

УДК 612.821.1:532.3

## РЕАКЦИЯ НА ДВИЖУЩИЙСЯ ОБЪЕКТ У ЛИЦ С БОЛЕЗНЬЮ ПАРКИНСОНА ПОСЛЕ КУРСА “СУХОЙ” ИММЕРСИИ

© 2024 г. О. Г. Третьякова, А. Ю. Мейгал\*, Л. И. Герасимова-Мейгал, М. М. Буркин

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Россия

\*E-mail: meigal@petsu.ru

Поступила в редакцию 01.08.2024 г.

После доработки 31.08.2024 г.

Принята к публикации 10.09.2024 г.

В данной статье исследовано влияние курса наземной микрогравитации, смоделированного при помощи семи 45-минутных сеансов “сухой” иммерсии (СИ), у лиц с болезнью Паркинсона (БП) ( $n = 10$ ) на выполнение задания “реакция на движущийся объект” (РДО). Оценена пропорция точных перехватов цели, запаздывания и опережения перехвата и среднее время запаздывания и опережения перехвата. Установлено, что в отличие от реакции выбора и реакции различения курс СИ не оказал влияния на точность перехвата объекта (точный перехват варьировал от 50% до курса СИ до 54% спустя 2 нед. после него,  $p > 0.05$ , критерий Фридмана), соотношение запаздываний и опережений перехвата цели и среднее время опережения и запаздывания реакции ( $p > 0.05$ , критерий Фридмана). Возможным объяснением такого результата может быть строгий клинический отбор лиц с БП в исследование с СИ, их лучшее клиническое состояние по сравнению с модельной группой испытуемых с БП, недостаточная сложность самого задания РДО и сохранность реактивности на динамические стимулы у лиц с БП.

*Ключевые слова:* реакция на движущийся объект, микрогравитация, болезнь Паркинсона, “сухая” иммерсия.

DOI: 10.31857/S0131164624060041 EDN: AGHUNY

Для болезни Паркинсона (БП), помимо таких типичных симптомов, как тремор покоя, мышечная ригидность, бради- и акинезия, нарушение позы, походки и функции автономной нервной системы [1], характерно увеличенное время реакции на стимулы [2], общее замедление мышления (“брадифрения”), нарушение восприятия времени [3] и зрительно-моторной интеграция [4]. В частности, при БП замедлена простая зрительно-моторная реакция и реакция выбора [5, 6]. Эти, малозаметные на первый взгляд, нарушения важны в повседневной жизни человека с БП, например, когда требуется вовремя начать или закончить движение при включении сигнала светофора, или когда водителю требуется остановить транспортное средство [7]. В повседневной жизни и спорте человеку требуется взаимодействовать с множеством объектов, которые надо перехватывать, или, наоборот, избегать столкновения с ними [8, 9]. Движения совершаются в течение заданного времени, с определенной скоростью и в нужной последовательности, что требует четкого оперирования понятием “время”. При БП оперирование временем нарушено в сверхкоротком (<500 мс) диапазоне,

тогда как в диапазоне 1–2 с оно уже не отличается от лиц без БП [10].

В некоторых двигательных задачах требуется реагировать на движущийся, динамичный объект [8, 9]. Эти задачи требуют оценки скорости и, соответственно, интеграции категории “времени” в организацию реакции на стимул. Так, в задании “перехват движущейся цели” (“*manual interception of moving target*”, или «реакция на движущийся объект», РДО) требуется реагировать (нажать кнопку на пульте) в тот момент, когда движущаяся на экране цель совпадает с точкой перехвата [11]. Таким образом, в РДО нужна не только быстрая реакция, но и мониторинг взаимного расположения и сближения объектов на экране. Тесты типа РДО информативны, так как оценивают не только зрительно-моторную, но и пространственно-временную интеграцию [12, 13]. Тест РДО похож на простую зрительно-моторную реакцию, поскольку стимул в РДО не предполагает выбора стимула. Также РДО имеет некоторое сходство с “реакцией различения” (“парадигма *Go/NoGo*”), поскольку в ней требуется сдерживать реакцию до “самого последнего момента”, чтобы максимально точно перехватить цель [12]. Для этого нужна правильная

оценка “времени до контакта” (“*time-to-contact*”), которое включает время на: 1) идентификацию движущейся цели и зоны перехвата, 2) доведение моторной команды по проводящим путям мозга к мышцам и 3) сокращение самой мышцы [13]. Тесты РДО позволяют судить о соотношении возбуждения и торможения в ЦНС по пропорции “опережающих” и “запаздывающих” перехватов цели, что особенно важно при БП с характерной для нее брадикинезией и брадифренией.

Перехват движущейся цели является жизненно важным навыком [8, 9, 14], особенно при двигательных нарушениях. При выполнении теста типа РДО, например, реагировании движением глаз на движущийся или стационарный объект, больные с БП допускают в среднем в 2.5 раза больше ошибок при перехвате цели, чем здоровые испытуемые, а сама реакция является “гипометрической”, т. е. имеет меньшую амплитуду и происходит раньше, чем требуется для перехвата цели [8]. Больные с БП лучше выполняют реактивные (реагирование на движущуюся цель), чем проактивные (т. е. по собственной воле) задания [15]. Также лица с БП точнее реагируют на динамические, а не стационарные стимулы [9], и хуже – на когнитивно более сложные стимулы, требующие запоминания траектории [16] или предсказания появления стимула [17]. Также, в силу феномена *kinesia paradoxica*, больные с БП могут хорошо выполнять избранные сложные движения, особенно в экстренных обстоятельствах [8, 18]. В целом зрительно-моторные и глазодвигательные реакции играют все большую роль в диагностике БП [13].

Существенную роль в перехвате реальной движущейся цели играет восприятие гравитации, так как траектория баллистического объекта несет информацию об ускорении свободного падения [19]. В условиях микрогравитации, например во время параболического полета, скорость реакции уменьшается [20], а в условиях космического полета время реакции, напротив, увеличивается, вероятно, за счет ускорения “внутреннего отсчета времени”, нарушения памяти и внимания [21]. У лиц с БП после курса наземной модели микрогравитации в виде “сухой” иммерсии (СИ) время простой зрительно-моторной реакции не изменялось, но время

в более когнитивно-нагруженных заданиях – реакции выбора и реакции различения, уменьшилось [22]. Имеются данные о влиянии 6-дневной “сухой” иммерсии на движения глаз [23].

На основании изложенных данных можно предположить, что условия “сухой” иммерсии у лиц с БП могут модифицировать реакцию перехвата типа РДО, однако направление этой модификации трудно предсказать. Так, тест РДО не является когнитивно нагруженным, поскольку не требует участия памяти или выбора и различения стимула и, соответственно, может не измениться в условиях “сухой” иммерсии, как и простая зрительно-моторная реакция. Также у лиц с БП не нарушена окуло-моторная реактивность именно на динамический объект. С другой стороны, у лиц с БП после курса СИ значительно уменьшается уровень депрессии и степени мышечной ригидности [24], что может положительно повлиять на исполнение теста РДО за счет роста мотивации и скорости сокращения мышцы при реагировании на стимул.

Основной целью настоящей работы было изучение параметров РДО у лиц с БП после курса наземной модели микрогравитации в виде СИ (*Исследование 2*). Для понимания возможного вклада фактора возраста и заболевания в результаты теста РДО была проанализирована база данных, собранная нами в 2008–2014 гг., которая включает здоровых молодых испытуемых, лиц пожилого и старческого возраста и лиц с БП (База данных RU № 2021620294) (*Исследование 1*).

## МЕТОДИКА

*Исследование 1.* Проводили анализ РДО испытуемых молодого возраста (МЗ, 18–21 год,  $n = 22$ , 10 женщин, 12 мужчин), лиц пожилого и старческого возраста (ПС 48–78 лет,  $n = 24$ , 15 женщин, 9 мужчин) и лиц с БП (45–89 лет,  $n = 25$ , 18 женщин, 7 мужчин) из базы данных RU № 2021620294. Усредненные данные по этим группам представлены в табл. 1. Испытуемые групп с БП и ПС были сходны по возрасту, росту, весу и индексу массы тела (ИМТ). Таким образом, в *исследовании 1* комбинируются два признака – возраст и наличие болезни. Группа ПС имеет общий признак (возраст)

**Таблица 1.** Антропометрическая и клиническая характеристика групп испытуемых в *исследовании 1*

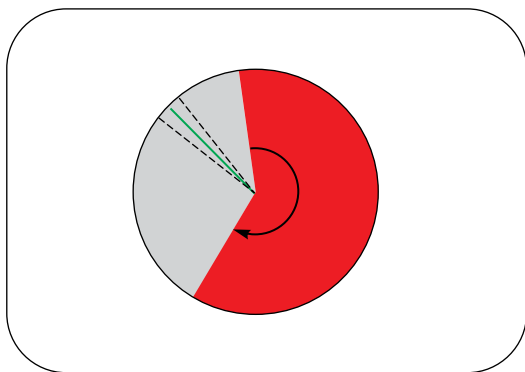
Группа	Возраст (годы)	Рост (см)	Вес (кг)	ИМТ	UPDRS-III (баллы)	Длительность (годы)	LEDD (мг)
МЗ	18.5 ± 0.9	172.1 ± 7.8	61.6 ± 9.8	21.7 ± 2.3	–	–	–
ПС	62.7 ± 7.5	164.2 ± 8.2	71.3 ± 9.8	26.5 ± 3.5	–	–	–
БП	65 ± 11.8	162.5 ± 7.9	69.6 ± 11.1	26.4 ± 4.0	32.1 ± 12.0	8.3 ± 8.3	343 ± 127

*Примечание:* МЗ – молодой возраст, ПС – лица пожилого и старческого возраста, БП – болезнь Паркинсона. LEDD – точная эквивалентная доза леводопы.

с группой БП, а с группой МЗ – общий признак отсутствия болезни.

**Исследование 2.** В настоящем исследовании участвовали те же испытуемые с БП ( $n = 10$ , 2 женщины, 8 мужчин), что и в работе по изучению зрительно-моторных реакций во время курса СИ [22]. Пять испытуемых, которые не подвергались действию “сухой” иммерсии и сформировали контрольную группу, также участвовали в исследовании [22]. Средняя продолжительность заболевания лиц с БП составила  $4.4 \pm 1.8$  года, количество баллов по шкале *UPDRS-III* (двигательная часть) –  $23.4 \pm 7.5$ , стадия по Хёну и Яру  $2.0 \pm 0.8$ , суточная эквивалентная доза леводопы (*LEDD*) –  $439 \pm 284$  мг [25]. Подробные клинико-антропометрические сведения о группе исследования и контрольной группе, критерии включения и невключения в исследование представлены в работе *A.Y. Meigal et al.* [22].

**Реакция на движущийся объект (РДО).** Оценку РДО проводили при помощи прибора “НС-Психотест” (ООО “Нейрософт”, Россия). Испытуемый сидел прямо перед экраном компьютера, на котором был представлен круг серого цвета (диаметр 90 мм, окружность 283 мм). Фон экрана был белого цвета. При запуске тестирования в круге появлялась заливка в виде сектора красного цвета (динамический объект), который с угловой скоростью  $180^\circ \text{C}^{-1}$  (пол-оборота в секунду, или  $141.5 \text{ мм/с}$ ) нарастал в направлении “по часовой стрелке” в сторону зеленого радиуса (стационарный объект).  $1^\circ$  угловой скорости соответствовал времени 5.55 мс и длине окружности 0.79 мм. Испытуемый должен был остановить фронт красного сектора нажатием кнопки ручного пульта максимально близко к зеленому радиусу (рис. 1). После реакции (нажатия



**Рис. 1.** Схема теста “реакция на движущийся объект”.

Показан красный (на реальном экране компьютера) сектор в круге, нарастающий по часовой стрелке в сторону цели (сплошная линия от центра круга) на сером фоне. Пунктирные радиусы обозначают пределы точного перехвата цели (от  $-3.5^\circ$  до  $3.5^\circ$ ).

кнопки), зеленый радиус возникал в новом случайном месте “циферблата”, а фронт красного сектора сразу начинал нарастать от места предыдущей остановки. Предъявляли 30 положений зеленого радиуса в течение 40 с. Время на реагирование в силу случайного расположения цели (радиуса) было разным. Точным перехватом цели считалась остановка красного сектора в зоне  $3.5^\circ$  в обе стороны от зеленого радиуса. Остановка ранее чем за  $3.5^\circ$  до радиуса (ранее чем  $-19.4$  мс) считалась “опережением”, а после  $3.5^\circ$  за радиусом (позже 19.4 мс) – “запаздыванием”. Учитывали процент точных попаданий, опережений и запаздываний. Также оценивали среднее время опережений и запаздываний (частное суммарного времени опережений или запаздываний и их количества). Нажатие кнопки на пульте испытуемые осуществляли доминирующей рукой, большим или указательным пальцем, в положении сидя. Пульт управления испытуемые держали обеими руками на коленях или на столе перед экраном. Расстояние от экрана до лица испытуемого составило примерно 60 см. Испытуемому предоставляли две попытки, из которых для анализа выбирали лучшую, т. е. с большим процентом точного перехвата.

**Сеанс и курс “сухой” иммерсии.** Моделирование невесомости осуществляли при помощи условий СИ, создаваемых медицинским аппаратом искусственной невесомости МЕДСИМ (ООО “Центр авиакосмической медицины и технологий”, ГНЦ РФ “Институт медико-биологических проблем” РАН, г. Москва). Подробное описание сеанса и курса СИ представлено в работе [22]. Время сеанса СИ составляло 45 мин. Курс СИ состоял из 7 отдельных сеансов в течение 25–30 дней (период между сеансами 2 дня), а общее время СИ за курс составило 315 мин (5 ч 15 мин). Исследование РДО проводили в четырех точках: до (за 2–3 дня) и сразу после курса СИ (на следующий день), а также через две недели и два месяца после курса. Испытуемые из контрольной группы проходили тестирование РДО в тех же точках исследования, но без применения СИ. Критерии включения и невключения в исследование с применением СИ представлены в работе [22].

**Статистика.** В исследовании 1 при помощи критерия Крускала–Уоллеса оценивали различие между группами. В исследовании 2 при помощи критерия Фридмана (с *post hoc* критерием Ньюмана–Кейлса) оценивали влияние курса СИ на параметры РДО. Сравнение реакции опережения и запаздывания в обоих исследованиях осуществляли при помощи критерия Уилкоксона. Использовали статистический пакет *SPSS Statistics 21* (*SPSS, IBM Company, США*).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании 1 для группы МЗ было характерно наибольшее количество точных исполнений (до 70%) и, соответственно, 30% запаздываний и опережений с преобладанием опережений (табл. 2). Соответственно, среднее время реакции в группе МЗ было немного меньше нуля. Для группы ПС была характерна более низкая доля точных попаданий (примерно 45%) и одинаковая доля опережений и запаздываний. У больных с БП доля точных попаданий была низкой (примерно 25% при одинаковой доле опережений и запаздываний) (табл. 2). Среднее время реакций с опережением и запаздыванием было наименьшим в группе МЗ, и оно значимо отличалось от группы БП. Время опережения и запаздывания в группе ПС занимало среднее положение между МЗ и БП. Статистически значимое различие между средним временем опережения и запаздывания было характерно только для группы МЗ (табл. 2).

В исследовании 2 лица с БП продемонстрировали более точное исполнение задания на РДО по сравнению с исследованием 1, так как точный перехват составлял до 50%. До и сразу после курса СИ среднее число баллов по шкале UPDRS-III составило  $23.3 \pm 2.4$  и  $23.1 \pm 2.3$ , а спустя две недели после курса СИ –  $21.8 \pm 2.4$  ( $p > 0.05$ ).

Статистически значимого изменения процента точных исполнений, опережения и запаздывания перехвата цели после прохождения курса СИ не обнаружено (табл. 3), хотя прослеживается незначимая тенденция к увеличению доли точных перехватов (в среднем на 5%) в точке “2 недели после курса СИ”. Вместе с тем при рассмотрении индивидуальных результатов у 6 из 10 испытуемых точность перехвата цели в тесте РДО увеличилась. В контрольной группе не обнаружено значимых изменений параметров РДО, хотя в ней также имеется тенденция к увеличению доли точных перехватов (табл. 4). Среднее время опережения и запаздывания в контрольной группе также не изменилось.

**Таблица 2.** Распределение реакций на движущийся объект (РДО) в исследуемых группах

Параметр РДО	МЗ	ПС	БП	<i>p</i>
Точный перехват, %	$70.6 \pm 15.7^{***}$	$46.3 \pm 13.8^{***}$	$24.8 \pm 12.5$	0.001
Опережение, %	$18.5 \pm 14.4^{***}$	$27.2 \pm 14.7$	$36.8 \pm 19.5$	0.001
Запаздывание, %	$10.9 \pm 6.4^{***, \#}$	$26.7 \pm 12.8$	$37.1 \pm 19.7$	0.001
Среднее время реакции, мс	$-3.9 \pm 24.7$	$-22.1 \pm 50.8$	$-33.6 \pm 91.0$	0.135
Среднее время опережения, мс	$-146.2 \pm 153^*$	$-185.7 \pm 166$	$-275.9 \pm 137.5$	0.001
Среднее время запаздывания, мс	$96.0 \pm 105.58^{**}$	$114.8 \pm 69.7^*$	$232.5 \pm 171.9$	0.001

*Примечание:* различие между группами рассчитано по критерию Крускала–Уоллеса, отличие от группы БП при парных сравнениях: \* –  $p < 0.05$ , \*\*\* –  $p < 0.001$ ; различие между “опережением” и “запаздыванием” по критерию Уилкоксона: # –  $p < 0.05$ . Остальные обозначения см. табл. 1.

**Таблица 3.** Распределение реакций на движущийся объект (РДО) в группе с болезнью Паркинсона (БП) при воздействии “сухой” иммерсии (СИ)

Параметр РДО	До курса СИ	После курса СИ	2 нед. после курса СИ	<i>p</i>
Точный перехват, %	$50.6 \pm 9.3$	$53.3 \pm 9.2$	$53.7 \pm 10.0$	0.469
Опережение, %	$30.6 \pm 13.5$	$30.4 \pm 12.3$	$29.7 \pm 9.2$	0.704
Запаздывание, %	$18.2 \pm 13.5$	$16.4 \pm 9.2$	$16.8 \pm 8.4^{\#}$	0.768
Среднее время реакции, мс	$13.8 \pm 10.7$	$9.1 \pm 22.6$	$14.1 \pm 38.2$	>0.5
Среднее время опережения, мс	$-228.5 \pm 337$	$-211.8 \pm 257$	$-213.1 \pm 174.5$	>0.5
Среднее время запаздывания, мс	$103.2 \pm 45.0$	$98.3 \pm 36.1$	$97.9 \pm 36.1$	>0.5

*Примечание:* различие между точками исследования рассчитано по критерию Фридмана. Поскольку не все испытуемые с БП пришли на контрольное обследование в точке “2 мес. после курса СИ”, эта точка была исключена из анализа. Различие между “опережением” и “запаздыванием” по критерию Уилкоксона: –  $p < 0.05$ .

**Таблица 4.** Распределение реакций на движущийся объект (РДО) в контрольной группе с болезнью Паркинсона (БП)

Параметр РДО	До курса СИ	После курса СИ	2 нед. после курса СИ	2 мес. после курса СИ	<i>p</i>
Точный перехват, %	50.8 ± 4.3	52.8 ± 4.4	54.6 ± 13.1	57.2 ± 12.6	0.212
Опережения, %	16.6 ± 9.4	22.8 ± 13.2	21.4 ± 7.7	20.0 ± 11.2	0.371
Запаздывания, %	32.6 ± 7.9	24.8 ± 11.0	24.0 ± 13.8	22.8 ± 15.3	0.146
Среднее время реакции, мс	6.1 ± 35.7	-11.4 ± 48.8	-23.5 ± 44.3	-25.1 ± 46.3	> 0.5
Среднее время опережения, мс	-186.4 ± 165	-150.3 ± 98	-221.8 ± 140.5	-261.1 ± 160	> 0.5
Среднее время запаздывания, мс	96.6 ± 23.2	95.7 ± 44.7	86.1 ± 12.1	75 ± 7.8	0.077

*Примечание:* различие между точками исследования рассчитано по критерию Фридмана.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно исходной научной гипотезе, курс из семи 45-минутных сеансов СИ у лиц с БП мог в равной степени привести к увеличению точности исполнения теста РДО у лиц с БП или не повлиять на нее. Полученный результат позволяет утверждать, что курс из семи 45-минутных сеансов СИ не повлиял на точность перехвата цели в тесте РДО. Можно предположить несколько причин такого результата.

Во-первых, у испытуемых с БП, прошедших курс СИ (*исследование 2*), исходно была высокая доля точных перехватов (примерно 50%), что в целом ближе к группе пожилых испытуемых без БП (примерно 46%), чем для группы БП (24%) из *исследования 1*. Возможно, доля точных перехватов у лиц с БП после курса СИ просто не могла увеличиться выше средневозрастных значений, так как уже находилась в пределах нормальных значений для этого возраста. В *исследовании 1* (без СИ) в группу БП вошло много пациентов в более тяжелом состоянии, чем в *исследовании 2* (с курсом СИ). Среднее число баллов UPDRS-III в *исследовании 1* составило примерно 32, а в *исследовании 2* – 24 балла. Такое различие связано с более строгим отбором испытуемых в *исследовании 2* (с курсом СИ) и большим количеством критериев невключения. В пользу этого аргумента говорит и то, что ранее наибольший эффект курса СИ на зрительно-моторные реакции был отмечен у тех лиц с БП, у которых исходно были наихудшие показатели исполнения реакции выбора и реакции различения [22]. В целом это, безусловно, является серьезным ограничительным фактором настоящего исследования, так как лица с более тяжелым течением БП, у которых эффект СИ мог проявиться наиболее сильно, не могли быть включены в исследование.

Во-вторых, тест РДО во многом напоминает простую зрительно-моторную реакцию, которая

является препрограммированной по своей нейрофизиологической организации и когнитивно не нагруженной, так как требует простой детекции сигнала и реагирования на него, а не оценки качества сигнала (выбора между сигналами, различения нескольких разных сигналов, или включения механизмов памяти). В нашем исследовании [22] время простой зрительно-моторной реакции у лиц с БП после курса СИ не изменялось, в отличие от таких когнитивно-нагруженных заданий, как реакция выбора или тест на помехоустойчивость, которые статистически значимо улучшались после курса СИ.

В-третьих, сравнивая результаты группы исследования и контрольной группы, можно заметить, что во второй группе наблюдается постепенное улучшение исполнения теста РДО со временем, что указывает на высокую вероятность обучения испытуемых с каждым новым действием [26].

В-четвертых, известно, что заместительная дофаминергическая терапия практически не влияет на глазодвигательные функции, в отличие от тремора или мышечной ригидности [9, 27]. Аналогично, такая эффективная медицинская процедура, как глубокая магнитная стимуляция мозга, не проявляет действия на глазодвигательные реакции у лиц с БП [28]. Возможно, примененный курс СИ был недостаточно сильным (частым, длительным) для оказания эффекта на такой устойчивый к антипаркинсонической терапии тест, как РДО. С другой стороны, увеличение числа или длительности сеансов СИ именно у лиц с БП невозможно по медицинским показаниям, так как СИ может оказать неблагоприятное влияние на другие системы организма, например сердечно-сосудистую систему [29, 30].

На полученный результат могло повлиять то, что глазодвигательные реакции на динамический (движущийся) стимул у лиц с БП в целом сохранены, в

отличие от реакции на стационарный (неподвижный) стимул, во время которого лица с БП совершают в 2 раза больше ошибок, чем здоровые испытуемые [8, 9]. Поскольку тест РДО предъявляет динамический стимул, влияние СИ на РДО могло не проявиться себя.

Одним из заметных отличий лиц с БП от группы здоровых испытуемых стало большее среднее время опережения и запаздывания во время РДО. Это означает то, что при неточном перехвате цели время РДО у лиц с БП сильно отклонялось от места точного перехвата. В то же время у здоровых молодых и пожилых испытуемых даже неточные перехваты находились близко к области точного перехвата движущейся цели. Большая доля реакции “опережения” и ее большое среднее время, которые оказались характерны для больных БП в исследовании 2, могут быть связаны с тем, что больные, осознавая свою замедленность, реагируют раньше, чем здоровые испытуемые, что говорит о сохраняющейся способности к адаптивному поведению [8]. Также для больных с БП характерна импульсивность принятия решения, способствующая опережающей реакции [31]. Вероятно, в сумме эти две особенности перевешивают замедленность движения и принятия решения, ведущую к реакции “запаздывания”. Что касается большого среднего времени “запаздывания” у лиц с БП, можно предположить, что в ней присутствует элемент “свободного”, т. е. не связанного со стимулом, нажатия кнопки в силу необходимости реагировать на стимул, даже если он уже пропущен.

Вместе с тем, следует отметить индивидуальный характер реакции испытуемых с БП на курс СИ. Так, у 6 испытуемых из 10 процент точных перехватов все же был увеличен сразу после курса СИ и спустя две недели после курса. У остальных испытуемых с БП точность перехвата не изменилась или снизилась на несколько процентов. Однако малое число наблюдений не позволяет провести серьезный анализ влияния тяжести заболевания или отдельных симптомов на результат.

Возможным продолжением настоящей работы может быть изучение РДО во время однократного сеанса СИ или сразу после него, по аналогии с исследованием зрительно-моторных реакции во время параболического полета [20], а также применение более когнитивно нагруженных вариантов РДО, таких как, например, “предиктивный двигательный тест” (ПДТ) (*predictive motion task, PMT*). В ПДТ требуется нажать кнопку в тот момент, когда два движущихся в поле зрения объекта столкнутся в закрытой для наблюдения в области [32], т. е. требуется предсказать коллизию объектов “вслепую” на основе экстраполяции их скорости. В тестах типа ПДТ в большей степени задействованы память и оценка времени, так как испытуемый должен создать модель движения объектов и

максимально правильно предсказать их столкновение. ПДТ является, таким образом, более сложным тестом по сравнению с РДО. Также в настоящем исследовании скорость движения объекта к точке перехвата была небольшой ( $180^\circ/\text{с}$ ). В будущих исследованиях для выявления эффекта курса СИ на РДО можно применить большую скорость нарастания фронта сектора, так как эффективность перехвата в РДО существенно зависит от скорости движения объекта [33].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, у лиц с БП курс наземной микрогравитации, с моделированным при помощи семи 45-минутных сеансов СИ, не оказал статистически значимого влияния на точность перехвата цели, частоту и время запаздывания и опережения реакции во время теста РДО. Возможным объяснением такого результата могут быть: 1) строгий клинический отбор лиц с БП в исследование с применением СИ и, соответственно, их более хорошее неврологическое состояние по сравнению с модельной группой испытуемых с БП, 2) недостаточная сложность самого задания РДО и 3) сохранность реактивности на динамические стимулы у лиц с БП по сравнению со стационарными стимулами, 4) устойчивость реакций типа РДО к антипаркинсонической терапии.

**Финансирование работы.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема № 0752-2020-0007).

**Соблюдение этических стандартов.** Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным биоэтическим комитетом — объединенным Этическим комитетом Петрозаводского государственного университета (Петрозаводск) и МЗ Республики Карелия (Петрозаводск), протокол № 31 от 18.12.2014 г.

Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность добровольцам-испытуемым, которые согласились участвовать в исследовании.

**Вклад авторов в публикацию.** О.Г. Третьякова — проведение исследований, извлечение первичных данных, подготовка рукописи. А.Ю. Мейгал — создание концепции, руководство исследованиями, планирование и проведение исследований,

статистический анализ, подготовка рукописи. Л.И. Герасимова-Мейгал — планирование и проведение исследований, статистический анализ, подготовка рукописи, подготовка рисунка. М.М. Буркин — неврологическое и психологическое обследование испытуемых, определение соответствия критериям включения и невключения, обсуждение результатов, подготовка рукописи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Rodriguez-Oroz M.C., Jahanshahi M., Krack P. et al.* Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: Features and pathophysiological mechanisms // *Lancet Neurol.* 2009. V. 8. № 12. P. 1128.
2. *Yabe Y., Goodale M.A., MacDonald P.A.* Investigating the perceived timing of sensory events triggering actions in patients with Parkinson's disease and the effects of dopaminergic therapy // *Cortex.* 2019. V. 115. P. 309.
3. *Vlagma T.T., Koerts J., Tucha O. et al.* Mental slowness in patients with Parkinson's disease: Associations with cognitive functions? // *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 2016. V. 38. № 8. P. 844.
4. *de Dieuleveult A.L., Siemonsma P.C., van Erp J.B., Brouwer A.M.* Effects of aging in multisensory integration: A systematic review // *Front. Aging Neurosci.* 2017. V. 9. P. 80.
5. *Woods D.L., Wyma J.M., Yund E.W. et al.* Factors influencing the latency of simple reaction time // *Front. Hum. Neurosci.* 2015. V. 9. P. 131.
6. *Woods D.L., Wyma J.M., Yund E.W. et al.* Age-related slowing of response selection and production in a visual choice reaction time task // *Front. Hum. Neurosci.* 2015. V. 9. P. 193.
7. *Block R.A., Gruber R.P.* Time perception, attention, and memory: a selective review // *Acta. Psychol.* 2014. V. 149. P. 129.
8. *Arthur T., Vine S., Wilson M., Harris D.* The role of prediction and visual tracking strategies during manual interception: An exploration of individual differences // *J. Vis.* 2024. V. 24. № 6. P. 4.
9. *Fookan J., Patel P., Jones C.B. et al.* Preservation of eye movements in Parkinson's disease is stimulus- and task-specific // *J. Neurosci.* 2022. V. 42. № 3. P. 487.
10. *Jones C.R., Jahanshahi M.* Motor and perceptual timing in Parkinson's disease // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2014. V. 829. P. 265.
11. *Merchant H., Zarco W., Prado L., Pérez O.* Behavioral and neurophysiological aspects of target interception // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2009. V. 629. P. 201.
12. *Lungu O.V., Bares M., Liu T. et al.* Trial-to-trial adaptation: parsing out the roles of cerebellum and BG in predictive motor timing // *J. Cogn. Neurosci.* 2016. V. 28. № 7. P. 920.
13. *Tresilian J.R.* The accuracy of interceptive action in time and space // *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2004. V. 32. № 4. P. 167.
14. *Li Y., Wang Y., Cui H.* Eye-hand coordination during flexible manual interception of an abruptly appearing, moving target // *J. Neurophysiol.* 2018. V. 119. № 1. P. 221.
15. *Majsak M.J., Kaminski T., Gentile A.M., Flanagan J.R.* The reaching movements of patients with Parkinson's disease under self-determined maximal speed and visually cued conditions // *Brain.* 1998. V. 121. Pt. 4. P. 755.
16. *Fukushima K., Ito N., Barnes G.R. et al.* Impaired smooth pursuit in Parkinson's disease: normal cue information memory, but dysfunction of extraretinal mechanisms for pursuit preparation and execution // *Physiol. Rep.* 2015. V. 3. № 3. P. e12361.
17. *Fukushima K., Fukushima J., Barnes G.R.* Clinical application of eye movement tasks as an aid to understanding Parkinson's disease pathophysiology // *Exp. Brain Res.* 2017. V. 235. № 5. P. 1309.
18. *Melo-Thomas L., Schwarting R.K.W.* Paradoxical kinesthesia may no longer be a paradox waiting for 100 years to be unraveled // *Rev. Neurosci.* 2023. V. 34. № 7. P. 775.
19. *Zago M., Lacquaniti F.* Visual perception and interception of falling objects: a review of evidence for an internal model of gravity // *J. Neural. Eng.* 2005. V. 2. № 3. P. S198.
20. *Wollseiffen P., Klein T., Vogt T. et al.* Neurocognitive performance is enhanced during short periods of microgravity — Part 2 // *Physiol. Behav.* 2019. V. 207. P. 48.
21. *Kuldavletova O., Navarro Morales D.C., Quarck G. et al.* Spaceflight alters reaction time and duration judgment of astronauts // *Front. Physiol.* 2023. V. 14. P. 1141078.
22. *Meigal A.Y., Tretjakova O.G., Gerasimova-Meigal L.I., Sayenko I.V.* Program of seven 45-min dry immersion sessions improves choice reaction time in Parkinson's disease // *Front. Physiol.* 2021. V. 11. P. 621198.
23. *Tomilovskaya E.S., Kirenskaya A.V., Novototski-Vlasov V.Y., Kozlovskaya I.B.* Event-related EEG changes preceding saccadic eye movements before and after dry immersion // *J. Gravit. Physiol.* 2004. V. 11. № 2. P. P33.
24. *Meigal A.Y., Gerasimova-Meigal L.I., Saenko I.V., Subbotina N.S.* "Dry Immersion" as a novel physical therapeutic intervention for rehabilitation of Parkinson's disease patients: A feasibility study // *Phys. Med. Rehab. Kuror.* 2018. V. 28. № 5. P. 275.
25. *Schade S., Mollenhauer B., Trenkwalder C.* Levodopa equivalent dose conversion factors: an updated proposal including opicapone and safinamide // *Mov. Disord. Clin. Pract.* 2020. V. 7. № 3. P. 343.

26. *Бабанов Н.Д., Бирюкова Е.А., Джелдубаева Э.Р. и др.* Динамика параметров малоамплитудных движений рук при повторяющейся двигательной-когнитивной задаче // Росс. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2020. Т. 106. № 11. С. 1370.
27. *Waldthaler J., Stock L., Student J. et al.* Antisaccades in Parkinson's disease: A meta-analysis // *Neuropsychol. Rev.* 2021. V. 31. № 4. P. 628.
28. *Shaikh A.G., Antoniadis C., Fitzgerald J., Ghasia F.F.* Effects of deep brain stimulation on eye movements and vestibular function // *Front. Neurol.* 2018. V. 9. P. 444.
29. *Gerasimova-Meigal L., Meigal A., Sireneva N., Saenko I.* Autonomic function in Parkinson's disease subjects across repeated short-term dry immersion: evidence from linear and non-linear HRV parameters // *Front. Physiol.* 2021. V. 12. P. 712365.
30. *Amirova L., Navasiolava N., Rukavishnikov I. et al.* Cardiovascular system under simulated weightlessness: Head-down bed rest vs. dry immersion // *Front. Physiol.* 2020. V. 11. P. 395.
31. *Corvol J.C., Artaud F., Cormier-Dequaire F. et al.* Longitudinal analysis of impulse control disorders in Parkinson disease // *Neurology.* 2018. V. 91. № 3. P. e189.
32. *Zheng R., Maraj B.K.V.* The effect of concurrent hand movement on estimated time to contact in a prediction motion task // *Exp. Brain Res.* 2018. V. 236. № 7. P. 1953.
33. *Dubrowski A., Lam J., Carnahan H.* Target velocity effects on manual interception kinematics // *Acta Psychol. (Amst).* 2000. V. 104. № 1. P. 103.
- visual choice reaction time task // *Front. Hum. Neurosci.* 2015. V. 9. P. 193.
7. *Block R.A., Gruber R.P.* Time perception, attention, and memory: a selective review // *Acta. Psychol.* 2014. V. 149. P. 129.
8. *Arthur T., Vine S., Wilson M., Harris D.* The role of prediction and visual tracking strategies during manual interception: An exploration of individual differences // *J. Vis.* 2024. V. 24. № 6. P. 4.
9. *Fookan J., Patel P., Jones C.B. et al.* Preservation of eye movements in Parkinson's disease is stimulus- and task-specific // *J. Neurosci.* 2022. V. 42. № 3. P. 487.
10. *Jones C.R., Jahanshahi M.* Motor and perceptual timing in Parkinson's disease // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2014. V. 829. P. 265.
11. *Merchant H., Zarco W., Prado L., Pérez O.* Behavioral and neurophysiological aspects of target interception // *Adv. Exp. Med. Biol.* 2009. V. 629. P. 201.
12. *Lungu O.V., Bares M., Liu T. et al.* Trial-to-trial adaptation: parsing out the roles of cerebellum and BG in predictive motor timing // *J. Cogn. Neurosci.* 2016. V. 28. № 7. P. 920.
13. *Tresilian J.R.* The accuracy of interceptive action in time and space // *Exerc. Sport Sci. Rev.* 2004. V. 32. № 4. P. 167.
14. *Li Y., Wang Y., Cui H.* Eye-hand coordination during flexible manual interception of an abruptly appearing, moving target // *J. Neurophysiol.* 2018. V. 119. № 1. P. 221.
15. *Majsak M.J., Kaminski T., Gentile A.M., Flanagan J.R.* The reaching movements of patients with Parkinson's disease under self-determined maximal speed and visually cued conditions // *Brain.* 1998. V. 121. Pt. 4. P. 755.

## REFERENCES

1. *Rodriguez-Oroz M.C., Jahanshahi M., Krack P. et al.* Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: features and pathophysiological mechanisms // *Lancet Neurol.* 2009. V. 8. № 12. P. 1128.
2. *Yabe Y., Goodale M.A., MacDonald P.A.* Investigating the perceived timing of sensory events triggering actions in patients with Parkinson's disease and the effects of dopaminergic therapy // *Cortex.* 2019. V. 115. P. 309.
3. *Vlaspolder T.T., Koerts J., Tucha O. et al.* Mental slowness in patients with Parkinson's disease: Associations with cognitive functions? // *J. Clin. Exp. Neuropsychol.* 2016. V. 38. № 8. P. 844.
4. *de Dieuleveult A.L., Siemonsma P.C., van Erp J.B., Brouwer A.M.* Effects of aging in multisensory integration: A systematic review // *Front. Aging Neurosci.* 2017. V. 9. P. 80.
5. *Woods D.L., Wyma J.M., Yund E.W. et al.* Factors influencing the latency of simple reaction time // *Front. Hum. Neurosci.* 2015. V. 9. P. 131.
6. *Woods D.L., Wyma J.M., Yund E.W. et al.* Age-related slowing of response selection and production in a
16. *Fukushima K., Ito N., Barnes G.R. et al.* Impaired smooth pursuit in Parkinson's disease: normal cue information memory, but dysfunction of extraretinal mechanisms for pursuit preparation and execution // *Physiol. Rep.* 2015. V. 3. № 3. P. e12361.
17. *Fukushima K., Fukushima J., Barnes G.R.* Clinical application of eye movement tasks as an aid to understanding Parkinson's disease pathophysiology // *Exp. Brain Res.* 2017. V. 235. № 5. P. 1309.
18. *Melo-Thomas L., Schwarting R.K.W.* Paradoxical kinaesthesia may no longer be a paradox waiting for 100 years to be unraveled // *Rev. Neurosci.* 2023. V. 34. № 7. P. 775.
19. *Zago M., Lacquaniti F.* Visual perception and interception of falling objects: A review of evidence for an internal model of gravity // *J. Neural. Eng.* 2005. V. 2. № 3. P. S198.
20. *Wollseiffen P., Klein T., Vogt T. et al.* Neurocognitive performance is enhanced during short periods of microgravity – Part 2 // *Physiol. Behav.* 2019. V. 207. P. 48.



21. *Kuldavletova O., Navarro Morales D.C., Quarek G. et al.* Spaceflight alters reaction time and duration judgment of astronauts // *Front. Physiol.* 2023. V. 14. P. 1141078.
22. *Meigal A.Y., Tretjakova O.G., Gerasimova-Meigal L.I., Sayenko I.V.* Program of seven 45-min dry immersion sessions improves choice reaction time in Parkinson's disease // *Front. Physiol.* 2021. V. 11. P. 621198.
23. *Tomilovskaya E.S., Kirenskaya A.V., Novototski-Vlasov V.Y., Kozlovskaya I.B.* Event-related EEG changes preceding saccadic eye movements before and after dry immersion // *J. Gravit. Physiol.* 2004. V. 11. № 2. P. P33.
24. *Meigal A.Y., Gerasimova-Meigal L.I., Saenko I.V., Subbotina N.S.* "Dry Immersion" as a novel physical therapeutic intervention for rehabilitation of Parkinson's disease patients: A feasibility study // *Phys. Med. Rehab. Kuror.* 2018. V. 28. № 5. P. 275.
25. *Schade S., Mollenhauer B., Trenkwalder C.* Levodopa equivalent dose conversion factors: An updated proposal including opicapone and safinamide // *Mov. Disord. Clin. Pract.* 2020. V. 7. № 3. P. 343.
26. *Babanov N.D., Biryukova E.A., Dzheldubaeva E.R. et al.* Dynamics of parameters of low-amplitude hand movements in a repetitive motor-cognitive task // *Neurosci. Behav. Physiol.* 2021. V. 51. № 6. P. 774.
27. *Waldthaler J., Stock L., Student J. et al.* Antisaccades in Parkinson's disease: A meta-analysis // *Neuropsychol. Rev.* 2021. V. 31. № 4. P. 628.
28. *Shaikh A.G., Antoniadis C., Fitzgerald J., Ghasia F.F.* Effects of deep brain stimulation on eye movements and vestibular function // *Front. Neurol.* 2018. V. 9. P. 444.
29. *Gerasimova-Meigal L., Meigal A., Sireneva N., Saenko I.* Autonomic function in Parkinson's disease subjects across repeated short-term dry immersion: Evidence from linear and non-linear HRV parameters // *Front. Physiol.* 2021. V. 12. P. 712365.
30. *Amirova L., Navasiolava N., Rukavishnikov I. et al.* Cardiovascular system under simulated weightlessness: Head-down bed rest vs. dry immersion // *Front. Physiol.* 2020. V. 11. P. 395.
31. *Corvol J.C., Artaud F., Cormier-Dequaire F. et al.* Longitudinal analysis of impulse control disorders in Parkinson disease // *Neurology.* 2018. V. 91. № 3. P. e189.
32. *Zheng R., Maraj B.K.V.* The effect of concurrent hand movement on estimated time to contact in a prediction motion task // *Exp. Brain Res.* 2018. V. 236. № 7. P. 1953.
33. *Dubrowski A., Lam J., Carnahan H.* Target velocity effects on manual interception kinematics // *Acta Psychol. (Amst).* 2000. V. 104. № 1. P. 103.

## Manual Interception of Moving Target in Persons with Parkinson's Disease after a Course of Dry Immersion Sessions

O. G. Tretjakova, A. Yu. Meigal\*, L. I. Gerasimova-Meigal, M. M. Burkin

*Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia*

*\*E-mail: meigal@petsu.ru*

This study assessed the effect of a course of ground-based microgravity modeled with seven 45-minute dry immersion (DI) sessions in individuals with Parkinson's disease (PD) ( $n = 10$ ) on the performance of the task of manual interception of moving target. The proportion of accurate target interceptions, delay and advance in interception, average time of delay and advance were assessed. It was found that, in contrast to the choice reaction time and discrimination reaction time tasks, the DI course exerted no effect on the interception accuracy (the percentage of accurate interceptions ranged from 48% before the DI course to 54% two weeks after it,  $p > 0.05$ , Friedman test), the percentage of delays and leads and the mean time of delays and leads ( $p > 0.05$ , Friedman test). A possible explanation for such result may be the better clinical condition of individuals with PD due to strict inclusion criteria in the study, insufficient complexity of the manual interception task of a moving target, and preserved reactivity to dynamic stimuli in people with PD.

*Keywords:* manual interception of moving target, microgravity, Parkinson's disease, dry immersion.