ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2020, том 46, № 6, с. 108–120

УДК 612.821

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ОБЪЕКТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ЗРИТЕЛЬНУЮ ОБРАТНУЮ СВЯЗЬ, НА ПОДДЕРЖАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ ЧЕЛОВЕКА

© 2020 г. Б. Н. Сметанин[1, *], Ю. С. Левик[1], Г. В. Кожина[1], А. К. Попов[1]

[1]ФГБУН Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

**E-mail: boris_smetanin@hotmail.com*

Поступила в редакцию 11.03.2020 г.
После доработки 22.03.2020 г.
Принята к публикации 20.06.2020 г.

Среди информации, формирующей представление человека о положении своего тела в пространстве, важную роль играют зрительные сигналы о структуре и размерах видимых объектов окружающего мира. Цель исследования – выяснить, каким образом изменение размеров объекта в поле зрения влияет на устойчивость стояния у здоровых людей. Испытуемые стояли в стерео очках и маске, ограничивающей поле зрения, в затемненной комнате перед экраном (*silver screen*, 2 × 1.5 м), на который проецировалось трехмерное изображение шара, окрашенного в темно-серый цвет. В этих условиях они видели только виртуальное трехмерное изображение шара. Использовали четыре размера шара с диаметрами 8.75, 17.5, 35 и 70 см. Шары с этими размерами покрывали поля зрения в 4.5, 9, 18 и 36 град, соответственно. В контроле шар был неподвижен, а в тестовых условиях смещения шара в переднезаднем и боковом направлениях были синфазно или противофазно связаны с колебаниями центра тяжести (ЦТ) тела. Амплитуда колебаний шара в 2 раза превышала амплитуду колебаний ЦТ. Испытуемые выполняли 36 проб по 40 с каждая, во время которых они спокойно стояли на стабилографе и смотрели на шар. Все пробы разбивались на 4 блока, каждый из которых включал в себя три контрольные пробы с неподвижным шаром и шесть проб, в которых движение шара было привязано противофазно, либо синфазно к колебаниям ЦТ тела. Пробы производились с интервалом в 1 мин. В каждом блоке проб шар имел один и тот же размер. После каждого блока испытуемый отдыхал сидя в течение 4–5 мин. Блоки проб с шарами разной величины чередовались в случайном порядке. Оценивали амплитудно-частотные характеристики двух элементарных переменных, вычислявшихся из траекторий центра давления стоп (ЦД) в переднезаднем и боковом направлениях: траектории проекции ЦТ тела на опору (переменная ЦТ) и разности между траекториями ЦД и ЦТ (переменная ЦД–ЦТ). В тестовых условиях смещения шара дестабилизировали вертикальную позу. С увеличением размеров шара дестабилизация усиливалась. Ухудшение качества стояния происходило за счет изменений как амплитудных, так и частотных характеристик переменных ЦТ и ЦД–ЦТ. Увеличение размеров неподвижного шара в контроле вызывало противоположный эффект: колебания тела уменьшались. Изменения в устойчивости вертикальной позы при увеличении размеров шара могут быть связаны с особенностями использования зрительной информации, поступающей из центрального и периферического полей зрения.

Ключевые слова: вертикальная поза, зрительная дестабилизация, виртуальная зрительная среда, сенсомоторный конфликт, стабилография.

DOI: 10.31857/S0131164620060107

В реальных условиях поддержание вертикальной позы человека происходит в условиях непрерывного взаимодействия с внешней средой. Успех такого взаимодействия напрямую связан как с точностью внутреннего представления о положении собственного тела в пространстве, так и с точностью оценки структуры, размеров и движений видимых объектов внешнего мира [1]. В последнем случае решающее значение имеет информация, поступающая от зрительного входа. Считается, что различные части видимого поля зрения по-разному обрабатываются в зрительной коре [2]. Выделяют разные части зрительного поля: центральное (фовеальное) и периферическое [3]. Кроме того, выделяют левые и правые, верхние и нижние поля зрения [2, 4, 5].

Что касается деления зрительного поля на центральное и периферическое, то здесь довольно четкая морфологическая основа: плотность распределения колбочек сетчатки уменьшается

по мере увеличения расстояния от центральной ямки (*fovea centralis*) [3, 6]. Показано также, что имеются различия между кортикальными путями, которые исходят из этих областей сетчатки. В частности, клетки центрального поля сетчатки проецируются преимущественно в парвоцеллюлярный путь и вентральный поток, в то время как зрительные клетки периферической области сетчатки, формирующие более крупные рецептивные поля и обладающие особой чувствительностью к восприятию движений видимых объектов, обслуживаются дорсальным потоком [7]. Есть основание считать, что различие между центральным и периферическим зрением отражается и в мозговых структурах [8]. Показано, что дорсальные зрительные области мозга получают относительно больше проекций от периферических зрительных полей, в то время как вентральные зрительные области более плотно связаны с обработкой информации, поступающей от центральных зрительных полей [9, 10].

Таким образом, можно предположить, что периферия зрительного поля играет важную роль в ориентации и поддержании позы живого организма в пространстве, поскольку она воспринимает так называемый зрительный поток, возникающий в ответ на перемещения всего тела, в то время как центральное зрение настроено на детальное восприятие небольших видимых объектов. Из этого также следует, что изменение размеров видимых объектов, находящихся в поле зрения человека, активируя различные по площади участки периферического зрительного поля, может существенно отражаться на движениях и поддержании позы, как у животных, так и у людей.

Цель исследования – выяснить, каким образом изменение размеров наблюдаемого объекта, находящегося в поле зрения здорового человека, влияет на поддержание вертикальной позы.

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 16 здоровых испытуемых – 8 мужчин (средний возраст 64.3 ± 7.6 г.) и 8 женщин (67.0 ± 4.8 г.), согласно данным опроса, ранее не переносили неврологических заболеваний и заболеваний вестибулярной и мышечной систем. В процессе проведения исследования испытуемые стояли в удобной обуви на квадратной платформе стабилографа Стабилан-01-2 (ЗАО ОКБ “РИТМ”, Россия), с помощью которого регистрировали изменения положения центра давления стоп (ЦД) на опору. Стопы испытуемых находились в удобном положении, при этом пятки были расставлены на расстояние 6–10, а носки – на 18–22 см.

При поддержании вертикальной позы испытуемые смотрели на экран (высота 1.5 м и ширина 2 м), изготовленный из ткани, которая в минимальной степени деполяризует падающий на нее свет (*silvers creen*). На экране, с помощью так называемого пассивного способа [11], формировали трехмерное стереоизображение шара. Для этого на экран с двух проекторов (*Sharp XR-10X*, Япония), снабженных поляризационными фильтрами, ориентированными ортогонально относительно друг друга, одновременно проецировали два изображения одного и того же шара. Испытуемые и проекторы находились по одну сторону от экрана. На испытуемых надевали очки с поляризационными фильтрами *3DS-GS* (Панорама) (“*Stel – Computer Systems Ltd.*”, Россия, частота чередований 120 Гц), ориентированными параллельно соответствующим фильтрам проекторов, что обеспечивало трехмерное восприятие виртуальной зрительной среды (ВЗС). Поле зрения испытуемых было ограничено очками, составляя примерно 60° по вертикали и 80° по горизонтали, и не выходило за пределы экрана. Испытуемые стояли в затемненной комнате и видели только виртуальное трехмерное изображение шара, окрашенного в темно-серый цвет. Собственных средств коррекции зрения (контактных линз или очков) испытуемые во время опыта не носили, на них были только упомянутые выше поляризационные очки.

Использовали четыре размера шара с диаметрами 8.75, 17.5, 35 и 70 см. Шары с этими размерами покрывали поля зрения в 4.5, 9, 18 и 36 град, соответственно. В контроле видимый шар был неподвижен (неподвижное зрительное окружение, НЗО), а в тестовых условиях непрерывно смещался, поскольку был связан синфазно или противофазно (СФ и ПФ) с колебаниями центра тяжести тела (ЦТ) в переднезаднем и боковом направлениях. С этой целью положение шара в боковом и переднезаднем направлениях делали зависимым от низкочастотных (менее 1 Гц) колебаний центра давления стоп в соответствующих плоскостях. Такая привязка приводила к тому, что смещения шара происходили практически одновременно (задержка 25 мс) с колебаниями тела. Коэффициент связи был подобран так, что амплитуда колебаний шара (движение вправо-влево и приближение удаление) в 2 раза превышала амплитуду колебаний ЦТ. Коэффициент 2 был взят для того, чтобы изменения виртуального шара при колебаниях тела были более заметны. Кроме того, такой коэффициент использовался в наших предыдущих работах, что было важно с точки зрения сравнения полученных результатов. Испытуемые выполняли 36 проб по 40 с каждая, во время которых им предписывалось спокойно стоять на стабилографе и смотреть на шар. Все пробы разбивали на 4 блока, каждый из которых включал в себя три контрольные пробы с неподвижным шаром и шесть проб, в которых движе-

ние шара было привязано противофазно либо синфазно к колебаниям ЦТ тела. Пробы производили с интервалом в 1 мин. В каждом блоке проб шар имел один и тот же размер. После каждого блока испытуемый отдыхал сидя в течение 4–5 мин. Блоки проб с шарами разной величины чередовали в случайном порядке. Оценивали амплитудно-частотные характеристики двух элементарных переменных, вычислявшихся из траекторий центра давления стоп (ЦД) в переднезаднем и боковом направлениях: траектории проекции ЦТ тела на опору (переменная ЦТ) и разности между траекториями ЦД и ЦТ (переменная ЦД–ЦТ).

Анализ колебаний тела. Траекторию центра давления стоп (ЦД), полученную с помощью датчиков давления стабилографа, конвертировали из аналоговой в цифровую форму с частотой оцифровки в 50 Гц и затем регистрировали на персональном компьютере. При последующем анализе ее раскладывали как сумму двух функций времени вдоль каждой (боковой и переднезадней) из осей. Оценку поддержания вертикальной позы производили, анализируя изменения амплитудно-частотных характеристик двух элементарных переменных, вычисляемых из перемещений ЦД на опоре. Одной из них была траектория вертикальной проекции центра тяжести (переменная ЦТ), а второй разность между траекториями ЦД и ЦТ (переменная ЦД–ЦТ). Для их вычисления использовали подход, предложенный в работе [12] и подробно описанный и использованный в целом ряде работ [например, 13–15]. В связи с этим, далее будут приведены только основные его положения.

Метод вычисления указанных элементарных переменных базируется на том, что имеется четкая зависимость изменений амплитуды колебаний ЦТ и ЦДС от частоты колебаний. В частности, показано [12, 16], что отношение амплитуд этих переменных (ЦТ/ЦД) наибольшее, приближающееся к 1.0, при минимальных частотах колебаний (близких к 0.0 Гц) и наименьшее, приближающееся к 0.0, при максимальных частотах (больше 3 Гц). Из этого можно заключить, что относительно высокочастотные колебания ЦДС не влияют на величину колебаний ЦТ. Действительно, в цитируемых работах экспериментально было показано, что фактически колебания ЦД с частотами больше 0.5 Гц практически не отражаются на величине колебаний ЦТ. Исходя из такого понимания, для получения элементарных переменных мы использовали метод фильтрации низких частот, выражающий отношение амплитуды колебаний ЦТ и ЦД и отражающий связь частоты колебаний ЦД с перемещениями тела [12, 16]. В дальнейшем в ходе анализа результатов тестирования перемещения ЦТ рассматривали как контролируемую переменную, а разность ЦД–ЦТ – как переменную, связанную с ускорением тела и отражающую изменения результирующей мышечной жесткости в голеностопных суставах [13, 14, 17, 18].

Программа частотной фильтрации колебаний ЦД с целью выделения из нее переменных ЦТ и ЦД–ЦТ и последующего вычисления на их основе *MF* и *RMS* спектров колебаний была написана в среде *Matlab*.

Оценку влияния разных размеров шара в контрольных и тестовых условиях на поддержание вертикальной позы производили, анализируя изменения медианной частоты (*MF*) и среднеквадратического значения (*RMS*) амплитудных спектров исследуемых переменных в диапазонах 0–0.5 Гц для переменной ЦТ и 0–3.0 Гц для переменной ЦД–ЦТ. С этой целью сравнивали средние величины *MF* и *RMS* спектров, полученные при разных размерах шара в контрольных и тестовых пробах.

Статистическая обработка. Влияние фактора “условия зрительного контроля” (НЗО, ПФ и СФ) на позные реакции выявляли с помощью дисперсионного анализа (*ANOVA*). В ходе статистического анализа определяли также достоверность различий *RMS* и *MF* спектров при сравнении данных, полученных в контрольных и тестовых условиях при каждом размере шара (8.75, 17.5, 35 и 70 см), с применением “парного двухвыборочного *t*-теста для средних”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ RMS и MF спектров колебаний исследуемых переменных, вычисленных из колебаний ЦД в переднезаднем направлении. На рис. 1 представлены усредненные по всем испытуемым значения *RMS* амплитудных спектров для переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, вычисленные по результатам анализа поддержания вертикальной позы в условиях, когда видимое трехмерное изображение шара было неподвижным и когда оно смещалось из-за присутствия синфазной или противофазной связи между положением шара и колебаниями тела. Результаты дисперсионного анализа показали наличие глобального влияния фактора “условия зрительного контроля: НЗО, ПФ и СФ” на величину *RMS* спектров исследуемых переменных (для ЦТ – $F_{2,\ 203} = 9.74$, $p < 0.00009$; для ЦД–ЦТ – $F_{2,\ 203} = 8.72$, $p < 0.00023$).

Из рис. 1 видно, что значения *RMS* амплитудных спектров обеих переменных в условии НЗО были примерно одинаковыми при небольших размерах шара (8.75 и 17.5 см). Статистический анализ с применением парного двухвыборочного *t*-теста для средних не выявил значимых различий между ними ($t_{16} = -0.310$, $p > 0.380$; $t_{16} = -0.115$, $p > 0.455$; соответственно для переменных ЦТ и

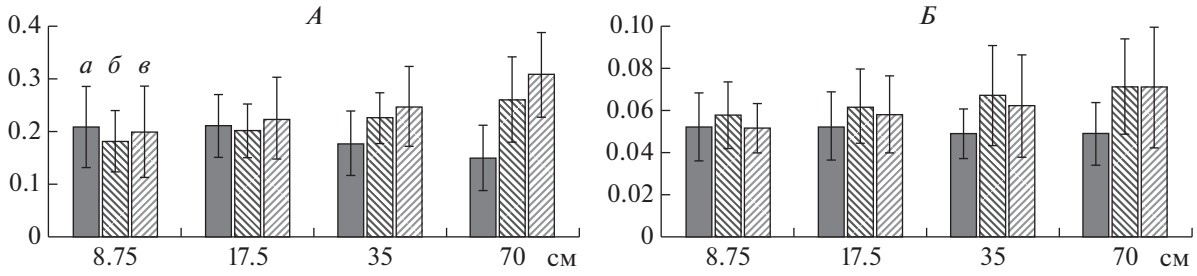

Рис. 1. *RMS* (мм) спектров переменных ЦТ (*А*) и ЦД–ЦТ (*Б*) и их стандартные ошибки при контрольных пробах (*а* – неподвижное зрительное окружение, НЗО) и при тестовых пробах во время противофазной (*б*) и синфазной связях (*в*) положения шара с колебаниями тела.
По оси абсцисс – размеры шара на экране в сантиметрах, см.

ЦДС–ЦТ). С увеличением размера шара в контрольных пробах величина колебаний вертикальной позы в этом зрительном условии существенно уменьшалась, о чем свидетельствуют значения *RMS* спектров обеих переменных (табл. 1).

В условиях синфазной и противофазной связи (тестовые пробы) наблюдался противоположный характер изменений переменных ЦТ и ЦД–ЦТ в ответ на увеличение в пробах размера шара до 35 и 70 см: *RMS* амплитудных спектров обеих переменных значительно возрастали, становясь статистически значимыми (табл. 1).

Из рис. 1 также видно, *RMS* амплитудных спектров переменной ЦТ в условии СФ имели несколько большие значения при каждом размере шара, чем *RMS* спектров этой переменной в условии ПФ. Эти различия подтвердились при проведении дисперсионного анализа, который выявил наличие глобальной разницы между влияниями условий ПФ и СФ связей на *RMS* спектров переменной ЦТ ($F_{1,\ 135} = 4.065$, $p < 0.0458$). Несмотря на видимые различия в изменении значений *RMS* спектров переменной ЦД–ЦТ в условиях ПФ и СФ, дисперсионный анализ не выявил наличия глобальной разницы во влиянии этих зрительных условий на эту переменную ($F_{1,\ 135} = 0.983$, $p < 0.323$).

В табл. 2 представлены результаты попарного сравнения влияний разных зрительных условий на *RMS* спектров исследуемых переменных, по-

Таблица 1. Результаты оценки достоверности изменений *RMS* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, вычисленных при увеличении размера шара относительно минимального (8.75 см) в трех зрительных условиях

ЦТ				ЦД–ЦТ			
НЗО 8.75	НЗО 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.2082	0.2115	–0.3101	0.3803	0.0519	0.0521	–0.115	0.4551
НЗО 8.75	НЗО 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.2082	0.1772	3.904	0.0006	0.0519	0.0487	1.195	0.1247
НЗО 8.75	НЗО 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.2082	0.1500	6.060	8.26E-06	0.0519	0.0488	1.947	0.0346
ПФ 8.75	ПФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1810	0.2013	–1.743	0.0520	0.0575	0.0616	–1.238	0.1168
ПФ 8.75	ПФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1810	0.2265	–2.627	0.0092	0.0575	0.0670	–2.281	0.0183
ПФ 8.75	ПФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1810	0.0260	–4.183	0.0004	0.0575	0.0708	–3.007	0.0042
СФ 8.75	СФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1988	0.2248	–1.432	0.0857	0.0514	0.0578	–2.2101	0.0210
СФ 8.75	СФ 35	*t*-статист	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1988	0.2478	–2.762	0.0069	0.0514	0.0621	–2.0885	0.0265
СФ 8.75	СФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1988	0.3080	–5.266	0.00004	0.0514	0.0706	–2.9996	0.0042

Таблица 2. Результаты оценки достоверности различий, полученные при попарном сравнении *RMS* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ для разных зрительных условий и размеров шара

ЦТ					ЦД–ЦТ				
размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.2082	0.1810	2.1540	0.0234	8.75	0.0519	0.0575	–2.1726	0.0226
17.5	0.2115	0.2013	0.8218	0.2116	17.5	0.0521	0.0616	–3.4078	0.0018
35	0.1772	0.2265	–2.5041	0.0117	35	0.0487	0.0670	–3.4777	0.0016
70	0.1500	0.2600	–5.3270	0.000034	70	0.0488	0.0708	–4.7330	0.0001
размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.2082	0.1988	0.6131	0.2742	8.75	0.0519	0.0514	0.2397	0.4068
17.5	0.2115	0.2248	–0.8671	0.1993	17.5	0.0521	0.0578	–2.5313	0.0111
35	0.1772	0.2478	–4.5023	0.0002	35	0.0487	0.0621	–2.7633	0.0069
70	0.1500	0.3080	–8.0762	2.45E–07	70	0.0488	0.0706	–3.1132	0.0033
размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.1810	0.1988	–1.0691	0.1504	8.75	0.0575	0.0514	2.9213	0.0050
17.5	0.2013	0.2248	–1.7536	0.0493	17.5	0.0616	0.0578	1.6641	0.0578
35	0.2265	0.2478	–1.1002	0.1438	35	0.0670	0.0621	1.2460	0.1154
70	0.2600	0.3080	–3.1147	0.0033	70	0.0708	0.0706	0.0451	0.4823

лученные при анализе поддержания вертикальной позы в условиях наблюдения за шаром при его разных размерах.

Попарное сравнение значений *RMS* спектров обеих переменных, выполненное для зрительных условий НЗО и ПФ и условий НЗО и СФ, показало увеличение достоверности различий (значений *t*-теста для средних) в этих парах условий с увеличением размера шара. С другой стороны попарное сравнение *RMS* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, выполненное для зрительных условий СФ и ПФ, не выявило какой-либо четкой тенденции.

На рис. 2 представлены усредненные по всем испытуемым значения *MF* спектров для переменных ЦТ и ЦД–ЦТ. Результаты дисперсионного анализа показали наличие глобального влияния фактора “условия зрительного контроля: НЗО, ПФ и СФ” на медианные частоты исследованных спектров (для ЦТ – $F_{2,\ 191} = 16.4$, $p < 2.80\text{E-}07$; для ЦД–ЦТ – $F_{2,\ 191} = 8.29$, $p < 0.0004$).

Из рис. 2 видно, что вычисленные медианные частоты спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ в ответ на изменение размера шара менялись в ином, скорее противоположном направлении, по сравнению с изменениями значений *RMS* спектров. В частности, в контрольных пробах (зрительное условие НЗО) увеличение размера шара от минимального в 8.75 см до 35 и 70 см приводило к небольшому росту *MF* спектров переменной ЦТ

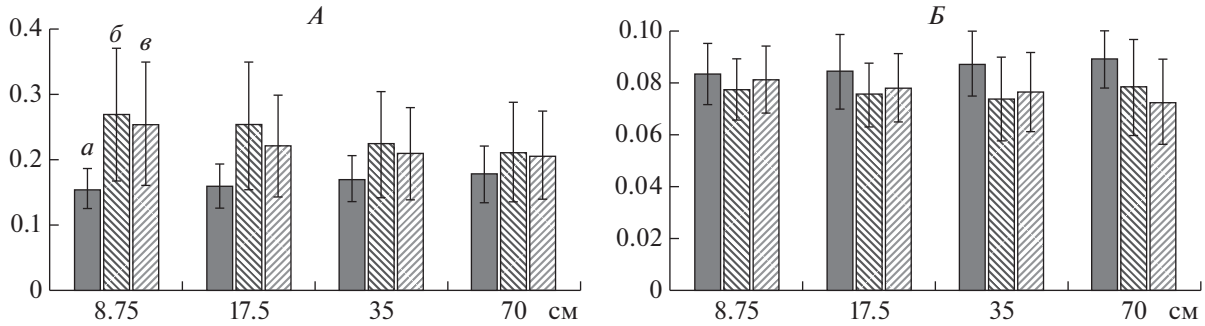

Рис. 2. *MF* (Гц) спектров переменных ЦТ (*А*) и ЦД–ЦТ (*Б*) и их стандартные ошибки, вычисленные из стабилограмм, полученных в контрольных пробах (*а* – неподвижное зрительное окружение) и в тестовых пробах во время противофазной (*б*) и синфазной связях (*в*) шара с колебаниями тела.
Ось абсцисс – см. рис. 1.

Таблица 3. Результаты оценки достоверности изменений *MF* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, выявленных при увеличении размера шара относительно минимального (8.75 см) в трех зрительных условиях

ЦТ											
НЗО 8.75	НЗО-17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО-35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО-70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.155	0.159	–0.522	0.305	0.155	0.169	–1.787	0.047	0.155	0.178	–2.390	0.0152
ПФ 8.75	ПФ-17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ-35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ-70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.2686	0.2522	1.226	0.1196	0.2686	0.2219	4.197	0.0004	0.269	0.2101	3.378	0.0021
СФ 8.75	СФ-17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ-35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ-70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.2537	0.2212	3.815	0.0008	0.2537	0.2102	5.035	0.0001	0.2537	0.2053	4.670	0.0002
ЦД–ЦТ											
НЗО 8.75	НЗО-17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО-35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО-70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.833	0.842	–0.343	0.368	0.833	0.873	–1.132	0.138	0.833	0.877	–1.959	0.034
ПФ 8.75	ПФ-17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ-35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ-70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.771	0.753	0.928	0.184	0.771	0.737	1.502	0.077	0.771	0.780	–0.236	0.408
СФ 8.75	СФ-17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ-35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ-70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.8100	0.7790	1.904	0.038	0.8100	0.7830	0.859	0.202	0.8100	0.7260	2.679	0.0103

Таблица 4. Попарное сравнение влияний разных зрительных условий на *MF* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ

ЦТ					ЦД–ЦТ				
размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.155	0.269	–4.523	0.0002	8.75	0.833	0.771	2.446	0.014
17.5	0.159	0.252	–4.129	0.0004	17.5	0.842	0.753	5.523	0.00003
35	0.169	0.222	–2.476	0.0128	35	0.873	0.737	3.824	0.0008
70	0.178	0.210	–1.532	0.0732	70	0.877	0.780	2.192	0.0223
размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.155	0.254	–5.004	0.00008	8.75	0.833	0.810	0.948	0.179
17.5	0.159	0.221	–3.642	0.0012	17.5	0.842	0.779	2.594	0.0102
35	0.169	0.210	–2.147	0.0243	35	0.873	0.783	2.244	0.020
70	0.178	0.205	–1.400	0.0909	70	0.877	0.726	4.284	0.0003
размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.269	0.254	1.371	0.095	8.75	0.771	0.810	–1.686	0.056
17.5	0.252	0.221	2.746	0.008	17.5	0.753	0.779	–1.127	0.139
35	0.222	0.210	1.626	0.0624	35	0.737	0.783	–2.110	0.026
70	0.210	0.205	0.463	0.325	70	0.780	0.726	2.099	0.027

($t_{16} = -1.787$, $p < 0.047$ и $t_{16} = -2.390$, $p < 0.0152$, соответственно) и *MF* спектров переменной ЦД–ЦТ ($t_{16} = -1.959$, $p < 0.0345$) при размере шара 70 см (табл. 3).

В тестовых же пробах (условия ПФ и СФ) увеличение размера шара вызывало, наоборот, отчетливо выраженное уменьшение значений *MF* спектров переменной ЦТ, при этом влияние на *MF* спектров переменной ЦД–ЦТ было менее выраженным (табл. 4).

Попарное сравнение *MF* спектров переменной ЦТ, выполненном для условий НЗО и ПФ и для условий НЗО и СФ, в отличие от *RMS* спектров, показало уменьшение статистически значимых различий между этими парами условий с увеличением размера шара. Попарное сравнение *MF* спектров переменной ЦД–ЦТ выявило, с одной стороны, достоверные различия значений *MF* спектров для пар условий (НЗО и ПФ) и (НЗО и СФ), а с другой отсутствие какой-либо тенденции в них. Сравнение значений *MF* спектров обеих переменных, выполненное для условий СФ и ПФ

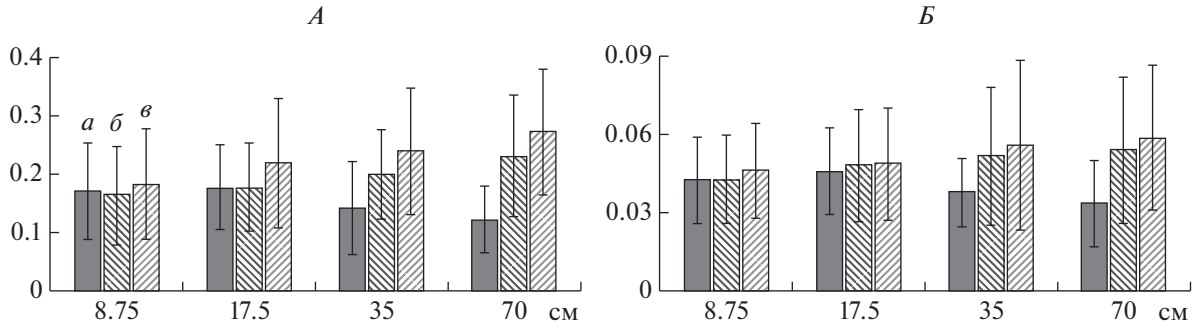

Рис. 3. *MS* (мм) спектров переменных ЦТ (*А*) и ЦД–ЦТ (*Б*) и их стандартные ошибки при контрольных пробах (*а* – неподвижное зрительное окружение, НЗО) и при тестовых пробах во время противофазной (*б*) и синфазной связях (*в*) смещений шара с колебаниями тела в боковом направлении.
Ось абсцисс – см. рис. 1.

также не выявило четкой (достоверной) зависимости от изменений размера шара.

Анализ RMS и MF спектров колебаний исследуемых переменных, вычисленных из колебаний ЦД в боковом направлении. На рис. 3 представлены усредненные по всем испытуемым значения *RMS* амплитудных спектров для переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, вычисленных по результатам анализа поддержания вертикальной позы в боковом направлении в условиях, когда видимое трехмерное изображение шара было неподвижным (НЗО) и когда оно смещалось из-за устанавливаемой синфазной (СФ) или противофазной (ПФ) связи между положением шара и колебаниями тела. Результаты дисперсионного анализа показали наличие глобального влияния фактора “условия зрительного контроля: НЗО, ПФ и СФ” на величину позных колебаний: для ЦТ – $F_{2, 191} = 9.52$, $p < 0.0001$; для ЦД–ЦТ – $F_{2, 191} = 4.85$, $p < 0.0088$.

Как видно из рис. 3, *RMS* амплитудных спектров обеих переменных в условии НЗО имеют, также как и при анализе переднезадних колебаний позы, близкие значения при небольших размерах шара (8.75 и 17.5 см). Статистический анализ с применением парного двухвыборочного *t*-теста для средних не выявил значимых различий между ними ($t_{16} = -0.799$, $p > 0.218$; $t_{16} = -0.395$, $p > 0.091$ соответственно для переменных ЦТ и ЦДС–ЦТ). С увеличением размера шара до 35 и 70 см в контрольных пробах величина колебаний вертикальной позы существенно уменьшалась, о чем свидетельствуют изменения значений *RMS* спектров обеих переменных (табл. 5).

В условиях синфазной и противофазной связи (тестовые пробы) наблюдался противоположный по сравнению с условиями НЗО характер изменений переменных ЦТ и ЦД–ЦТ: в ответ на увеличение в пробах размера шара до 35 и 70 см значения *RMS* спектров переменной ЦТ тоже увеличивались, становясь статистически значимыми. Изменение (увеличение) *RMS* спектров переменной ЦД–ЦТ было менее заметным, тем не менее, в условиях присутствия на экране шара диаметром 70 см оно тоже становилось статистически достоверным (табл. 5).

Попарное сравнение величин *RMS* спектров исследуемых переменных (табл. 6), выполненное для условий НЗО и ПФ и условий НЗО и СФ, показало нарастание разницы между значениями в парах с увеличением размера шара, что, как видно из табл. 6, соответственно отразилось на изменении величины критерия достоверности различий (*t-Test*).

Сравнение же значений *RMS* спектров переменных между условиями ПФ и СФ не выявило четких изменений в разнице их значений в парах (в сторону увеличения или уменьшения), связанной с размером шара.

На рис. 4 представлены усредненные по всем испытуемым значения *MF* спектров для переменных ЦТ и ЦД–ЦТ.

Из рис. 4 видно, что медианные частоты спектров обеих исследуемых переменных, вычисленных из боковых колебаний тела, в ответ на изменение размера шара менялись примерно также как и *MF* спектров колебаний тела переднезаднего направления. В частности, *MF* спектров переменной ЦТ в зрительном условии НЗО увеличивались с ростом размера, предъявлявшегося на экране шара (*ANOVA*: $F_{3, 63} = 4.86$, $p < 0.0043$; табл. 7). В то же время, *MF* спектров переменной ЦТ в зрительных условиях ПФ и СФ менялись противоположным образом: они уменьшались (*ANOVA*: $F_{3, 63} = 3.55$, $p < 0.0194$ для ПФ и $F_{3, 63} = 3.87$, $p < 0.0133$).

Дисперсионный анализ выявил наличие глобальных различий *MF* спектров переменной ЦД–ЦТ, вычисленных в трех зрительных условиях: $F_{2, 191} = 5.844$, $p < 0.0034$. Эти различия формировались за счет существенной разницы *MF* спектров переменной ЦД–ЦТ в условиях НЗО и ПФ

Таблица 5. Результаты оценки достоверности изменений *RMS* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, выявленных при увеличении размера шара относительно минимального (8.75 см) в трех зрительных условиях

ЦТ				ЦД–ЦТ			
НЗО 8.75	НЗО 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.169	0.176	–0.800	0.218	0.04213	0.04542	–1.3954	0.0916
НЗО 8.75	НЗО 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.169	0.142	1.972	0.034	0.0421	0.0375	2.056	0.0288
НЗО 8.75	НЗО 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	НЗО 8.75	НЗО 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.169	0.121	3.464	0.002	0.0421	0.0332	4.851	0.0001
ПФ 8.75	ПФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.1625	0.1760	–1.253	0.115	0.0424	0.0476	–1.243	0.116
ПФ 8.75	ПФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.163	0.197	–2.036	0.0299	0.0424	0.0514	–1.628	0.0622
ПФ 8.75	ПФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	ПФ 8.75	ПФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.163	0.229	–2.499	0.012	0.0424	0.0537	–1.886	0.039
СФ 8.75	СФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ 17.5	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.0180	0.211	–2.241	0.020	0.0458	0.0483	–0.824	0.211
СФ 8.75	СФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ 35	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.0180	0.024	–3.177	0.003	0.0458	0.0557	–1.582	0.0673
СФ 8.75	СФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	СФ 8.75	СФ 70	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.018	0.027	–3.219	0.003	0.0458	0.0583	–2.120	0.026

Таблица 6. Попарное сравнение влияний разных зрительных условий на *RMS* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, вычисленных из колебаний тела в боковом направлении

ЦТ					ЦД–ЦТ				
размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.169	0.163	0.462	0.325	8.75	0.421	0.042	–0.183	0.429
17.5	0.176	0.176	–0.021	0.492	17.5	0.045	0.048	–0.524	0.304
35	0.142	0.197	–3.229	0.003	35	0.037	0.051	–2.405	0.015
70	0.127	0.241	–4.966	0.0001	70	0.033	0.054	–3.436	0.002
размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.169	0.180	–0.666	0.258	8.75	0.042	0.046	–1.497	0.078
17.5	0.176	0.217	–2.695	0.008	17.5	0.045	0.048	–0.914	0.188
35	0.142	0.236	–4.218	0.0004	35	0.037	0.056	–2.507	0.012
70	0.127	0.276	–6.554	0.000005	70	0.033	0.058	–3.678	0.001
размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.163	0.180	–1.103	0.144	8.75	0.042	0.046	–1.591	0.066
17.5	0.176	0.217	–2.188	0.022	17.5	0.048	0.048	–0.188	0.427
35	0.197	0.236	–2.099	0.027	35	0.051	0.056	–0.925	0.185
70	0.241	0.276	–1.679	0.057	70	0.054	0.058	–0.990	0.169

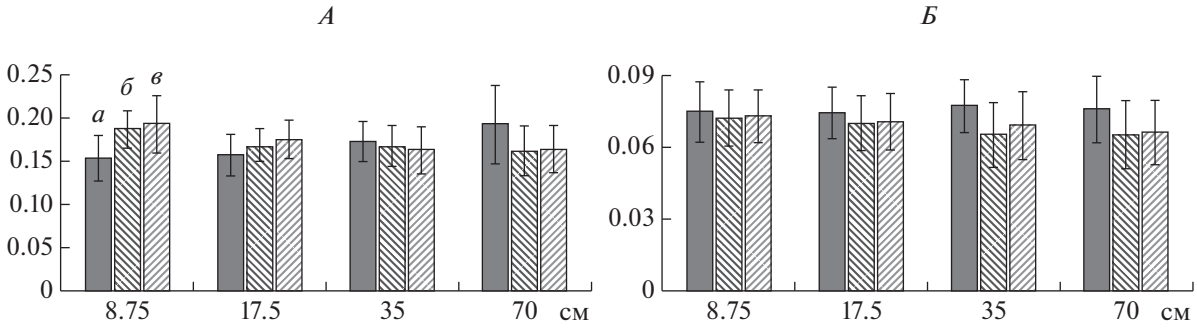

Рис. 4. *MF* (Гц) спектров переменных ЦТ (*А*) и ЦД–ЦТ (*Б*) и их стандартные ошибки, вычисленные при анализе стабилограмм, полученных в контрольный пробах (*а* – неподвижное зрительное окружение) и в тестовых пробах во время противофазной (*б*) и синфазной связях (*в*) видимого шара с колебаниями тела в боковой плоскости. Ось абсцисс – см. рис. 1.

($F_{1,\ 127}$ = 10.71, p < 0.0014) и в условиях НЗО и СФ ($F_{1,\ 127}$ = 6.68, p < 0.011) несмотря на отсутствие разницы между *MF* спектров в условиях ПФ и СФ (табл. 7).

Как видно из табл. 7, *MF* спектров исследуемых переменных в ответ на изменение размера шара менялись иным, скорее противоположным образом по сравнению с изменениями *RMS* спек-

Таблица 7. Оценка достоверности изменений *MF* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, выявленных при увеличении размера шара относительно минимального (8.75 см) в трех зрительных условиях

ЦТ					
НЗО 8.75	НЗО 17.5	НЗО 8.75	НЗО 35	НЗО 8.75	НЗО 70
0.153	0.157	0.153	0.173	0.153	0.192
t-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
–1.082	0.148	–3.981	0.001	–5.043	0.0001
ПФ 8.75	ПФ 17.5	ПФ 8.75	ПФ 35	ПФ 8.75	ПФ 70
0.186	0.168	0.186,	0.167	0.186	0.162
t-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
4.180	0.0004	4.197	0.0004	9.408	0.0000006
СФ 8.75	СФ 17.5	СФ 8.75	СФ 35	СФ 8.75	СФ 70
0.193	0.175	0.193	0.162	0.193	0.164
t-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
3.173	0.003	3.741	0.001	2.793	0.007
ЦД–ЦТ					
НЗО 8.75	НЗО 17.5	НЗО 8.75	НЗО 35	НЗО 8.75	НЗО 70
0.751	0.746	0.751	0.773	0.751	0.759
t-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
0.250	0.403	–0.771	0.226	–0.170	0.434
ПФ 8.75	ПФ 17.5	ПФ 8.75	ПФ 35	ПФ 8.75	ПФ 70
0.724	0.702	0.724	0.655	0.724	0.651
t-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
1.730	0.052	2.990	0.005	2.814	0.007
СФ 8.75	СФ 17.5	СФ 8.75	СФ 35	СФ 8.75	СФ 70
0.734	0.707	0.734	0.695	0.734	0.662
t-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
1.607	0.064	1.757	0.050	3.416	0.002

Таблица 8. Попарное сравнение влияний зрительных условий на *MF* спектров переменных ЦТ и ЦД–ЦТ, вычисленных из колебаний тела в боковом направлении

ЦТ					ЦД–ЦТ				
размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	ПФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.153	0.186	–5.816	0.000017	8.75	0.751	0.724	1.366	0.096
17.5	0.157	0.168	–2.298	0.018	17.5	0.746	0.702	2.414	0.015
35	0.173	0.167	1.061	0.153	35	0.773	0.655	4.323	0.000
70	0.192	0.162	4.201	0.000	70	0.759	0.651	2.155	0.024
размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	НЗО	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.153	0.193	–5.337	0.00004	8.75	0.751	0.734	0.939	0.181
17.5	0.157	0.175	–3.977	0.001	17.5	0.746	0.707	2.011	0.031
35	0.173	0.162	1.447	0.084	35	0.773	0.695	2.385	0.015
70	0.192	0.164	2.569	0.011	70	0.759	0.662	1.819	0.044
размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)	размер	ПФ	СФ	*t*-статист.	*p* (*t*≤)
8.75	0.186	0.193	–1.198	0.125	8.75	0.724	0.734	–0.584	0.284
17.5	0.168	0.175	–2.095	0.027	17.5	0.702	0.707	–0.320	0.377
35	0.167	0.162	0.753	0.232	35	0.655	0.695	–1.812	0.045
70	0.162	0.164	–0.194	0.425	70	0.651	0.662	–0.587	0.283

тров (сравнить с данными табл. 5). В частности, в контрольных пробах (зрительное условие НЗО) увеличение размера шара от минимального в 8.75 до 35 и 70 см приводило к статистически достоверному росту *MF* спектров переменной ЦТ ($t_{16} = -3.98, p < 0.001$ и $t_{16} = -5.043, p < 0.0001$ соответственно), при этом *MF* переменной ЦД–ЦТ менялись несущественно.

Попарное сравнение значений *MF* спектров обеих переменных, выполненном для условий НЗО и ПФ и условий НЗО и СФ, в отличие от *RMS* спектров, показало уменьшение статистически значимых различий между этими парами условий с увеличением размера шара (табл. 8). При сравнении значений *MF* спектров переменных, выполненном для условий СФ и ПФ не удалось обнаружить статистически достоверной разницы в частоте спектральных колебаний, связанной с изменениями размера шара в пробах этих зрительный условий.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данное исследование продолжило цикл работ, выполненных нами ранее [17, 18], цель которых состояла в том, чтобы установить, в какой мере у здоровых испытуемых может происходить адаптация к условиям стояния в нестабильной зрительной среде с ограниченными размерами поля зрения. В этих работах было показано, что многократное повторение проб при одном и том же постоянном коэффициенте связи между смещениями переднего плана видимой зрительной среды и колебаниями тела (был выбран коэффициент 2 для связи колебаний тела с видимой зрительной средой) приводит к существенному уменьшению величины колебаний тела в обеих (переднезадней и боковой) плоскостях. Так, если в первых двух блоках проб величина колебаний ЦТ превышала контрольные величины при неподвижном зрительном окружении примерно в два раза, то в последнем пятом блоке *RMS* спектров этой переменной имели значения, которые были близки к контрольным значениям. В настоящей работе мы попытались выяснить, как в таких условиях, когда пространственное положение наблюдаемого испытуемыми объекта меняется в зависимости от направления и величины колебаний тела, изменения размера этого объекта отражаются на параметрах поддержания вертикальной позы.

Зрение, как правило, предоставляет обширную информацию о движении тела человека в окружающей среде, что позволяет считать его важным источником информации для управления движениями и вертикальной позой в частности. Зрительные сигналы, связанные с постуральным контролем, часто играют большую роль, чем

другие источники информации, такие как вестибулярные и соматосенсорные данные.

Выявленные изменения в устойчивости вертикальной позы при увеличении размеров шара, могут быть связаны с особенностями использования зрительной информации, поступающей из центрального и периферического полей зрения. Обычно при обсуждении вклада зрения в контроль вертикальной позы рассматривают, с одной стороны, роль центрального и периферического полей зрения [19–21], а с другой, влияние оптического потока [22, 23], который возникает при изменении расстояния между глазами наблюдателя и объектами окружающей среды в наблюдаемой зрительной сцене. Здесь можно вспомнить и т.н. гипотезу периферического доминирования [20, 23–25] и оценить ее справедливость. Эта гипотеза утверждает, что периферическое зрение доминирует в восприятии самопроизвольных колебаний (движений) тела, тогда как центральное зрение доминирует в восприятии движения объекта.

Впрочем, оптический поток обычно вызывается изменением расстояния между глазами наблюдателя и объектом окружающей среды в наблюдаемой сцене. Поскольку в условиях эксперимента это расстояние хаотически и быстро менялось на небольшую величину (несколько мм) при непрерывных колебаниях тела (т.е. не имело постоянной составляющей в том или ином направлении), можно считать, что влияние оптического потока было минимально и теоретически могло сказываться только на дисперсии позных колебаний тела.

При исследовании зрительных функций используют близкие, но все же несколько различающиеся оценки размеров для центрального и периферического полей зрения. Базируясь на нейроанатомических исследованиях ретинального распределения фоторецепторов к центральному зрению, относят 2°–4° поля зрения [26]. Согласно другой точке зрения центральное зрение охватывает 7° поля зрения, так как входы от этой части сетчатки проецируются на ту область первичной зрительной коры, которая ответственна за центральное зрение [27]. Исходя из этого, можно считать вполне понятным, что наблюдалось уменьшение позных колебаний при увеличении размеров шара и что оценка колебаний самого маленького шара несла малосущественную информацию об изменении пространственного положения тела.

Тот факт, что периферическое зрение при стоянии в условиях ВЗС способно играть двоякую роль: оно может способствовать стабилизации вертикальной позы, если внешнее окружение неподвижно, или вызывать ее дестабилизацию, если внешнее окружение движется, позволят выдвинуть и еще одно предположение. Ранее было показано [28], что в поддержании вертикальной позы можно выделить два процесса. Один из них – это постоянная выработка референтной вертикали, своего рода “уставки” для постуральной системы, а другой – обычное регулирование на основе сенсорных обратных связей относительно этой вертикали. Роль центрального и периферического зрения в этих двух процессах может быть различной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование поддержания позы в условиях отсутствия связи между положением неподвижного шара и опорными реакциями (контрольное условие поддержания позы) выявило уменьшение колебаний тела при увеличении размеров шара.

В тестовых же пробах, когда колебания тела вызывали синфазные или противофазные колебания шара, увеличение его размера, наоборот, дестабилизировало вертикальную позу. При этом с увеличением размеров шара дестабилизация усиливалась.

Изменения качества стояния при больших размерах шара и в контрольных, и в тестовых условиях отражались как на амплитудных, так и на частотных характеристиках переменных ЦТ и ЦД–ЦТ. Таким образом, можно заключить, что периферическое зрение при восприятии внешнего окружения способно играть двоякую роль: с одной стороны оно может способствовать стабилизации вертикальной позы, если внешнее окружение неподвижно, а, с другой, вызывать ее дестабилизацию, если внешнее окружение движется. Возможно, это связано с тем, что зрение участвует в двух процессах: построении зрительной вертикали и поддержании равновесия относительно этой вертикали. Роль центрального и периферического зрения в этих двух процессах может быть различной.

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 проблем передачи информации им. А.А. Харкевича 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. Исследование поддержано РФФИ (грант 18-015-00222).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mittelstaedt H.* The role of the otoliths in the perception of the orientation of self and world to the vertical // Zoologische Jahrbucher. Abteilung für Allgemeine Zoologie und Physiologie der Tiere. 1991. V. 95. № 3–4. P. 419.
2. *Dearing R.R., Harris L.R.* The contribution of different parts of the visual field to the perception of upright // Vision Res. 2011. V. 51. № 20. P. 2207.
3. *Karim A.K., Kojima H.* The what and why of perceptual asymmetries in the visual domain // Advances in Cognitive Psychology. 2010. V. 6. № 12. P. 103.
4. *Verleger R., Śmigasiewicz K.* Consciousness wanted, attention found: Reasons for the advantage of the left visual field in identifying T2 among rapidly presented series // Conscious Cogn. 2015. V. 35. № 3. P. 260.
5. *Śmigasiewicz K., Westphal N., Verleger R.* Leftward bias in orienting to and disengaging attention from salient task-irrelevant events in rapid serial visual presentation // Neuropsychologia. 2017. V. 94. P. 96.
6. *Curcio C.A., Sloan K.R., Kalina R.E., Hendrickson A.E.* Human photoreceptor topography // J. Comp. Neurol. 1990. V. 292. № 4. P. 497.
7. *Danckert J., Goodale M.* Ups and downs in the visual control of action / Taking action: Cognitive neuroscience perspectives on intentional acts // Ed. Johnson-Frey S.H. Cambridge, MA: MIT Press, 2003. P. 29.
8. *Sanda N., Cerliani L., Authié C.N. et al.* Visual brain plasticity induced by central and peripheral visual field loss // Brain Struct. Funct. 2018. V. 223. № 7. P. 3473.
9. *Gattass R., Nascimento-Silva S., Soares J.G.M. et al.* Cortical visual areas in monkeys: location, topography, connections, columns, plasticity and cortical dynamics // Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci. 2005. V. 360. № 1456. P. 709.
10. *Sabbah N., Sanda N., Authié C.N. et al.* Reorganization of early visual cortex functional connectivity following selective peripheral and central visual loss // Sci. Rep. 2017. V. 7. P. 43223.
11. *Burdea G., Coiffet P.* Virtual Reality Technology. N.Y.: John Wiley & Sons, Wiley-IEEE Press, 2003. 446 p.
12. *Caron O., Faure B., Brenie're Y.* Estimating the center of gravity of the body on the basis of the center of pressure in standing posture // J. Biomech.1997. V. 30. № 11–12. P. 1169.
13. *Rougier P.* Compatibility of postural behavior induced by two aspects of visual feedback: time delay and scale display // Exp. Brain Res. 2005. V. 165. № 2. P. 193.
14. *Nafati G., Vuillerme N.* Decreasing internal focus of attention improves postural control during quiet standing in young healthy adults // Res. Q. Exerc. Sport. 2011. V. 82. № 4. P. 634.
15. *Munoz F., Rougier P.R.* Estimation of centre of gravity movements in sitting posture: application to trunk backward tilt // J. Biomech. 2011. V. 44. № 9. P. 1771.
16. *Winter D.A., Patla A.E., Prince F.M. et al.* Stiffness control of balance in quiet standing // J. Neurophysiol. 1998. V. 80. № 3. P. 1211.
17. *Кожина Г.В., Левик Ю.С., Попов А.К., Сметанин Б.Н.* Зрительно-моторная адаптация у здоровых людей при стоянии в условиях дестабилизации виртуального зрительного окружения // Физиология человека. 2018. Т. 44. № 5. С. 30.
Kozhina G.V., Levik Y.S., Popov A.K., Smetanin B.N. Visuomotor adaptation in healthy humans in standing position under the conditions of destabilization of virtual visual environment // Human Physiology. 2018. V. 44. № 5. P. 517.
18. *Кожина Г.В., Левик Ю.С., Попов А.К., Сметанин Б.Н.* Поддержание вертикальной позы при многократном повторении проб в условиях дестабилизации виртуального зрительного окружения // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 5. С. 66.
Kozhina G.V., Levik Y.S., Popov A.K., Smetanin B.N. Vertical posture maintenance with multiple repetitions under the conditions of destabilizing virtual visual environment // Human Physiology. 2019. V. 45. № 5. P. 515.
19. *Amblard B., Carblanc A.* Role of foveal and peripheral visual information in maintenance of postural equilibrium in man // Percept. Mot. Skills. 1980. V. 51. № 3. Pt. 1. P. 903.
20. *Kawakita T., Kuno S., Miyake Y., Watanabe S.* Body sway induced by depth linear vection in reference to central and peripheral visual field // Jpn. J. Physiol. 2000. V. 50. № 3. P. 315.
21. *Park D.J.* Effect of visual stimulus using central and peripheral visual field on postural control of normal subjects // J. Phys. Ther. Sci. 2016. V. 28. № 6. P. 1769.
22. *Horiuchi K., Ishihara M., Imanaka K.* The essential role of optical flow in the peripheral visual field for stable quiet standing: Evidence from the use of a head-mounted display // PLoS One. 2017. V. 12. № 10. P. 1.
23. *Kelly J.W., Riecke B., Loomis J.M., Beall A.C.* Visual control of posture in real and virtual environments // Percept. Psychophys. 2008. V. 70. № 1. P. 158.
24. *Stoffregen T.A., Brady B.G., Merhi O.A., Oullier O.* Postural responses to two Technologies for generating optical flow // Presence. 2004. V. 13. № 5. P. 601.
25. *Cunningham D.W., Nusseck H.G., Teufel H., Bulthoff H.H.* A psychophysical examination of movings, cylindrical virtual reality setups, and characteristic trajectories / Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference (VR'06), Alexandria, VA, USA, 2006. P. 111.
26. *Osaka N.* Peripheral vision / New Sensation-Perception Psychology Handbook // Eds. Oyama T., Imai S., Wake T. Tokyo: Seishin-Shobou (in Japanese). 1994. P. 923. [Google Scholar].
27. *Daniel P.M., Whitteridge D.* The representation of the visual field on the cerebral cortex in monkeys // J. Physiol. 1961. V. 159. P. 203.
28. *Gurfinkel V.S., Ivanenko Y.P., Levik Y.S., Babakova I.A.* Kinesthetic reference for human orthograde posture // Neuroscience. 1995. V. 68. № 1. P. 229.

The Influence of the Size of the Object, Providing the Visual Feedback, on the Maintenance of the Vertical Posture in Humans

B. N. Smetanin[a], *, Y. S. Levik[a], G. V. Kozhina[a], A. K. Popov[a]

[a] *Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute) of RAS, Moscow, Russia*

**E-mail: boris_smetanin@hotmail.com*

Among the information that permits to a person to elaborate an idea of the position of his body in space, an important role is played by visual signals about the structure and size of visible objects of the surrounding world. We tried to find out how a change in the size of an object in the field of vision affects the stability of standing in healthy people. The subjects stood in stereo glasses and a mask that limited the field of view in a darkened room in front of the screen (silver screen, 2 × 1.5 m), onto which a three-dimensional image of a sphere painted in dark gray was projected. Under these conditions, they saw only a virtual three-dimensional image of the sphere. Four sphere sizes with diameters of 8.75, 17.5, 35, and 70 cm were used. Spheres with these sizes covered visual fields of 4.5, 9, 18, and 36 degrees, respectively. In the control, the sphere was motionless, and under test conditions, the displacements of the sphere in the anteroposterior and lateral directions were in phase or out of phase with fluctuations in the body's center of gravity (CoG). The amplitude of the sphere's oscillations was 2 times higher than the amplitude of oscillations of the CoG. The subjects performed 36 trials of 40 s each, during which they calmly stood on the stabilograph and looked at the sphere. All trials were divided into 4 blocks, each of which included three control trials with a fixed sphere and six samples in which the sphere moved in phase or out of phase to the oscillations of the body CoG. Trials were performed at intervals of 1 minute. In each block of trials the sphere had the same size. After each block, the subject rested sitting for 4–5 minutes. Blocks of trials with spheres of different sizes alternated in random order. The amplitude-frequency characteristics of two elementary variables were calculated, calculated from the trajectories of the center of pressure of the feet (CoP) in the anteroposterior and lateral directions: the trajectory of the projection of the body's CoG on the support (CoG variable and the difference between the trajectories of the CoP and CoG. Under test conditions, the displacements of the sphere destabilized the vertical posture. With an increase in the size of the sphere, destabilization intensified. Deterioration of the quality of standing was due to changes in both the amplitude and frequency characteristics of the variables of the CoG and CoP–CoG. An increase in the size of the stationary sphere in the control caused the opposite effect: body oscillations decreased. Changes in the stability of the vertical posture with increasing size of the sphere can be associated with the peculiarities of using visual information coming from the central and peripheral fields of view.

Keywords: vertical posture, visual destabilization, virtual visual environment, sensorimotor conflict, stabilography.