

ПОСТУРАЛЬНЫЕ ОТВЕТЫ НА ДВИЖУЩИЕСЯ ЗВУКОВЫЕ ОБРАЗЫ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕДУЩЕЙ СЕНСОРНОЙ МОДАЛЬНОСТИ
ПРИ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ

© 2019 г. И. Г. Андреева¹ *, А. П. Гвоздева¹, Е. В. Боброва²

¹Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,
Санкт-Петербург, Россия

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

*E-mail: ig-andreeva@mail.ru

Поступила в редакцию 02.10.2018 г.

После доработки 21.11.2018 г.

Принята к публикации 06.12.2018 г.

Изучали проявления индивидуальных особенностей обработки сенсорной информации у человека и реагирования на нее, анализируя позные реакции на приближающиеся и удаляющиеся звуковые образы. Обследованы группы испытуемых с разным когнитивным стилем – полезависимость/поленезависимость (8 и 9 человек соответственно). Зарегистрированы стабิโลграммы до, во время и после звуковой стимуляции разных типов – удаляющиеся, приближающиеся и неподвижные звуковые образы, и проанализированы характеристики колебаний центра давления тела вдоль сагитальной оси – длина траектории центра давления, средняя линейная скорость, смещение центра давления и разброс. Выявлены существенные различия в стратегиях поддержания равновесия между группами испытуемых. Разброс в группе поленезависимых испытуемых (ПН) был выше, чем у полезависимых (ПЗ) при всех условиях и во всех временных интервалах. При сравнительном анализе показателей во время стимуляции длина траектории и средняя линейная скорость в группе ПН оказались больше, чем у ПЗ только в ответ на удаляющиеся звуковые образы. У ПЗ при предъявлении приближающихся звуковых образов наблюдали достоверное смещение центра давления назад. Неподвижные звуковые образы не влияли ни на один из изученных во время прослушивания показателей. Обнаруженные различия в реакциях системы регуляции позы хорошо согласуются с представлениями о преимущественном использовании для поддержания равновесия в исследованных группах испытуемых сенсорной информации разных типов: экстероцептивной у полезависимых, и проприоцептивной у поленезависимых испытуемых.

Ключевые слова: система регуляции позы, ориентация в пространстве, ведущая сенсорная модальность, когнитивный стиль, восприятие движения, тест “Включенные фигуры Готтшальда”

DOI: 10.1134/S086981391902002X

Полезависимость/поленезависимость является индивидуальной характеристикой восприятия окружающего пространства и рассматривается как компонент когнитивного стиля личности. Этот компонент был выявлен в экспериментах по определению положения субъективной вертикали, т.е. вертикального положения линии в вертикальной или наклоненной рамке на фоне невидимого окружения в условиях изменения положения вертикальной оси тела относительно вектора гра-

витации [1]. Оказалось, что часть испытуемых дает ответы, предпочитительно ориентируясь на положение рамки, т.е. на зрительную информацию – т. н. полезависимые (ПЗ), часть – на положение собственного тела, т.е. на проприоцептивную информацию (вестибулярную и кинестетическую) – полнезависимые (ПН). Позднее было показано, что предпочтение той или иной сенсорной информации связано с общей стратегией двигательной активности и поддержания позы [2, 3]. У ПН испытуемых сегменты тела (голова, плечи, таз) при поддержании равновесия двигаются независимо друг от друга, и условия зрения – в темноте, на свету или при стробоскопическом освещении, мало влияют на позу. У ПЗ испытуемых в отсутствие зрения или зрительного стимула увеличивается роль тазобедренных суставов в поддержании вертикальной позы, и все остальные сегменты тела (плечи, голова) колеблются “в блоке” с тазом.

Результаты разделения людей на группы по когнитивному стилю с помощью описанного выше теста определения субъективной вертикали хорошо коррелируют со зрительным тестом “Включенные фигуры Готтшальда” [4]. Последний интерпретируют как тест для выявления индивидуальных особенностей зрительного восприятия [5]. Для ПН воспринимаемая зрительная информация значительно более структурирована, чем для ПЗ. Это проявляется в том, что для первых объект и его качества оцениваются самостоятельно, независимо от других объектов и их качеств, видимых одновременно с этим объектом. Неясно, может ли определяемый по зрительному тесту “Включенные фигуры Готтшальда” когнитивный стиль иметь универсальный характер для анализа пространства и определять индивидуальные особенности пространственного восприятия других модальностей. Для слухового восприятия это представляется вполне вероятным, поскольку зрительная информация существенным образом влияет на интерпретацию слуховой. Ведущую роль зрения при определении положения неподвижных источников звука доказывает явление, получившее название чревоговения (“ventriloquism”) [6, 7]. Воспринимаемое расположение источника звукового сигнала смещается от реального местонахождения его источника при наличии в поле зрения объекта, являющегося потенциальным источником этого сигнала, в сторону данного объекта. Эти наблюдения подтверждаются в опытах по оценке расстояния до видимых источников звука: испытуемые приписывают звук ближе расположенному источнику [8]. Еще одно подтверждение приоритета зрительной информации было получено при исследовании влияния зрительной адаптации к движению по трем координатам пространства на локализацию движущихся звуковых образов [9]. Влияние зрительной адаптации на последующее слуховое восприятие движения обнаруживалось для всех трех исследованных координат, тогда как действие слуховой адаптации к движению на восприятие видимых движущихся объектов выявлялось только в случае движения по вертикали. Таким образом, зрительная информация о движении объектов является ведущей по отношению к слуховой.

Подобная иерархия взаимного влияния пространственной информации разных модальностей распространяется и на другие сенсорные системы, участвующие в ориентации. Как упоминалось ранее, при определении положения субъективной вертикали в зависимости от индивидуальных особенностей и факторов, связанных со стоящей перед субъектом задачей, предпочитительно используется зрительная или вестибулярно-кинестетическая информация [1]. В условиях конфликта зрительной и вестибулярной информации, созданного в упомянутом исследовании, одни люди в большей степени использовали зрительную информацию, т.е. информацию из внешней среды, экстероцептивную, которая может трансформироваться в аллоцентрической системе координат, другие – проприоцептивную, вестибулярную и кинестетическую, т.е. информацию о положении самого организма с эгоцентрической системой координат. В последнем случае приоритетной оказывается

информация об интраперсональном пространстве и сформированная на ее основе “схема тела” [10].

При исследовании изменений вертикальной позы в ответ на стимуляцию неподвижными и движущимися звуковыми образами нами были выявлены колебания центра давления (ЦД) тела испытуемых вдоль сагиттальной оси в ответ на каждый из ряда стимулов [11]. Колебания ЦД были больше выражены в ответ на приближающиеся звуковые образы по сравнению с удаляющимися. Они приводили к увеличению длины траектории центра давления и средней линейной скорости его движения. Во время прослушивания приближающихся звуковых образов ЦД смещался в направлении их движения. Описанные изменения вертикальной позы в ответ на движущиеся звуковые образы имели высокую индивидуальную вариабельность, причина которой была неясна. В данной работе была выполнена проверка предположения о том, что одной из существенных причин различий в реакциях позы являются индивидуальные особенности обработки сенсорной информации, в частности, способность к выделению информации о движении отдельного объекта, которая проявляется в полезависимости/полнезависимости. Для проверки этого предположения в данной работе был осуществлен сравнительный анализ динамики стабилметрических показателей в условиях восприятия пространственной слуховой информации для групп ПЗ и ПН испытуемых.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С применением стабилметрического теста обследованы 17 взрослых здоровых испытуемых (в анамнезе отсутствовали заболевания слуха, двигательной и вестибулярной систем, зрение нормальное или компенсировано до нормального) в возрасте 23–54 лет. От всех испытуемых было получено информированное согласие. Испытуемые были разделены на две группы по результатам выполнения зрительного теста “Включенные фигуры Готтшальдта” на когнитивный стиль (полезависимость/полнезависимость). В первую группу вошли 8 полнезависимых испытуемых (4 мужчин и 4 женщины, средний возраст 31 год), во вторую группу – 9 полезависимых испытуемых (4 мужчин и 5 женщин, средний возраст 33 года). Состояние слуха испытуемых оценивали по результатам тональной аудиометрии, которую выполняли на клиническом аудиометре МА-31 фирмы Pracitronic, и теста обнаружения паузы. Такая проверка слуха позволяла исключить как потерю слуха, так и нарушения временного слухового анализа центрального генеза [12].

Регистрировали колебания центра давления тела человека с помощью стабиллоплатформы Стабилан-01 до, во время и после прослушивания сигналов, моделирующих приближение или удаление источников звука, в условиях свободного поля. Приближение и удаление источников звука моделировали линейными изменениями амплитуды и частоты в последовательностях тональных импульсов. Оптимальные параметры стимуляции были выбраны на основе результатов работы [13]. Импульсы имели пологие передний и задний фронты длительностью по 2.5 мс, продолжительность импульсов, включая фронты, равнялась 10.0 мс. Частота повторения импульсов последовательностей составляла 40 Гц. Несущая частота линейно изменялась от импульса к импульсу от 1000 до 500 Гц для модели приближения, и в том же диапазоне, но в противоположном направлении – для удаления. Линейные изменения амплитуды сигнала от начала к концу сигнала составляли 30 дБ. Контрольный сигнал представлял собой случайную последовательность 500-миллисекундных фрагментов модельных сигналов приближения и удаления, следовавшие без пауз. Частотный и амплитудный диапазон изменений в контрольном сигнале соответствовал диапазонам модельных сигналов. Длительность всех сигналов – тональных импульсных последовательностей, равнялась 6 с. Максимальный уровень

всех сигналов в месте прослушивания был одинаков и равен 67 дБ УЗД. Испытуемому подавали серии из 7 одинаковых (приближение, удаление или контроль) сигналов с интервалом 0.5 с между ними, общей длительностью 45 с. Всего формировали три различные серии – для моделей приближающихся, удаляющихся источников звука и для контрольных сигналов.

Исследование проводили в анэхоидной звукозаглушенной камере размером 62.5 м³. Во время регистрации положения центра давления испытуемые стояли с закрытыми глазами в стандартной вертикальной позе (пятки вместе, носки врозь, руки опущены вниз вдоль тела) на стабиллографической платформе Стабилан-01 в центре камеры. На расстоянии двух метров от испытуемого, на высоте 1.6 м над полом располагали динамик Klipsch R-3800-C. Воспроизведение стимулов осуществляли на персональном компьютере MicroXPerts с внешней звуковой картой Creative E-MU0202. Со звуковой карты аналоговый сигнал направляли на профессиональный усилитель мощности NevaAudio SA-3004 и предъявляли испытуемому при помощи динамика. Акустический контроль параметров выполняли с применением комплекта измерительной аппаратуры фирмы “Брюль и Кьер” (микрофон 4145, предусилитель 2639, усилитель 2606).

Стабилограммы регистрировали в течение 140 с: 40 с – до стимуляции, 45 с – во время звуковой стимуляции и еще 55 с – после нее (частота оцифровывания 50 Гц). Всего выполняли по 10 регистраций для каждого из трех типов сигналов – приближающихся, удаляющихся и неподвижных. Каждые 4–6 регистраций чередовали с периодами отдыха испытуемого. Статистическую обработку стабиллографических сигналов отдельных испытуемых выполняли для сагиттальной оси в разные периоды регистрации стабиллограммы с применением программного обеспечения Стабилана-01. Используя встроенные в программное обеспечение Стабилана-01 функции, исследовали четыре показателя: длину траектории, среднюю линейную скорость, смещение ЦД и разброс. В анализ включали четыре 20-секундных интервала: 20 с непосредственно перед стимуляцией, первые 20 с во время стимуляции, вторые 20 с во время стимуляции, и, наконец, интервал времени продолжительностью 20 с, который начинался спустя 3 с после окончания стимуляции. Последний интервал определяли с учетом завершения последнего колебания центра давления в ответ на движущиеся звуковые стимулы. Величина интервалов была выбрана на основе оценок длительности последствия в психоакустических экспериментах, которая была равна 32–34 с, причем эффект угасал наиболее быстро в течение 20 с с момента окончания адаптации [14]. При выборе длительности интервалов для анализа учитывали стабиллометрические данные, полученные нами в предыдущей работе [11]. Оценку достоверности изменения групповых стабиллографических показателей в разных периодах регистрации положения ЦД выполняли с применением парного непараметрического метода Вилкоксона. Достоверность различий величин стабиллографических показателей между группами ПЗ и ПН испытуемых осуществляли с применением непараметрического критерия Манна–Уитни для независимых выборок. Все статистические расчеты проводили в пакете программ Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При прослушивании движущихся звуковых стимулов наблюдались колебания ЦД большой амплитуды, которые в некоторых случаях соответствовали ритму стимуляции (рис. 1). Вместе с тем, траектория ЦД значительно варьировала даже у одного испытуемого от одного звукового стимула к другому, что ранее обсуждалось в работах [11, 15]. В связи с этим для анализа постуральных ответов использовали интегральные показатели стабиллометрического теста по сагиттальной оси – длину траектории, среднюю линейную скорость, смещение ЦД и разброс. Эти показате-

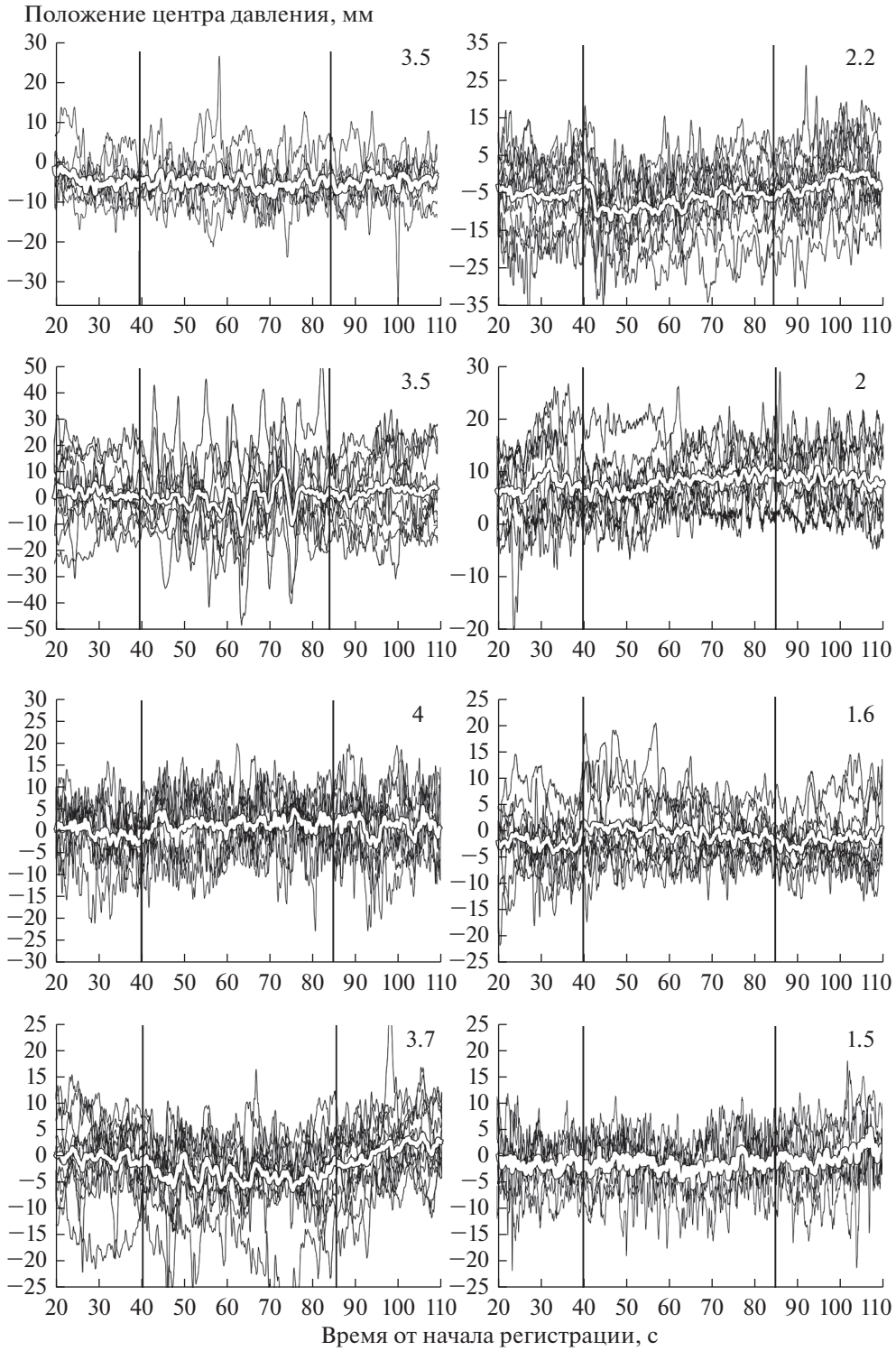


Рис. 1. Положение центра давления в сагиттальной плоскости у восьми испытуемых из групп ПН (слева) и ПЗ (справа) при прослушивании приближающихся звуковых образов.

Тонкие линии – результаты отдельных регистраций, белые широкие линии – результаты усреднения по 10 регистрациям. Положительные значения соответствуют смещению вперед. Вертикальные линии показывают начало и окончание стимуляции. В правом верхнем углу каждого графика указан коэффициент полезависимости для данного испытуемого (значения меньше 2.5 соответствуют полезависимым испытуемым; значения больше 2.5 – полезависимым испытуемым).

ли сопоставляли до, во время звуковой стимуляции и после нее для ПЗ и ПН групп испытуемых.

Наиболее выраженные изменения во время стимуляции наблюдали по показателю длина траектории ЦД (рис. 2 и 3А). В группе ПН увеличение длины траектории во время первой и второй половины прослушивания движущихся звуковых образов обоих типов (и приближающихся, и удаляющихся) по сравнению с периодом до стимуляции составляло по средним данным 6–8% ($p < 0.01$) (рис. 3А). В группе ПЗ среднее увеличение длины траектории не превышало 5% (рис. 2А). У испытуемых этой группы для приближающихся звуковых образов в первую половину стимуляции было выявлено увеличение ($p < 0.05$), во вторую половину достоверных различий не было, для удаляющихся – в первую половину стимуляции достоверных различий не было, а во вторую половину – наблюдали тенденцию к увеличению ($p < 0.07$). Сравнение этого показателя до и после прослушивания стимулов обоих типов не выявило достоверных изменений для двух исследованных групп испытуемых. Контрольные стимулы, в которых отсутствовали признаки движения звукового образа, не влияли на длину траектории во время прослушивания, однако после такой стимуляции в обеих группах испытуемых отмечалось увеличение длины траектории: в группе ПН достоверное ($p < 0.05$), а в группе ПЗ – в виде тенденции при сравнении периодов первой и второй половины стимуляции с периодом после нее ($p = 0.09$ $p = 0.07$). Таким образом, постуральный ответ, который выражался в увеличении длины траектории ЦД, т.е. в усилении качаний, наблюдали в обеих группах испытуемых, но в группе ПЗ он был существенно меньше по величине и проявлялся преимущественно в виде тенденции.

Сопоставление длины траектории между группами ПЗ и ПН во время стимуляции позволило выявить разницу в поздних ответах этих групп (рис. 4). Длина траектории в группе ПН оказалась достоверно больше, чем ПЗ в ответ на удаляющиеся звуковые образы ($p < 0.01$ и $p < 0.05$, соответственно в первом и втором периодах стимуляции). При прослушивании удаляющихся стимулов длина траектории в группе ПН была достоверно больше и после окончания стимуляции ($p < 0.05$). В ответ на приближающиеся стимулы этот показатель позднего ответа в обеих группах был сходным, различия выявлены в виде тенденции ($p = 0.08$ и $p = 0.06$ соответственно в первом и втором периодах стимуляции). Для стационарных стимулов достоверных различий между группами не выявлено.

Средняя линейная скорость дополняла информацию об изменениях длины траектории, т. к. она является производной длины траектории по времени и ее изменения характеризуют равномерность перемещения ЦД. Различия в линейных скоростях между периодами до и во время, а также до и после стимуляции внутри групп испытуемых были аналогичны различиям в длине траектории, но менее выражены (рис. 2 и 3Б). Достоверное увеличение линейной скорости было выявлено во время прослушивания приближающихся звуковых образов по сравнению с периодом до стимуляции в группе ПН ($p < 0.001$ и $p < 0.01$, соответственно для первой и второй половины стимуляции) (рис. 3Б). По окончании стимуляции линейная скорость достоверно снижалась ($p < 0.01$) и не отличалась от уровня до стимуля-

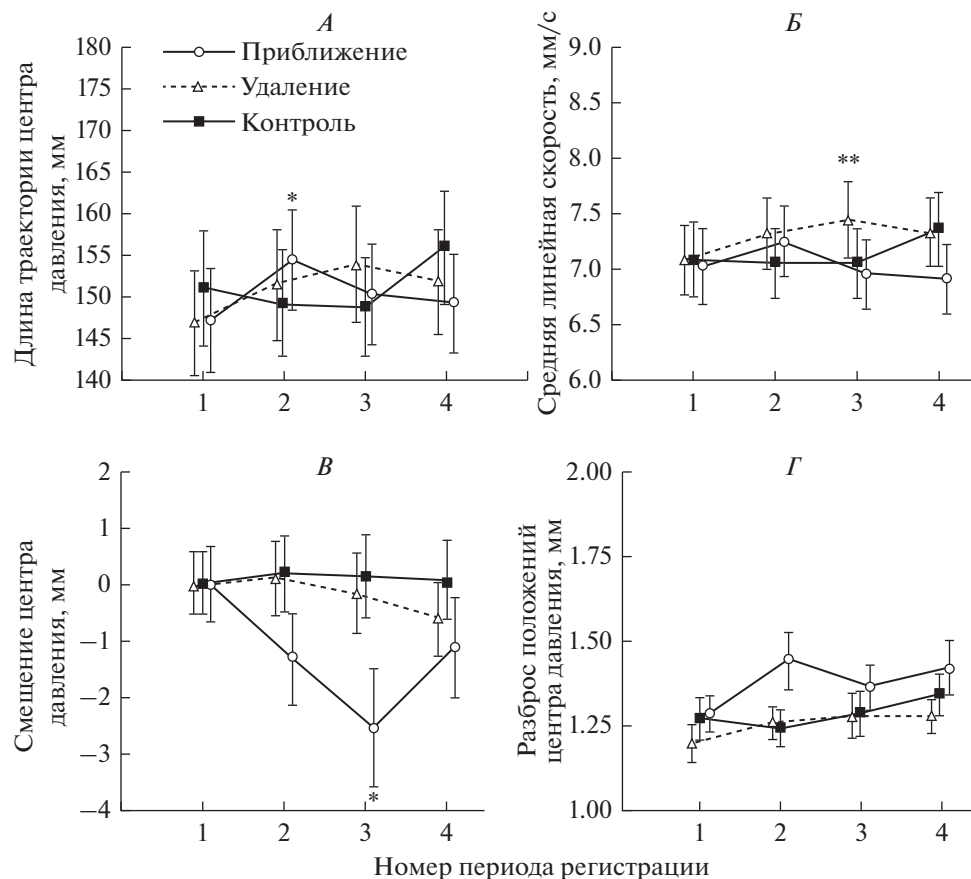


Рис. 2. Средние по группе ПЗ испытуемых длина траектории (А), средняя линейная скорость (Б), смещение (В) и разброс положения центра давления (Г) по сагиттальной оси при прослушивании приближающихся, удаляющихся и неподвижных звуковых образов. Обозначены периоды времени по 20 с: 1 – перед стимуляцией, 2 – первая половина стимуляции, 3 – вторая половина стимуляции, 4 – через 3 с после окончания стимуляции. Указаны достоверные отличия длины траектории, средней линейной скорости, смещения и разброса при прослушивании приближающихся и удаляющихся звуковых образов в интервалах во время и после стимуляции от соответствующих показателей до стимуляции (непараметрический парный критерий Вилкоксона, * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$). Показана стандартная ошибка среднего.

ции. В группе ПЗ этот показатель увеличивался в случае удаляющихся звуковых образов только во второй половине стимуляции ($p < 0.01$) (рис. 3А). Других достоверных изменений средней линейной скорости при прослушивании движущихся звуковых образов в этой группе выявлено не было. Причем, согласно представленным данным, в группе ПН такое усиление качания выражено сильнее по сравнению с группой ПЗ. Достоверные различия между группами ПН и ПЗ по показателю средняя линейная скорость в случае приближения звукового образа были обнаружены в первой и второй половине стимуляции ($p < 0.05$), в первой половине стимуляции – в случае его удаления ($p < 0.05$). Итак, увеличение средней линейной скорости при стимуляции движущимися звуковыми образами было больше выра-

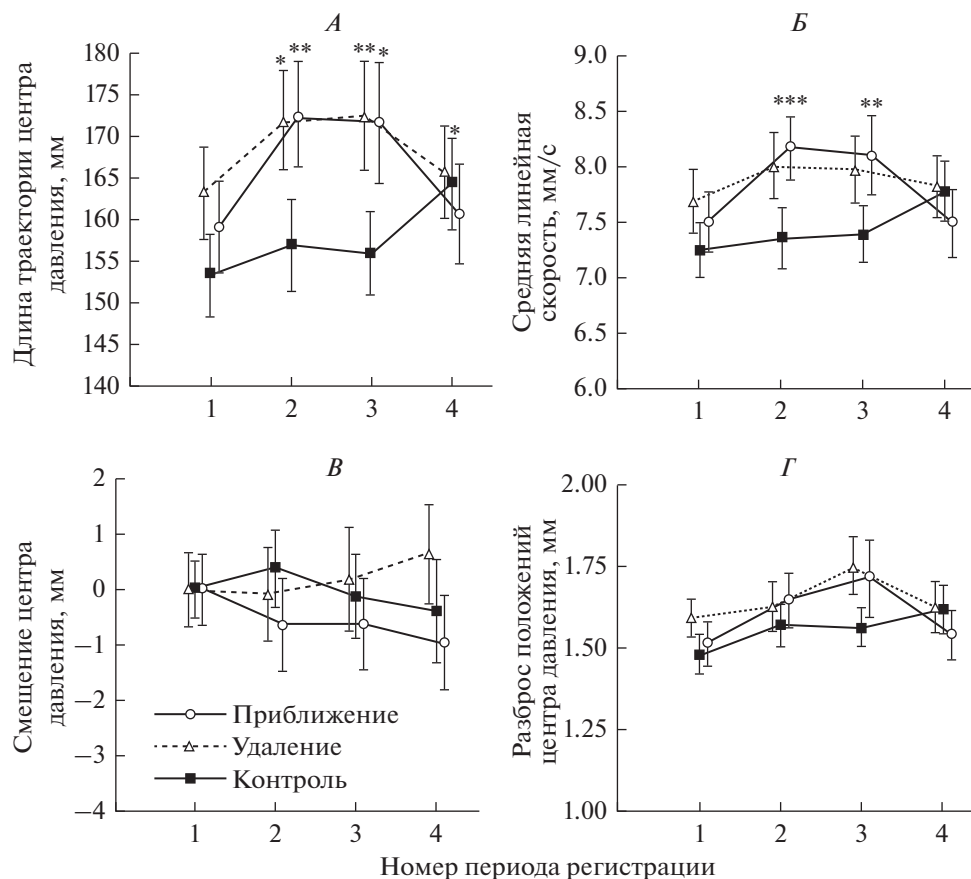


Рис. 3. Средние по группе ПН испытуемых длина траектории (А), средняя линейная скорость (Б), смещение (В) и разброс положения центра давления (Г) по сагиттальной оси при прослушивании приближающихся, удаляющихся и неподвижных звуковых образов. Обозначения те же, что и на рис. 2.

жено в группе ПН, различия между группами ПН и ПЗ выявлялись не только вследствие звуковой стимуляции как таковой, но определялись видом стимула – приближением или удалением звукового образа.

Наряду с отмеченным в более ранних работах усилением колебаний ЦД нас интересовало смещение ЦД – среднее положение ЦД в заданный период времени (рис. 2 и 3В). Как следует из нашей предыдущей работы, этот показатель был информативным при описании изменений позы в ответ на движущиеся в разном направлении стимулы [11]. Поскольку была поставлена задача сравнить среднее положение ЦД по сагиттальной оси в последовательные и одинаковые (20 с) интервалы времени, то для удобства анализа данные по показателю смещения были нормированы относительно среднего положения в контрольный (до стимуляции) период времени, когда смещение было принято за 0 мм (рис. 3). Таким образом, направление и величина последующих изменений ЦД становились более очевидными.

По сравнению со средним положением ЦД до стимуляции в группе ПЗ были выявлены изменения смещения в первой половине стимуляции приближающимися звуковыми образами на 1.5 мм в виде тенденции ($p = 0.07$), и достоверные изменения по этому показателю на 2.5 мм – во второй ее половине ($p < 0.01$) (рис. 2В). Ис-

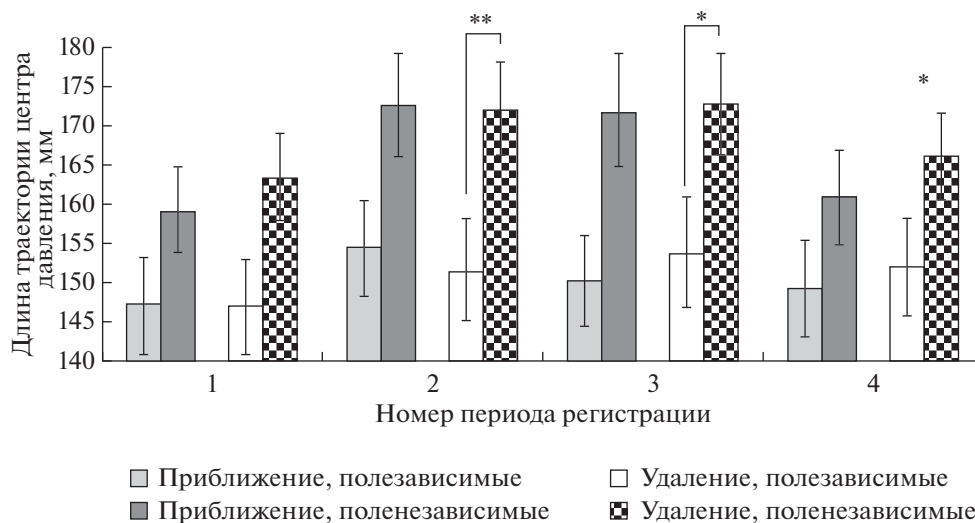


Рис. 4. Средняя по группам ПЗ и ПН испытуемых длина траектории центра давления по сагиттальной оси при прослушивании приближающихся и удаляющихся звуковых образов. Обозначены периоды времени по 20 с: 1 – перед стимуляцией, 2 – первая половина стимуляции, 3 – вторая половина стимуляции, 4 – через 3 с после окончания стимуляции. Указаны достоверные различия длины траектории между группами ПЗ и ПН испытуемых (непараметрический критерий Манна–Уитни для независимых выборок, * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.01$). Показана стандартная ошибка среднего.

пытуемые смещали ЦД назад, и, следовательно, это смещение совпадало с направлением движущихся звуковых образов. Для других типов звуковых стимулов достоверных изменений смещения в этой группе не наблюдали. В группе ПН достоверные изменения не выявлялись, средние значения по группе варьировали в пределах 1 мм (рис. 3В). Можно отметить только незначительное изменение смещения ЦД во время стимуляции приближающимися звуковыми образами в направлении их движения. Сопоставление величин смещения ЦД в группах ПЗ и ПН не обнаружило достоверных различий между группами.

Последний из четырех рассмотренных показателей – разброс, характеризующий амплитуду колебаний ЦД в последовательные временные периоды. Разброс варьировал по средним данным от 1.2 до 1.4 мм в группе ПЗ и в пределах 1.5–1.7 мм в группе ПН (рис. 2 и 3Г). В группе ПН было обнаружено достоверное увеличение разброса во время второго периода стимуляции приближающимися звуковыми образами по сравнению с периодом после стимуляции ($p < 0.05$). Других достоверных различий по этому показателю в периоды до, во время и после звуковой стимуляции не было выявлено. Сопоставление в группах ПЗ и ПН показало, что разброс в группе ПН достоверно больше, чем у ПЗ при всех условиях и всех временных интервалах.

Таким образом, в группе ПН колебания ЦД больше выражены, испытуемые этой группы в среднем реагируют на прослушивание движущихся стимулов большими колебаниями ЦД, чем ПЗ. Вместе с тем, смещение при прослушивании движущихся (приближающихся) стимулов у ПЗ выражено меньше, чем в группе ПН. Постуральные реакции на движущиеся стимулы более существенно выражены в группе ПН, чем в группе ПЗ. В ответах на контрольные стимулы, не содержащие признаков движения, различий между показателями в этих группах не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При прослушивании приближающихся и удаляющихся звуковых образов были выявлены усиления качаний вдоль сагиттальной оси по сравнению с периодом до стимуляции в обеих обследованных группах – ПН и ПЗ. Об этом свидетельствовало увеличение показателей длина траектории и средняя линейная скорость во время стимуляции движущимися звуковыми образами. Усиления качаний наблюдали и ранее в ответ на движущиеся по азимуту или перемещающиеся скачком в горизонтальной плоскости звуковые стимулы [15, 16]. Такие изменения вертикальной позы наблюдали и в случае движущихся зрительных стимулов [17, 18]. Связь усиления качаний с появлением зрительных иллюзий самодвижения была выявлена в работах [19, 20]. Можно предположить, что усиление качаний, наблюдавшееся в нашей работе, также связано с нейрофизиологическими механизмами иллюзии самодвижения. Некоторые из испытуемых сообщали, что их “качало”, тогда как более половины из испытуемых никаких необычных ощущений не испытывали. Известно, что слуховые иллюзии движения сформировать не так легко, как зрительные [21], чтобы получить объективные реакции в ответ на движущиеся звуковые образы, например, нистагм, необходима продолжительная стимуляция – не менее 10 с [22]. Вместе с тем, изменение положения ЦД регистрировали уже в ответ на одиночный стимул длительностью 3 с [15]. Таким образом, изменения параметров длина траектории и линейная скорость не обязательно связаны с появлением иллюзий самодвижения, но могут им предшествовать, и такие постуральные реакции могут иметь те же механизмы, которые впоследствии запускают иллюзии самодвижения.

Увеличение длины траектории и линейной скорости, выявленные в обеих группах испытуемых, могут отражать процессы выделения движущегося стимула из внешней сенсорной среды и избирательного внимания к нему [2, 3]. При такой интерпретации этих явлений становится понятным, почему изменения длины траектории и линейной скорости в периоды прослушивания звуковых образов по сравнению с этими показателями до стимуляции оказались сильнее выражены в группе ПН. Согласно представлениям о полнезависимом когнитивном стиле люди, обладающие этим свойством, легче выделяют объект из фона, что связано с пространственной избирательностью зрительного внимания. Когнитивный стиль, определяемый как полнезависимость, коррелирует с более успешным выполнением различных зрительных пространственных задач по локализации объектов, в т. ч. оценки расстояния и навигации [23–25]. При зрительной оценке приближения ПН испытуемые демонстрировали более низкие пороги обнаружения движения и меньшее время реакции в этой задаче, чем ПЗ [26]. Нам не удалось найти исследований, в которых бы пространственная избирательность слухового внимания была рассмотрена в связи с когнитивным стилем. Однако если верна гипотеза о том, что когнитивный стиль, выявляемый в зрительной модальности, характерен и для других модальностей, возможны и иные проявления различий ПН и ПЗ испытуемых. Разница в восприятии этими группами может быть обнаружена в решении задач с участием пространственного внимания, например, в эффекте вечеринки, при котором повышается разборчивость речи целевого источника на фоне маскирующих речевых шумов. С другой стороны, в литературе имеются сведения о том, что люди с различным когнитивным стилем – ПЗ и ПН, характеризуются и разными стратегиями поддержания равновесия. У ПН в поддержании равновесия участвует большее количество сегментов тела [2, 3], чем у ПЗ, у которых колебания тела осуществляется “единым блоком”. Поэтому можно полагать, что большее количество степеней свободы при регуляции позы приводит к большим колебаниям ЦД тела, большей реакции на сенсорную, в нашем случае слуховую, информацию о движении.

Наряду с увеличением длины траектории во время звуковой стимуляции было выявлено смещение ЦД в направлении движения звуковых образов. Это изменение не было связано с отдельными качаниями, оно происходило монотонно на протяжении звучания нескольких стимулов. Таким образом, спонтанные колебания, сопровождающие удержание вертикальной позы, происходили относительно смещенного под действием звуковой стимуляции среднего положения центра давления. Это смещение можно интерпретировать как стремление испытуемого принять более устойчивое вертикальное положение при собственном пассивном движении, т.е. отражением иллюзии самодвижения в вертикальной позе. Несмотря на то, что наблюдавшееся смещение мало по сравнению с величиной спонтанных колебаний, оно статистически достоверно и может являться не менее важным объективным показателем для формирования иллюзии самодвижения, чем качания.

Изменение этого показателя возникало только в группе ПЗ в ответ на приближающиеся звуковые образы. Известно, что у ПЗ легче возникают иллюзии движения [4]. Поэтому полученный в нашей работе результат не противоречит гипотезе о том, что единый когнитивный стиль характерен для восприятия стимулов разных модальностей.

В результате отдельного анализа постральных ответов в группах ПЗ и ПН испытуемых получили различия в средних по группам стабилметрических показателях, в том числе, в величине показателя разброс, который снизился по сравнению с результатами предыдущей работы на 30–50% [11]. Причем, средние значения этого показателя в группе ПЗ уменьшились существенно меньше, чем в группе ПН. Для последних средние значения разброса находились в диапазоне 1.2–1.4, что было меньше результатов, полученных как в упомянутой выше работе, так и в группе ПЗ. Эти данные указывают на то, что различия в когнитивном стиле являются одной из причин полученной ранее варибельности в показателях позных ответов. Существенным представляется тот факт, что различия в разбросе в группах ПН и ПЗ наблюдаются и во время, и после окончания стимуляции, как при движущихся, так и при стационарных звуковых стимулах. Следовательно, ПЗ и ПН субъекты не только по-разному реагируют на сенсорную информацию, но и по-разному поддерживают равновесие в отсутствие сенсорной стимуляции. Эти данные расширяют представления о различных стратегиях поддержания равновесия в группах ПЗ и ПН [2, 3].

В ответ на звуковые сигналы, сходные по интенсивности, спектральной полосе и временным параметрам, но не содержащие признаков движения в пространстве, изменений положения ЦД во время прослушивания по сравнению с интервалом до стимуляции не возникало. Следовательно, не звуковая стимуляция как таковая, а именно восприятие движения приводило к описанному выше изменению показателей, характеризующих вертикальную позу. Изменения стабилографических показателей в группах ПН и ПЗ имели качественно сходный характер, но количественные различия оказались существенными. Они подтверждали представление о том, что ПЗ испытуемые, характеризующиеся предпочтительностью использования экстероцептивной (зрительной, слуховой), а не проприоцептивной информации, более склонны к формированию иллюзий самодвижения, чем ПН испытуемые, для которых в задаче поддержания равновесия больший вес имеет проприоцептивная (кинестетическая, вестибулярная) информация. Полученные нами результаты позволяют предполагать, что и при решении других задач пространственного восприятия могут проявляться индивидуальные особенности когнитивного стиля испытуемого.

Таким образом, результаты настоящей работы свидетельствуют в пользу гипотезы о том, что зрительный когнитивный стиль универсален при решении пространственных задач и может проявляться в величине показателей, характеризующих реакцию вертикальной позы в ответ на слуховую информацию о движении.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи выражают благодарность И.Е. Антифееву за помощь в первичной обработке данных.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания (темы № АААА-А18-118013090245-6 и № АААА-А18-118050790159-4) при частичной поддержке РФФИ (№ 15-04-02816).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Witkin H.* Perception of body position and of the position of the visual field. Psychological monographs: general and applied. 63(7): 1–46. 1949.
2. *Isableu B., Ohlmann Th., Cremieux J., Amblard B.* Selection of spatial frame of reference and postural control variability. Exp. Brain Res. 114: 584–589. 1997.
3. *Isableu B., Ohlmann Th., Cremieux J., Amblard B.* Differential approach to strategies of segmental stabilization in postural control. Exp. Brain Res. 150: 208–221. 2003.
4. *Demick J., Wapner S.* Field Dependence-independence: Bio-psycho-social Factors Across the Life Span. Psychology Press. 2014.
5. *Холодная М.А.* Когнитивные стили. О природе индивидуального ума. СПб. Питер. 2004. [*Kholodnaya M.A.* Kognitivnye stili. O prirode individual'nogo uma [Cognitive styles. About the nature of individual mind]. Saint-Petersburg. Piter. 2004].
6. *Jack C.E., Thurlow W.R.* Effects of degree of visual association and angle of displacement on the “Ventriloquism” effect. Percept. and Motor Skills. 37(3): 967–979. 1973.
7. *Hendrickx E., Paquier M., Koehl V., Palacino J.* Ventriloquism effect with sound stimuli varying in both azimuth and elevation. J. Acoust. Soc. Am. 138(6): 3686–3697. 2015.
8. *Kolarik A.J., Moore B.C., Zahorik P., Cirstea S., Pardhan S.* Auditory distance perception in humans: a review of cues, development, neuronal bases, and effects of sensory loss. Atten. Percept. Psychophys. 78(2): 373–395. 2016.
9. *Jain A., Sally S.L., Papathomas T.V.* Audiovisual short-term influences and aftereffects in motion: Examination across three sets of directional pairings. J. Vision. 8(7): 1–13. 2008.
10. *Гурфинкель В.С., Левик Ю.С.* Концепция схемы тела и моторный контроль. Интеллектуальные процессы и их моделирование. Организация движений. М. Наука. 1991. [*Gurfinkel' V.S., Levik Yu.S.* Konceptsiya shemy tela i motorny kontrol'. Intellektual'nye processy i ikh modelirovanie. Organizatsiya dvizhenij [Body scheme conception and motor control. Organization of movements]. Moscow. Nauka. 1991].
11. *Андреева И.Г., Боброва Е.В., Антифеев И.Е., Гвоздева А.П.* Проявление последействия приближения и удаления звуковых образов в постуральных ответах у человека. Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 102(8): 976–989. 2016. [*Andreeva I.G., Bobrova E.V., Antifeev I.E., Gvozdeva A.P.* Aftereffects of approaching and receding sound sources on postural responses in human. Russ. J. Physiol. 102(8): 976–989. 2016. (In Russ.)].
12. *Бобошко М.Ю., Гарбарук Е.С., Жилинская Е.В., Абу-Джамеа А.Х.* Использование теста обнаружения паузы для оценки временной разрешающей способности слуховой системы человека. Рос. отоларингология. (6): 16–20. 2012. [*Boboshko M.Yu., Garbaruk E.S., Zhilinskaya E.V., Abu Jamee A.H.* The use of the gap detection test to assess temporal resolution of human auditory system. Rus. Otolaringology. (6): 16–20. 2012. (In Russ.)].
13. *Вартанян И.А., Андреева И.Г., Мазинг А.Ю., Маркович А.М.* Моделирование фронтального приближения и удаления звукового источника. Авиакосмическая и экологическая медицина. 33(5): 36–40. 1999. [*Vartanyan I.A., Andreeva I.G., Mazing A.Yu., Markovich A.M.* Modeling the frontal closing and departure of the sound source. Aerospace and Environment. Med. 33(5): 36–40. 1999. (In Russ.)].
14. *Гвоздева А.П., Андреева И.Г.* Оценка продолжительности слухового последействия при длительной адаптации к приближению звукового источника. Сенсорные системы. 27(3): 205–215. 2013. [*Gvozdeva A.P., Andreeva I.G.* Estimation of the auditory motion aftereffect's duration in case of long-term adaptation to approaching sound source. Sensory Systems. 27(3): 205–215. 2013. (In Russ.)].
15. *Al'tman Ya.A., Gurfinkel' V.S., Varyagina O.V., Levik Yu.S.* The effects of moving sound images on postural responses and the head rotation illusion in humans. Neurosci. Behav. Physiol. 35(1): 103–106. 2005.
16. *Soames R.W., Raper S.A.* The influence of moving auditory fields on postural sway behaviour in man. Eur. J. Appl. Physiol. 65: 241–245. 1992.

17. *Previc F.H., Mullen T.J.* A comparison of the latencies of visually induced postural change and self-motion perception. *J. Vestib. Res.* (1): 317–1323. 1990.
18. *Warren W.H.* Self-motion: visual perception and visual control. *Handbook of Perception and Cognition: Perception of Space and Motion.* San Diego, CA. Acad. Press. 1995.
19. *Apthorp D., Nagle F., Palmisano S.* Chaos in balance: nonlinear measures of postural control predict individual variations in visual illusions of motion. *PLoS One.* 9(12): e113897. 2014.
20. *Palmisano S., Apthorp D., Seno T., Stapley P.J.* Spontaneous postural sway predicts the strength of smooth vection. *Exp. Brain Res.* 232: 1185–1191. 2014.
21. *Väljamäe A.* Auditorily-induced illusory self-motion: A review. *Brain Res. Rev.* 61: 240–255. 2009.
22. *Гехман Б.И.* Аудиокинетический нистагм. Сенсорные системы. 5(2): 71–78. 1991. [Gekhman B.I. [Audiokinetic nystagmus. Sensory Systems. 5(2): 71–78. 1991 (In Russ.)].
23. *Boccia M., Piccardi L., Di Marco M., Pizzamiglio L., Guariglia C.* Does field independence predict visuo-spatial abilities underpinning human navigation? Behavioural evidence. *Exp. Brain Res.* 234(10): 2799–2807. 2016.
24. *Mitolo M., Gardini S., Caffarra P., Ronconi L., Venneri A., Pazzaglia F.* Relationship between spatial ability, visuospatial working memory and self-assessed spatial orientation ability: a study in older adults. *Cogn. Process.* 16: 165–176. 2015.
25. *Willey C.R., Jackson R.E.* Visual field dependence as a navigational strategy. *Atten. Percept. Psychophys.* 76(4): 1036–1044. 2014.
26. *Berthelon C., Mestre D., Pottier A., Pons R.* Is visual anticipation of collision during self-motion related to perceptual style? *Acta Psychologica.* 98(1): 1–16. 1998.

Postural Responses on Moving Sound Images Depending on the Dominant Sensory Modality in Case of Spatial Orientation

I. G. Andreeva^{a, *}, A. P. Gvozdeva^a, E. V. Bobrova^b

^a*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Saint Petersburg, Russia*

^b*Pavlov Institute of Physiology, Saint Petersburg, Russia*

*e-mail: ig-andreeva@mail.ru

Abstract—Influences of individual characteristics of sensory information processing in humans on postural responses to approaching and receding sound images were investigated. Two groups of subjects with different cognitive style were examined (8 field-dependent and 9 field-independent individuals). Stabilographic signals before, during and after sound stimulation of different types (approaching, receding and unmoving sound images) were recorded, and the following characteristics of the center of pressure (COP) sway along sagittal axis were analyzed: COP trajectory length, average linear velocity, COP shift, and variation. Substantial differences were revealed between the strategies of equilibrium maintenance in the two groups of subjects. COP variation was higher for the field-independent group of subjects in all time intervals. Comparative analysis of COP characteristics received during sound stimulation showed that COP trajectory length and average linear velocity in the field-independent group was higher than ones in the field-dependent group only for receding sound images. Field-dependent subjects demonstrated reliable backward COP shift during listening by subject to approaching sound images. Unmoving sound images received during their listening did not influence any of the studied COP characteristics. The differences in postural control system responses, which were revealed, are in good agreement with the idea about predominant usage of sensory information of different modalities by the investigated groups of subjects: exteroceptive information in field-dependent, and proprioceptive in field-independent individuals.

Keywords: postural control system, spatial orientation, dominant sensory modality, cognitive style, motion perception, embedded figures test