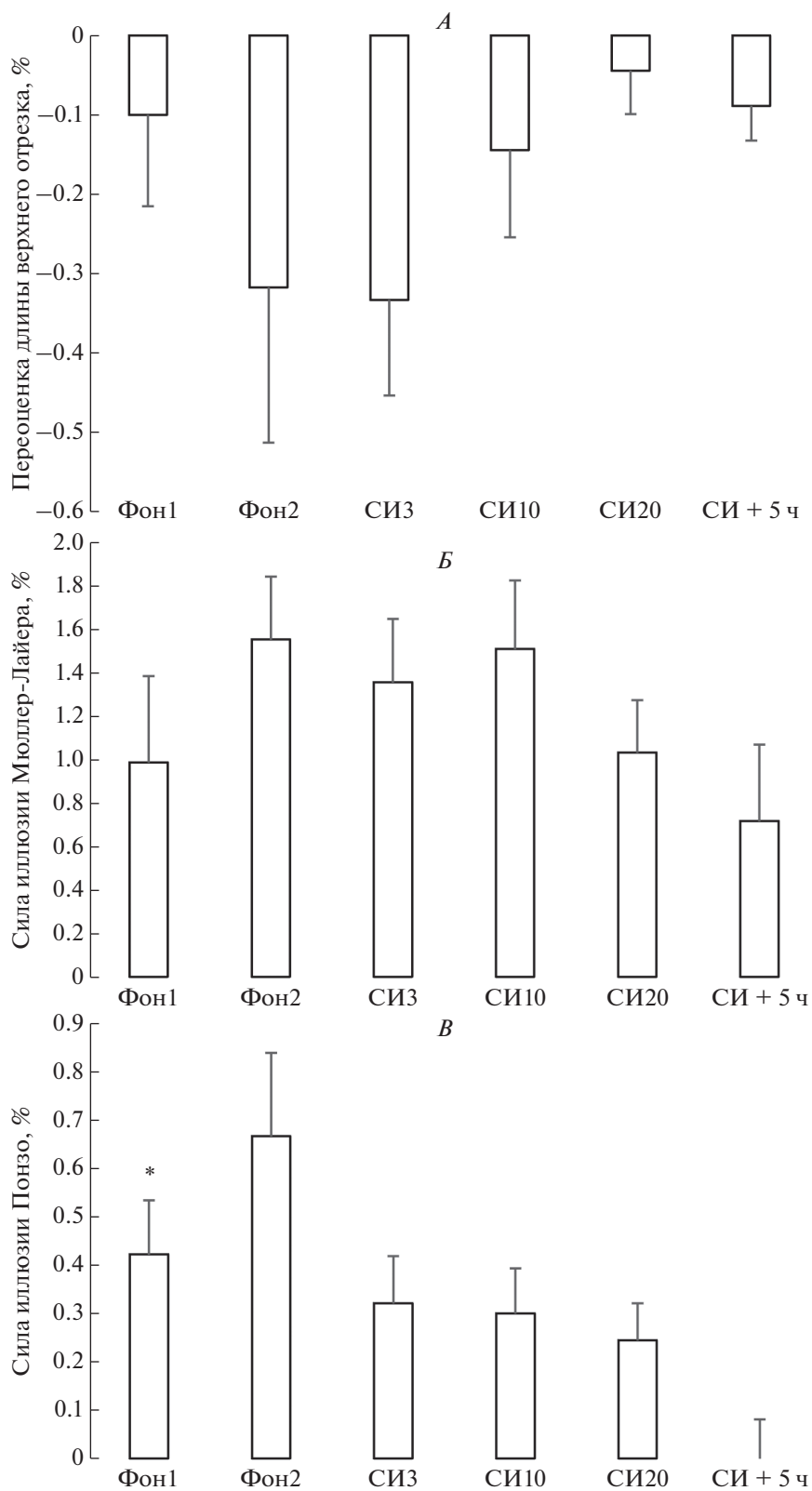


Рис. 2. Переоценка верхнего отрезка при вербальном ответе.

А – нейтральные отрезки, *Б* – иллюзия Мюллер-Лайера, *В* – иллюзия Понзо. Ось абсцисс – дни измерений. Ось ординат – %. * – достоверное отличие на уровне 0.05.

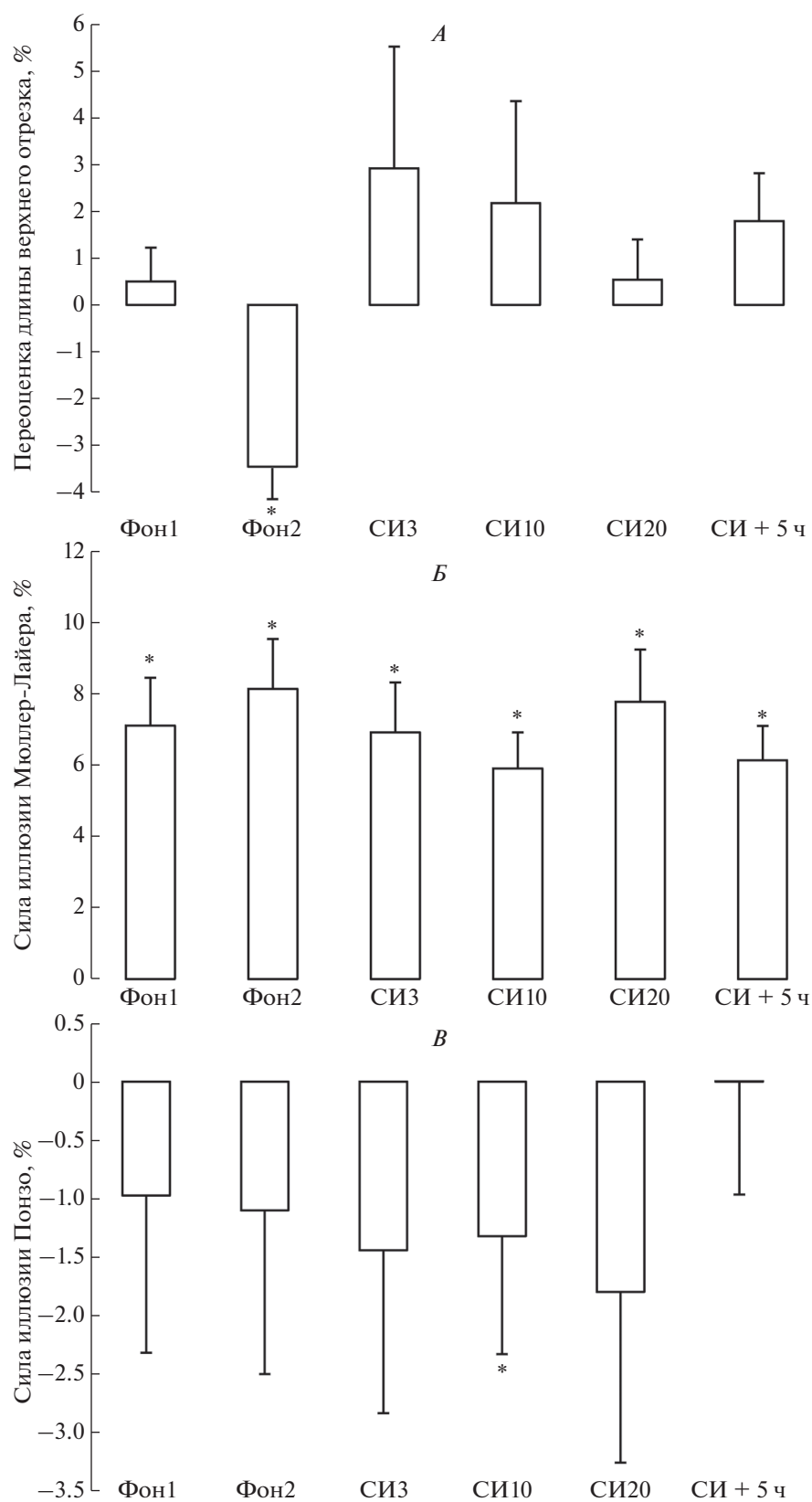


Рис. 3. Переоценка верхнего отрезка при моторном ответе (фаза запоминания).
Обозначения см. рис. 2.

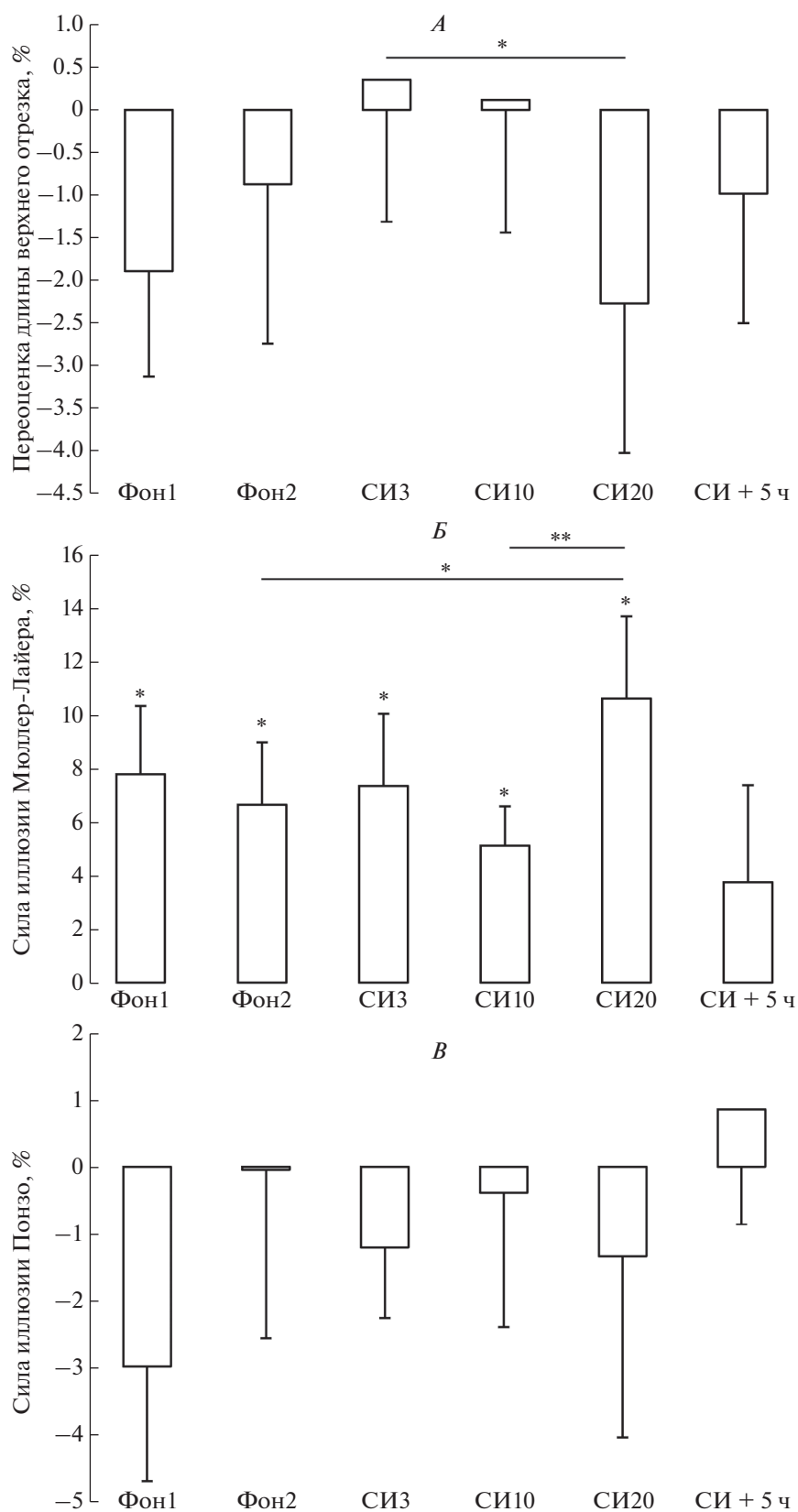


Рис. 4. Переоценка верхнего отрезка при моторном ответе (фаза воспроизведения).

** — достоверное отличие на уровне 0.01. Остальные обозначения см. рис. 2.

участвуют механизмы, связанные с активацией не только дорзального, но и вентрального потока. Задача воспроизведения предполагает не простую непосредственную оценку стимула, а использование рабочей памяти [19]. С этим может быть связана более сложная картина зависимости ответов испытуемых от дня измерений.

С вышеупомянутым фактором избыточного сознательного контроля могут быть связаны отрицательные значения силы иллюзии Понзо и недооценки верхнего отрезка нейтрального стимула при сенсомоторном ответе (как в фазе запоминания, так и в фазе воспроизведения). Предположительно, испытуемые при большем, чем обычно, уровне сознательного контроля, воспринимали в качестве дистрактора указательный палец, движущийся по центральным отрезкам стимулов, а известно, что точечные дистракторы, расположенные на центральных отрезках стимулов, могут менять знак иллюзии [20]. Можно также предполагать, что и кратковременной гравитационной разгрузки (следует обратить внимание, что измерения Фон-1 и Фон-2 также проводились в положении лежа в иммерсионной ванне) достаточно, чтобы уменьшить силу иллюзий.

Адаптация к микрогравитации приводит к определенным перестройкам структур головного мозга космонавтов, выявляемых при сравнении магниторезонансной томографии (МРТ), полученных до и после полета [21]. В частности, увеличивается связность между левой и правой островковой корой, являющейся интегральной зоной вентрального пути обработки информации [22]. Напротив, уменьшается связность между такими структурами, как вестибулярные ядра, правая нижняя теменная кора (зона дорзального пути [23]) и мозжечок, и рядом моторных, зрительных, соматосенсорных и вестибулярных областей. Нарушение сигналов от гравитационно-зависимых сенсорных входов ведет как к возникновению ориентационных зрительных иллюзий, связанных с измененными ощущениями собственного тела, так и к нарушениям выполнения зрительно-моторных задач [24, 25]. В условиях СИ прямое влияние на вестибулярный и зрительный аппарат отсутствует, однако изменение характера опоры, тактильной и проприоцептивной афферентации косвенно влияет на вестибулярную систему, что предоставляет возможность изучения на Земле эффектов, подобных наблюдаемым в невесомости [26].

Различия в оценке иллюзорных объектов в зависимости от модальности ответа связывают с активацией дорзального и вентрального потоков обработки зрительной информации [8]. По-видимому, и в условиях КП, и при СИ наблюдаются сходные изменения в работе дорзального потока (при сенсомоторном ответе), но не вентрального

потока (при вербальном ответе). Селективная активация дорзального потока может быть достигнута различными способами: либо путем использования соответствующих зрительных стимулов и инструкции при вербальном ответе, либо с помощью сенсомоторного ответа. В исследовании И.И. Шошиной [14] у испытуемых в условиях СИ регистрировали контрастную чувствительность зрительной системы с помощью метода визоконтрастметрии в разных диапазонах пространственных частот, основываясь на представлениях о том, что нейроны магноцеллюлярной системы, формирующей дорзальный поток, чувствительны к низким пространственным частотам парвоцеллюлярной системы, формирующей преимущественно вентральный поток, — к высоким пространственным частотам. Установлено повышение контрастной чувствительности в диапазоне низких пространственных частот на третий день нахождения в условиях СИ и через день после окончания эксперимента, по сравнению с фоновыми значениями. Был сделан вывод, что в условиях экстремальных воздействий, в частности в условиях микрогравитации, изменяется чувствительность магноцеллюлярной нейронной системы, формирующей дорзальный поток.

Известно, что в условиях микрогравитации эффективность выполнения задачи ментального вращения остается неизменной [10]. Предположительно, при этом используется аллоцентрическая система координат, свойственная для вентрального потока обработки информации [27]. Напротив, выполнение ментальных преобразований, требующих осознания положения в пространстве собственного тела или его частей, в условиях микрогравитации затруднено [10]. Предположительно, при этом используется эгоцентрическая система координат, характерная для дорзального потока обработки информации [27]. Данные ЭЭГ космонавтов при решении задач навигации также свидетельствуют о функциональной реорганизации обратных связей в дорзальном, но не вентральном пути [13].

В работе Л.Н. Корниловой [26] исследовалось влияние 7-суточной СИ на эффективность прослеживания за целью движениями глаз и движениями руки. Обе эти задачи, по-видимому, связаны с работой дорзального пути [28]. Большие нарушения наблюдались при выполнении, вероятно, более непривычной для испытуемых задачи длительного прослеживания за целью глазами, но и эффективность прослеживающих движений руки уменьшалась у 5 из 6 испытуемых на первый и третий день СИ, а затем постепенно достигала фоновых значений. Качественно сходные данные были получены и для обезьян *Macaca Mulatta*. После водной иммерсии снижались корректирующие влияния на траекторию движения курсора при выполнении двигательных задач, что отража-

ет ухудшения в контроле движения со стороны структур теменной коры [29].

На основе опытов по подбору ориентации зрительных стимулов предполагается, что в условиях микрогравитации в отсутствии системы координат, связанной с гравитационной вертикалью, взаимодействие сенсорной и моторной систем реорганизуется и осуществляется на основе эгоцентрической системы координат, связанных с внутренним представлением частей тела [30], что, возможно, приводит к избыточной активации дорзального потока переработки информации. На основе анализа данных о силе иллюзии Мюллер-Лайера в задаче воспроизведения можно предположить, что и СИ ведет к избыточной активности дорзального пути. Восстановление иллюзии, наблюдаемое после окончания 5-суточной СИ, равно как и увеличение силы иллюзии на двадцатый день 21-суточной СИ показывают, что эту избыточную активность испытуемый с разной степенью успешности пытается компенсировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изучали влияние 21-суточной СИ на силу зрительных иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера при вербальном ответе и двух вариантах сенсорного ответа путем “треккинга” (с наличием и отсутствием зрительной обратной связи). Показано, что СИ влияет преимущественно на моторный ответ. Изменения, заключающиеся в снижении силы зрительных иллюзий, более выражены для более сложной моторной задачи, выполняемой в отсутствие зрительной обратной связи. Результаты хорошо согласуются с данными, полученными нами прежде в условиях 5-суточной СИ [12]. Одним из возможных механизмов наблюдаемых изменений оценок иллюзий может быть гиперактивация дорзального зрительного пути из-за гравитационной разгрузки.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института медико-биологических проблем РАН (Москва).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Разработка методик оценки иллюзий и анализ данных проведен при поддержке РФФИ (грант № 19-013-00036). Организация иммерсионных исследований и участие Е.С. Томиловской поддержаны проектом РАН (63.1).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания. В 2-х томах. М.: Смысл: Издательский центр “Академия”, 2006. С. 162.
2. Suzuki Y., Fujii K., Onizawa T. Studies on sensory deprivation: IV. Part 6. Effects of sensory deprivation upon perceptual function // *Tohoku Psychologica Folia*. 1965. V. 24. P. 24.
3. Lybrand W.A., Andrews T.G., Ross S. Systemic Fatigue and Perceptual Organization // *Am. J. Psychol.* 1954. V. 67. № 4. P. 704.
4. King J.P., Christensen B.K., Westwood D.A. Grasping Behavior in Schizophrenia Suggests Selective Impairment in the Dorsal Visual Pathway // *J. Abnorm. Psychol.* 2008. V. 117. № 4. P. 799.
5. King D.J., Hodgekins J., Chouinard P.A. et al. A review of abnormalities in the perception of visual illusions in schizophrenia // *Psychon. Bull. Rev.* 2017. V. 24. № 3. P. 734.
6. Grzeczowski L., Roinishvili M.O., Chkonina E.D. et al. Is the perception of illusions abnormal in schizophrenia? // *Psychiatry Res.* 2018. V. 270. P. 929.
7. Gori S., Molteni M., Facoetti A. Visual Illusions: An Interesting Tool to Investigate Developmental Dyslexia and Autism Spectrum Disorder // *Front. Hum. Neurosci.* 2016. V. 10. P. 175.
8. Giese M.A., Rizzolatti G. Neural and Computational Mechanisms of Action Processing: Interaction between Visual and Motor Representations // *Neuron*. 2015. V. 88. № 1. P. 167.
9. Dokka K., DeAngelis G.C., Angelaki D.E. Multisensory Integration of Visual and Vestibular Signals Improves Heading Discrimination in the Presence of a Moving Object // *J. Neurosci.* 2015. V. 35. № 40. P. 13599.
10. Grabherr L., Mast F.W. Effects of microgravity on cognition: The case of mental imagery // *J. Vestibul. Res.* 2010. V. 20. № 1. P. 53.
11. Tomilovskaya E., Shigueva T., Sayenko D. et al. Dry Immersion as a Ground-Based Model of Microgravity Physiological Effects // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 284.
12. Соснина И.С., Ляховецкий В.А., Зеленский К.А. и др. Влияние 5-суточной “сухой” иммерсии на силу иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера // *Журн. высшей нервной деятельности*. 2018. Т. 68. № 3. С. 313.
13. Cheron G., Leroy A., Palmero-Soler E. et al. Gravity influences top-down signals in visual processing // *PLoS One*. 2014. V. 9. № 1. P. e82371.
14. Шошина И.И., Соснина И.С., Зеленский К.А. и др. Функциональное состояние магноцеллюлярной и парвоцеллюлярной нейронных систем в условиях микрогравитации / Пятнадцатый международный междисциплинарный конгресс “Нейронаука для медицины и психологии”. Судак, 30 мая—10 июня 2019 г. С. 474.

15. Oldfield R.C. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory // *Neuropsychologia*. 1971. V. 9. P. 97.
16. Aarts E., Verhage M., Veenliet J.V. et al. A solution to dependency: using multilevel analysis to accommodate nested data // *Nat. Neurosci.* 2014. V. 17. P. 491.
17. Четвериков А.А. Линейные модели со смешанными эффектами в когнитивных исследованиях // *Российский журн. когнитивной науки*. 2015. Т. 2. № 1. С. 41.
18. Карпинская В., Ляховецкий В. Различия в сенсомоторной оценке иллюзий Понзо и Мюллер-Лайера // *Психологические исследования*. 2014. Т. 7. № 38. С. 3.
19. Martín-Loeches M., Valdés B., Gómez-Jarabo G., Rubia F.J. Working Memory Within The Visual Dorsal Stream: Brain Potentials of Spatial Location and Motion Direction Encoding Into Memory // *Int. J. Neurosci.* 1998. V. 96. № 1–2. P. 87.
20. Searleman A., Porac C., Alvin J., Peaslee K. Manipulating the strength of the Ponzo and horizontal-vertical illusions through extraction of local cue information // *Am. J. Psychol.* 2009. V. 122. № 3. P. 383.
21. Pechenkova E., Nosikova I., Rumshiskaya A. et al. Alterations of Functional Brain Connectivity After Long-Duration Spaceflight as Revealed by fMRI // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 761.
22. Dijkerman H.C., de Haan E.H. Somatosensory processes subserving perception and action // *Behav. Brain Sci.* 2007. V. 30. № 2. P. 189.
23. Husain M., Nachev P. Space and the parietal cortex // *Trends Cogn. Sci.* 2007. V. 1. № 11. P. 30.
24. Корнилова Л.Н., Тарасов И.К. Ориентационные иллюзии в невесомости // *Авиакосм. и экол. мед.* 1996. Т. 30. № 3. С. 17.
25. Корнилова Л.Н., Глухих Д.О., Хабарова Е.В. и др. Зрительно-мануальное слежение после длительных космических полетов // *Физиология человека*. 2016. Т. 42. № 3. С. 82.
Kornilova L.N., Glukhikh D.O., Habarova E.V. et al. Visual-Manual Tracking after Long Spaceflights // *Human Physiology*. 2016. V. 42. № 3. P. 301.
26. Корнилова Л.Н., Наумов И.А., Мазуренко А.Ю., Козловская И.Б. Зрительно-мануальное слежение и вестибулярная функция в условиях 7-суточной “сухой” иммерсии // *Авиакосм. и экол. мед.* 2008. Т. 42. № 5. С. 8.
27. Jang S.H., Jang W.H. The different association of allocentric and egocentric neglect with dorsal and ventral pathways: a case report // *Medicine (Baltimore)*. 2018. V. 97. № 37. P. e12394.
28. Меньшикова Г.Я. Конструктивистский и экологический подходы к исследованию процесса зрительного восприятия: анализ различий // *Вест. Моск. Ун-та. Сер. 14. Психология*. 2007. Т. 4. С. 34.
29. Бадаква А.М., Миллер Н.В., Зобова Л.Н., Роцин В.Ю. Исследование влияния опорной разгрузки на корковые механизмы управления движениями руки в иммерсионных экспериментах на обезьянах // *Авиакосм. и экол. мед.* 2019. Т. 53. № 3. С. 33.
30. McIntyre J., Lipshits M. Central processes amplify and transform anisotropies of the visual System in a test of visual-haptic coordination // *J. Neurosci.* 2008. V. 28. № 5. P. 1246.

The Effect of 21-Day “Dry” Immersion on the Ponzo and Müller-Lyer Illusions

I. S. Sosnina^{a,*}, V. A. Lyakhovetskii^b, K. A. Zelenskiy^a, I. I. Shoshina^{b,c},
V. Yu. Karpinskaya^c, E. S. Tomilovskaya^a

^aInstitute of Biomedical Problems of the RAS, Moscow, Russia

^bPavlov Institute of Physiology RAS, St. Petersburg, Russia

^cSaint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

*E-mail: radostniyden@mail.ru

In the course of the 21-day “dry” immersion (DI), we studied the strength of Ponzo and Müller-Lyer visual illusions with the help of verbal response and two variants of the motor response by means of “tracking” (with the presence and absence of visual feedback). The studies were performed with the participation of ten subjects before the start of DI, on the 3rd, 10th, 20th day of DI, as well as at the end of it. It was shown that DI mainly affects the motor response. Changes in reducing the strength of visual illusions were more pronounced for a more complex motor task performed in the absence of visual feedback. The results are in agreement with the data that we previously obtained under the conditions of 5-day DI. One of the possible mechanisms of the observed changes in the illusions estimates may be hyperactivation of the dorsal visual pathway due to gravitational unloading.

Keywords: Ponzo illusion, Müller-Lyer illusion, “dry” immersion, gravity, dorsal pathway.