
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РЕАКЦИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ В ОТВЕТ НА ЗВУКИ ПРИБЛИЖАЮЩИХСЯ СПЕРЕДИ И СЗАДИ ШАГОВ У ЛЮДЕЙ РАЗНОГО ПЕРЦЕПТИВНО-КОГНИТИВНОГО СТИЛЯ

©2024 г. О. П. Тимофеева¹, И. Г. Андреева^{1,*}

Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН,

Санкт-Петербург, Россия

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

Поступила в редакцию 15.08.2024 г.

После доработки 12.09.2024 г.

Принята к публикации 20.09.2024 г.

Перцептивно-когнитивный стиль полезависимость/поленезависимость определяет ведущую модальность при ориентации в пространстве и стратегию поддержания позы в отсутствие дистантной стимуляции. В работе изучали реакции вертикальной позы в ответ на слуховое восприятие конспецифического движения у полезависимых (ПЗ) и поленезависимых (ПН) испытуемых. Для двух групп испытуемых (12 ПЗ и 12 ПН) регистрировали стабилограмму в стандартной позе при закрытых глазах. Звуки шагов были созданы на основе предзаписи в помещении с реверберацией. В условиях свободного поля применяли звуки шагов, приближающиеся сзади и спереди в течение 24 с. Контрольный сигнал представлял собой повторяющийся шаг на месте, подаваемый сзади. Анализировали динамику положения центра давления (ЦД) в течение 64 с по показателям смещение и длина траектории ЦД по сагиттальной оси, площадь доверительного эллипса, учитывающую изменение по двум осям. Обнаружена небольшая дестабилизация позы во время звуковой стимуляции в обеих группах испытуемых. Выявлены различия в группах: ПЗ испытуемые с началом звукового сигнала смещают ЦД от звука приближающихся сзади шагов (стратегия “беги”), тогда как ПН испытуемые в момент предъявления сигнала смещают центр давления к источнику звука (стратегия “бей”). Полученные результаты обосновывают возможность применения звуковой стимуляции в реабилитационных мероприятиях при лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата с учетом индивидуальных особенностей восприятия у пациентов.

Ключевые слова: регуляция позы, конспецифическое движение, ориентация в пространстве, межсенсорное взаимодействие, когнитивный стиль, полезависимость

DOI: 10.31857/S0869813924120019, **EDN:** VGENHC

ВВЕДЕНИЕ

Поддержание вертикальной позы выполняется с участием полимодальной афферентации со сложной иерархической структурой. Экстероцептивные и интeroцептивные влияния определяют устойчивость вертикальной позы и ее изменения [1–4]. Реакция вертикальной позы в ответ на дистантную информацию можно рассматривать как

подготовку к последующему движению, которая выражается во временной дестабилизации позы.

Ранее нами было показано, что ожидание внешнего звукового стимула приводит к преднастройке вертикальной позы [5]. По данным стабилометрии, центр давления (ЦД) смещается назад, изменяются основные показатели колебаний ЦД – длина его траектории и площадь доверительного эллипса, которая характеризует рабочую площадь опоры человека [6, 7]. Во время звуковой стимуляции изменения становятся более выраженными, нарастаю во времени постепенно. Их величина зависит как от содержания стимуляции (эмоциональная составляющая, ритм и направление движения звукового стимула), так и от продолжительности звучания сигнала [8–12].

Изучение вертикальной позы под действием звуков разного смыслового содержания и различной локализации, в частности стационарной или постоянно меняющейся, выявило противоположные эффекты на вертикальную позу. В одних работах [13, 14] параметры позы свидетельствовали о ее дестабилизации, тогда как в других [15, 16] происходило “заякоревание” – стабилизация увеличивалась.

Помимо параметров звуковой стимуляции на реакции вертикальной позы влияют индивидуальные особенности человека. Ориентация в пространстве – это один из основных процессов, который отражается в реакциях позы. Мультисенсорная интеграция при ориентации определяется на основе вклада основных модальностей – зрительной и вестибулярной [17, 18]. Известно, что сенсорно-перцептивный стиль (полезависимость), присущий конкретному индивиду, определяет преобладающую из них [19, 20]. Полезависимые индивиды опираются на дистантную зрительную модальность, тогда как поленезависимые – на вестибулярную. Ведущая модальность оказывается и на характеристиках поддержания позы [21, 22].

Основным источником дистантной информации в случае отсутствия зрительной информации становится слух. При разделении испытуемых на группы с разным перцептивно-когнитивным стилем были обнаружены различия в стабилометрических показателях поддержания позы во время звуковой стимуляции движущимися звуковыми образами [23, 24].

Следует отметить, что звуковой образ содержит лишь такие параметры движения, как скорость, направление, траектория перемещения, и не конкретизирует информацию о движущемся объекте, тогда как конспецифический звуковой сигнал предполагает движение субъекта своего вида. Звуки приближающихся шагов означают контакт с другим человеком. В случае применения такой звуковой стимуляции в группе испытуемых нами были обнаружены постуральные реакции с высокой вариативностью показателей [25]. Целью настоящей работы было доказать, что обнаруженная нами ранее разница в стратегии поддержания позы в ответ на звуковую информацию о движении [24] у людей с разным перцептивно-когнитивным стилем имеет универсальный характер. Мы предположили, что ввиду высокой биологической значимости конспецифического сигнала различия в постуральных реакциях будут не менее значительными, чем в случае движущегося звукового образа. Для решения этого вопроса мы дополннили методику тестом Готтшальда, что позволило сформировать группы с разным когнитивно-перцептивным стилем и проанализировали параметры ЦД в группах полезависимых и поленезависимых испытуемых при звуковой стимуляции конспецифическими сигналами.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено с участием 24 испытуемых: 12 полезависимых (ПЗ) – 6 женщин, 6 мужчин (средний возраст 24.1 ± 3.0 года), и 12 поленезависимых (ПН) – 7 женщин и 5 мужчин (средний возраст 25.7 ± 1.9 лет). Все декларировали отсутствие у них нарушений вестибулярной системы и опорно-двигательного аппарата. У испы-

туемых проводили оценку состояния слуха методом стандартной тональной воздушной аудиометрии с помощью клинического аудиометра АА-02 (“Биомедилен”, Россия). Тест на обнаружение паузы [26] был использован для определения состояния центрального отдела слухового анализатора. Оба аудиометрических теста были успешно пройдены всеми испытуемыми. Когнитивный стиль испытуемых (полезависимость—поленезависимость) определяли с помощью сжатой российской версии теста Готтшальдта (Embedded Figures Test) [27].

Звуковые сигналы, использованные в работе, были предварительно созданы на основе предзаписи в длинном коридоре с реверберацией (рис. 1а). Для записи звука использовали ноутбук с внешним USB-аудиоинтерфейсом AKAI EIE. Стереозапись шагов выполняли с применением калиброванной пары конденсаторных микрофонов Oktava MK 012. Как показано на рис. 1а, их располагали на расстоянии 15 см от пола в направлении движущегося человека и параллельно друг другу с расстоянием, равным среднему межшажному – 15.5 см. Уровень реверберации составил 35 дБ в течение 400 мс. Эхо-сигналы щелчков были зарегистрированы через 15 и 38 мс. Осциллограмма звуков приближающихся шагов и контрольного сигнала – звукового фрагмента повторяющегося шага на месте, представлены на рис. 1б, с. Во время записи сигналов в головные телефоны подавали звуки метронома, которые задавали ритм шагов. Он составлял 133 шаг./мин, что соответствовало скорости около 1.6 м/с. Звуковая стимуляция включала три одинаковых 6.5-секундных фрагмента записи звуков шагов с интервалами 0.5 с.

Во время исследования испытуемый находился в звукоизолированной анэхойдной камере объемом 62.5 м³ (уровень ослабления внешнего шума в диапазоне частот от 0.5 до 16 кГц составлял не менее 40 дБ). Испытуемый стоял в центре камеры на стабилометрической платформе Стабилан-01-2 (ОКБ “Ритм”, Таганрог, Россия) в позе: “пялки вместе, носки врозь”, руки опущены вдоль тела, глаза закрыты. Регистрация положения ЦД тела осуществлялась программой Stabimed 2.05, частота дискретизации сигнала ЦД – 50 Гц. Постуральные показатели регистрировали в течение 96 с: 40 с тишины перед стимуляцией, 20.5 с звуковой стимуляции и 35.5 с тишины после стимуляции одним из трех видов стимулов: звуки шагов, приближающихся спереди и сзади, а также контрольный сигнал, не содержащий информации о движении. Последний представлял собой многократное повторение звуковой записи одного шага, подаваемой из громкоговорителя, расположенного позади испытуемого. Звуковую стимуляцию производили с одного из двух громкоговорителей, расположенных на высоте 1.6 м и расстоянии 2.0 м спереди и сзади от стоящего на платформе испытуемого. Генерацию звука осуществляли с ПК через USB-аудиоинтерфейс Creative E-MU 0202. Уровень сигнала на громкоговорителе регулировали с помощью усилителя мощности NevaAudio SA-3004. С помощью микрофона 41-45, предусилителя 26-39 и усилителя 26-06 (Brüel and Kjøer) проводили измерения уровня сигнала в месте головы испытуемого. Максимальный уровень всех звуковых раздражителей в месте прослушивания составлял 52 дБ УЗД.

Для каждого испытуемого выполняли по 10 циклов регистрации при каждом типе стимуляции. После двух записей стабилограммы испытуемый мог сойти с платформы для 2–10-минутного отдыха. Общая продолжительность исследования не превышала двух часов.

Полученные стабилограммы в последующем были разделены на периоды длительностью 8 с. Анализ стабилометрических показателей был выполнен для 8 периодов: 1 период, непосредственно предшествующий стимуляции; 3 периода во время стимуляции (включая 3.5 с после ее окончания с учетом латентного периода постурального ответа [7]; 4 периода после окончания стимуляции. Вертикальную позу оценивали по следующим показателям ЦД тела: длине траектории ЦД тела (ДТ) и смещению вдоль сагиттальной оси, характеризующего среднее положение ЦД по сагиттальной оси за

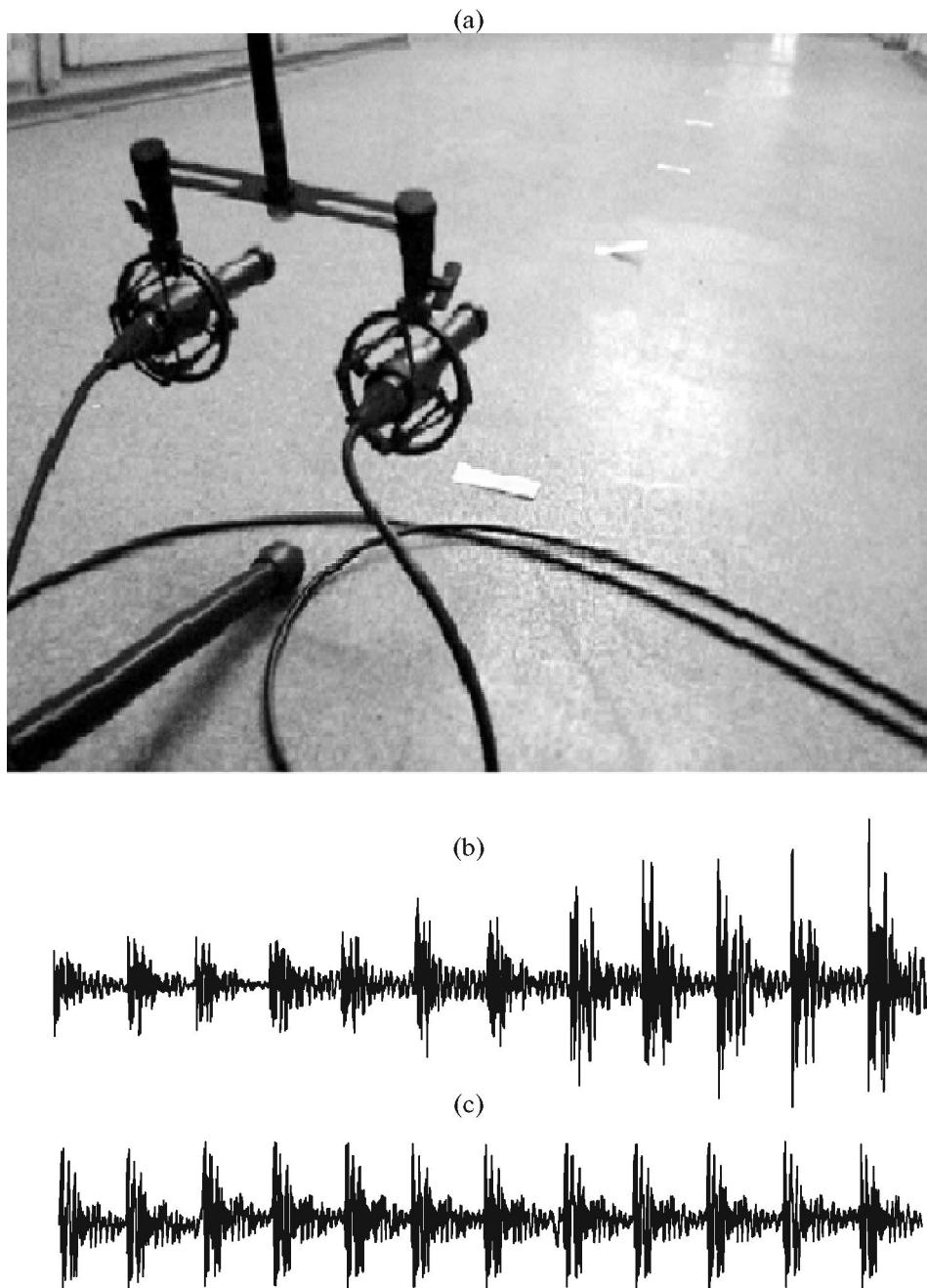


Рис. 1. Запись звуков шагов человека. (а) – положение микрофонной пары при записи конспецифического биологически значимого звукового сигнала – шагов человека с разметкой шага. (б) – осциллограмма одноканальной записи приближающихся в течение 6.5 с шагов. (с) – осциллограмма контрольного сигнала – звуки повторяющегося на месте шага той же продолжительности.

интервал времени. Помимо них определяли площади доверительного эллипса (ПЭ). Последняя характеризует основную часть площади опоры, в которой перемещается ЦД тела при стоянии без случайных выбросов.

Статистические расчеты проводили в пакете программ Statistica v.10. Достоверность различий в показателях ЦД для временных периодов одной регистрации в группах испытуемых оценивали с применением парного непараметрического метода Вилкоксона. Достоверность различий показателей при разных видах стимуляции, т.е. в разных регистрациях, кроме того, между двумя группами испытуемых, определяли с применением непараметрического критерия Манна–Уитни для независимых выборок. Данные представлены как среднее \pm стандартная ошибка среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Динамика постуральных показателей в группах полезависимых и поленезависимых испытуемых

Показатели положения ЦД тела за период, непосредственно предшествовавший звуковой стимуляции, могли отличаться у разных испытуемых в несколько раз. Индивидуальные стабилометрические данные, усредненные по десяти регистрациям ДТ и ПЭ, на который преимущественно проецируется ЦД за этот период, представлены на рис. 2. Вариабельность данных у одного испытуемого в период, предшествующий стимуляции разных видов, не превышала 2.5 раза, тогда как межиндивидуальная вариабельность для ДТ составляла от 35 до 145 мм, а для ПЭ от 27 до 442 мм². Поэтому все величины (I) этих двух показателей в отдельные периоды времени (n), полученные в процессе отдельной регистрации, были нормированы на их значение в первом периоде, предшествовавшем звуковой стимуляции ($I_n/I_1 \times 100, \%$).

Третий показатель положения ЦД – смещение по сагиттальной оси, нормировали с учетом среднего положения ЦД за период, предшествующий стимуляции ($I_n - I_1, \text{мм}$). Такое нормирование позволяло определить направление изменения положения ЦД по отношению к направлению шагов, которые приближались спереди или сзади от испытуемого.

Динамика нормированных значений ДТ, усредненных по двум группам испытуемых, представлена на рис. 3, слева. С началом звуковой стимуляции ДТ, как правило, увеличивалась, причем ее наибольшее увеличение отмечалось к концу звуковой стимуляции, т.е. наблюдалась небольшая дестабилизация позы. В случае контрольного сигнала увеличение достигало по средним данным 11% в обеих группах испытуемых. Увеличение было достоверно между 1-м и 3–5-м периодами ($p < 0.01, p < 0.05$ и $p < 0.01$ соответственно) для ПЗ испытуемых, а для ПН испытуемых – между 1-м и 3–4-м периодами ($p < 0.01$ и $p < 0.05$ соответственно). Кроме того, получили различия между 1-м и 6–7-м периодами ($p < 0.01$ и $p < 0.05$ соответственно). После контрольного сигнала уменьшение ДТ было достоверным только в группе ПЗ испытуемых при сравнении 5-го и 8-го периодов ($p < 0.05$).

При прослушивании звуков шагов, приближающихся спереди, максимальное увеличение ДТ по сравнению с предшествующим периодом составило 11% в группе ПЗ испытуемых и 7% в группе ПН. Достоверные изменения этого показателя были выявлены только у ПЗ испытуемых при сравнении данных между 1-м и 2–6-м, а также 8-м периодами ($p < 0.05, p < 0.05, p < 0.01, p < 0.05$ и $p < 0.001$ соответственно), для 7-го – в виде тенденции ($p = 0.06$). Таким образом, после периодов звуковой стимуляции данный показатель в группе ПЗ испытуемых не вернулся к исходному уровню.

Во время прослушивания испытуемым звуков приближающихся сзади шагов ДТ увеличивалась в среднем до 15% для группы ПЗ испытуемых и до 8% для ПН. Достоверные различия получили в группе ПЗ испытуемых между 1-м и 3–4-м периодами ($p < 0.001$

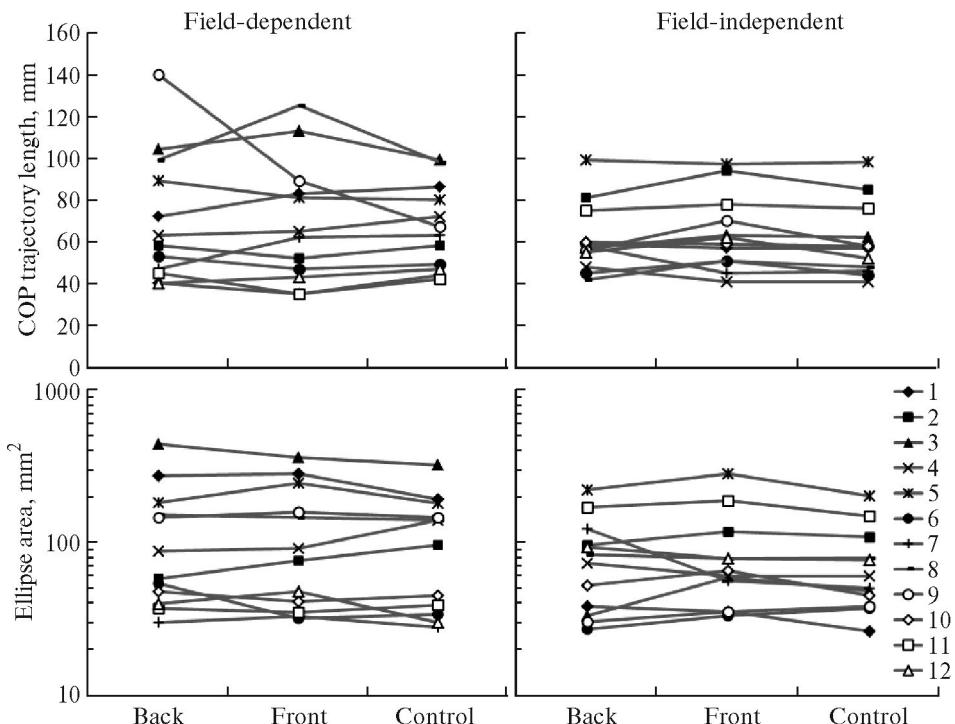


Рис. 2. Индивидуальные показатели положения центра давления тела—длина траектории по сагиттальной оси (вверху) и площадь доверительного эллипса (внизу) в группах полезависимых ($n = 12$) и поленезависимых ($n = 12$) испытуемых в восьмисекундном периоде, предшествующем звуковой стимуляции.

По оси абсцисс – регистрация позы при различной звуковой стимуляции: звуки шагов, приближающихся сзади; звуки шагов, приближающиеся спереди; звуки повторяющегося шага сзади (контроль). 1–12 – номер испытуемого.

и $p < 0.0001$ соответственно), а в группе ПН – между 1-м и 4-м ($p < 0.05$). Отметим, что в 3-м периоде ДТ в ответ на звук приближающихся сзади шагов была достоверно больше в группе ПЗ испытуемых, чем в группе ПН ($p < 0.05$, критерий Манна–Уитни для независимых выборок). Прекращение звуковой стимуляции приводило к снижению данного показателя в обеих группах. Для группы ПЗ испытуемых достоверное уменьшение между 3-м и 6–8-м периодами ($p < 0.01$, $p < 0.05$ и $p < 0.05$ соответственно), а также между 4-м и 5–8-м периодами ($p < 0.01$, $p < 0.001$, $p < 0.01$ и $p < 0.01$ соответственно). В группе ПН испытуемых различие выявлено между 4-м и 6-м периодами ($p < 0.05$).

Сходная динамика наблюдалась и для интегрального показателя вертикальной позы – ПЭ (рис. 3, центр). Увеличение ПЭ получили и в случае шагов, и для контрольного сигнала, не содержащего признаков движения, в группах ПН и ПЗ. При прослушивании контрольного сигнала происходил рост ПЭ: на 73% по средним данным у ПЗ испытуемых и на 80% – у ПН. Достоверные различия выявлены между 1-м и 3–4-м периодами (ПЗ: $p < 0.01$ и $p < 0.001$ соответственно; ПН: $p < 0.001$ в обоих случаях). Во время стимуляции звуками шагов, приближающихся спереди, наблюдали рост показателя в группе ПЗ испытуемых на 50%. Достоверное увеличение ПЭ выявлено между 1-м и 2-м периодами, 1-м и 4-м периодами ($p < 0.05$ и $p < 0.01$ соответственно), а также между 1-м и 6–8-м периодами ($p < 0.05$, $p < 0.01$ и $p < 0.05$ соответственно). В группе ПН испытуемых выявлено увеличение ПЭ на 23%, которое оказалось недостоверным.

При звуках шагов сзади увеличение ПЭ было в среднем до 224% у ПЗ испытуемых, у ПН – до 140%. В последнем случае изменения оказались максимальными. Достоверные различия для ПЗ получили между 1-м и 3–4-м периодами ($p < 0.05$ в обоих случаях). Для группы ПН испытуемых – между 1-м и 2-м, 4-м периодами ($p < 0.01$ в обоих случаях). Различий между группами по ПЭ при прослушивании звуков приближающихся спереди и сзади шагов не было выявлено.

После окончания звуковой стимуляции ПЭ в одних случаях уменьшалась, а в других – мало изменялась на протяжении 32 с анализа этого показателя. В случае контрольного сигнала и звуков шагов спереди ПЭ сохранялась увеличенной по сравнению с ее величиной до начала звуковой стимуляции в обеих группах. Изменения были достоверными ($p < 0.05$), кроме трех последних периодов анализа в случае стимуляции звуками шагов спереди в группе ПН испытуемых.

По окончании звука приближающихся сзади шагов в группе ПЗ испытуемых происходило достоверное уменьшение ПЭ от 4-го периода к 6-м и 7-м периодам ($p < 0.05$ в обоих случаях). В группе ПН также наблюдали снижение от четвертого периода до шестого ($p < 0.01$).

Показатель смещения оценивали относительно периода, предшествовавшего звуковой стимуляции. При прослушивании контрольного сигнала достоверные изменения показателя были выявлены только для группы ПН испытуемых между 1-м и 3–4-м

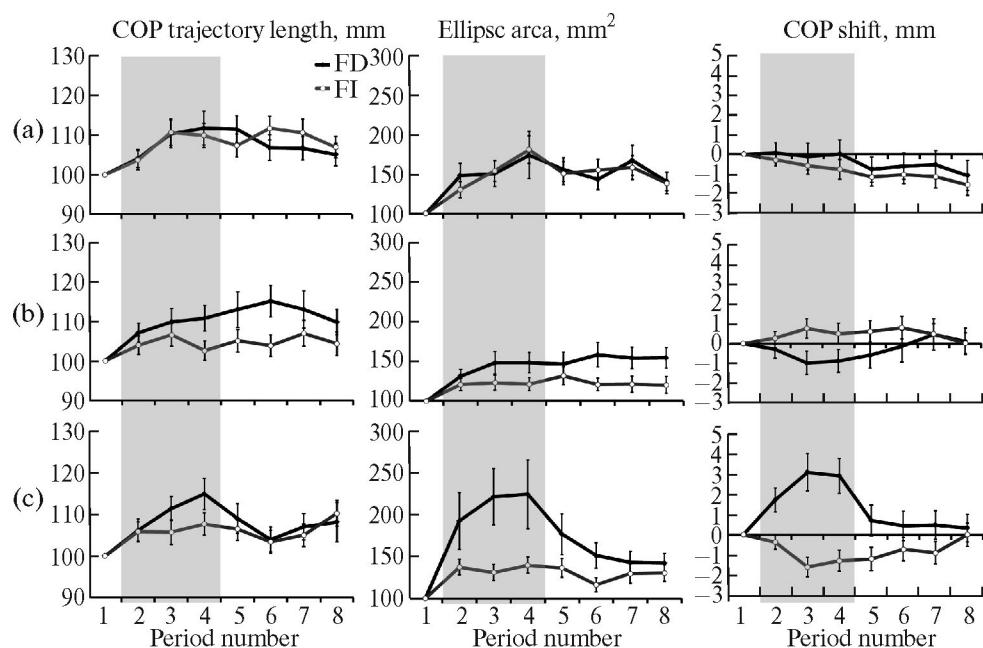


Рис. 3. Динамика стабилографических показателей в ответ на конспецифическое движение – звуки человека в группах полезависимых (FD) и поленезависимых (FI) испытуемых.

Стабилографические показатели: слева – длина траектории вдоль сагиттальной оси; по центру – площадь эллипса; справа – смещение вдоль сагиттальной оси.

(а) – контрольный сигнал, (б) – звуки шагов, приближающихся спереди, (с) – звуки шагов, приближающихся сзади.

По абсциссе – восьмисекундные периоды наблюдения: 1 – до стимуляции, 2–4 – во время нее (периоды выделены), 5–8 – после окончания звуковой стимуляции.

Данные представлены как среднее \pm стандартная ошибка среднего.

периодами в виде тенденции ($p = 0.06$ и $p = 0.07$ соответственно) (см. рис. 3, справа). После прослушивания сигнала ПН испытуемые продолжали смещаться назад. Достоверные различия получили между 1-м и 5–8-м периодами ($p < 0.01$ во всех случаях).

В ответ на звуки приближающихся шагов испытуемые с разным перцептивно-когнитивным стилем смещались в противоположных направлениях. ПЗ испытуемые отклонялись назад в ответ на шаги спереди, ПН испытуемые, наоборот, смещали ЦД вперед. Средние по группе изменения положения ЦД при сравнении последовательных периодов были недостоверными. Различия показателя смещения были выявлены только в виде тенденции между 1-м и 4-м периодами ($p = 0.08$) в одной из групп – у ПЗ испытуемых. При приближающихся шагах сзади ПЗ и ПН испытуемые также смещались в противоположных направлениях. ПЗ испытуемые смещались в среднем по группе на 3 мм вперед от положения, которое они занимали перед началом стимуляции. Достоверные изменения выявлены между 1-м и 3–4-м периодами ($p < 0.05$), а также 1-м и 2-м периодами в виде тенденции ($p = 0.06$). Испытуемые группы ПН отклонялись назад до 1.6 мм, достоверные изменения были между 1-м и 3–5-м периодами ($p < 0.01$, $p < 0.05$ и $p < 0.05$ соответственно).

По окончании звуков шагов сзади испытуемые обеих групп смещались к положению, которое они занимали перед воздействием. ПЗ испытуемые смещались назад с разницей между 4-м и 5–8-м периодами ($p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.05$, $p < 0.05$ соответственно). ПН испытуемые смещались вперед, достоверная разница была выявлена только между 3-м и 8-м периодами ($p < 0.05$). После прослушивания звуков спереди достоверных изменений смещения ЦД не было показано. В случае контрольного сигнала различия были выявлены в группе ПЗ испытуемых только между 8-м и 2-м периодами ($p < 0.05$) и в группе ПН испытуемых – между 8-м и 2-м, 6-м периодами ($p < 0.01$ и $p < 0.05$ соответственно).

Сравнение постуральных реакций двух групп испытуемых

Сопоставление показателей, характеризующих положение ЦД тела в двух группах испытуемых, показало, что при звуках приближающихся шагов возникает небольшая дестабилизация позы, которая сопровождается смещением положения ЦД тела в направлении, совпадающем с направлением звуковой стимуляции в группе ПЗ испытуемых, тогда как в группе ПН испытуемых смещение положения ЦД происходит в направлении, противоположном приближающимся шагам.

Сравнение ДТ между группами испытуемых разных перцептивно-когнитивных стилей в последовательные периоды показало достоверные различия только во время прослушивания звуков шагов, приближающихся сзади (3-й период, $p < 0.05$, критерий Манна–Уитни для независимых выборок). По показателю смещение обнаружено различие между группами в случае звуков шагов, приближающихся сзади. Достоверное различие выявили как во время стимуляции, так и после нее: во 2–5-м и 7-м периодах ($p < 0.05$, $p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.05$ и $p < 0.05$ соответственно) (см. рис. 3). По показателю ПЭ достоверных различий между двумя группами не обнаружено ни в одном из периодов при всех видах стимуляции.

Изменение положения ЦД в последовательные временные периоды в двух группах испытуемых было противоположно направлено при звуках шагов, приближающихся спереди и сзади (рис. 4). Положение ЦД при прослушивании шагов спереди и сзади достоверно различалось в 3-м и 4-м периодах ($p < 0.05$) в обеих группах. Во 2-м периоде в группе ПЗ испытуемых отмечена тенденция ($p = 0.09$). По окончании стимуляции в группе ПН испытуемых в положении ЦД различалось в 5-м периоде ($p < 0.05$) и в виде тенденции в 6-м и 7-м периодах ($p = 0.08$ и $p = 0.06$ соответственно).

Таким образом, помимо ожидаемой дестабилизации позы во время звуковой стимуляции, было обнаружено различие в двух группах ПЗ и ПН испытуемых по параметру смещение, которое указывало на разные постуральные ответы при приближении конспецифического сигнала.

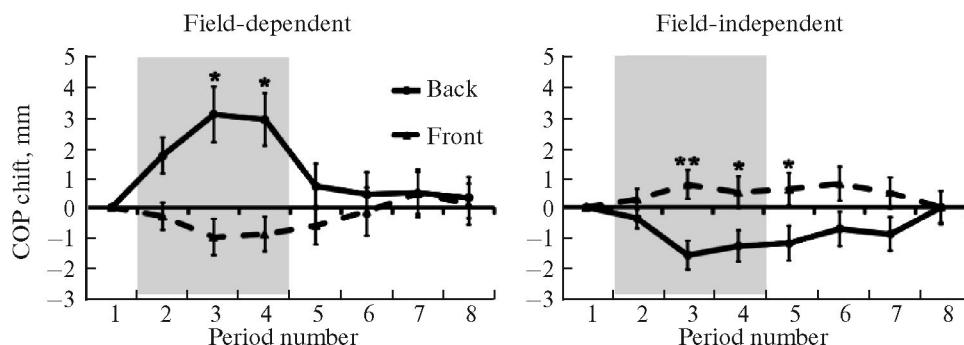


Рис. 4. Смещения ЦД тела по сагиттальной оси при прослушивании звуков шагов, приближающихся спереди и сзади, в группах полезависимых (слева) и поленезависимых (справа) испытуемых.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, Wilcoxon Matched Pairs Test. $n = 120$. Остальные обозначения как на рис. 3.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Индивидуальные показатели положения ЦД во временном 8-секундном интервале перед началом звуковой стимуляции выявили высокую вариабельность в группах ПЗ и ПН испытуемых (см. рис. 2). Поскольку поддержание вертикальной позы является сложной двигательной задачей, то вариабельность показателей позы определяется влиянием значительного числа внешних и внутренних факторов [1–4, 28]. Это послужило основанием для нормировки показателей в последующие временные периоды со звуковой стимуляцией и после нее для корректного описания реакций позы в ответ на звуковую стимуляцию. Такое нормирование позволяет исключить большинство из этих факторов и проследить динамику постуральных показателей при звуковом воздействии. Заметим, что в выполненных нами ранее работах показатели ЦД тела при постуральных стойках в тишине с закрытыми глазами также проявляли значительную индивидуальную вариабельность [22, 25].

Звуковая стимуляция, которую мы применяли в данной работе в качестве контрольной, не содержала признаков движения (звук одного шага многократно повторялся). Она приводила к монотонному изменению положения ЦД – смещению назад в течение всего периода анализа, что было характерно для периодов ожидания сигнала в предыдущих работах и наблюдалось для обеих групп – ПН и ПЗ испытуемых [5], и при стоянии в тишине с открытыми или закрытыми глазами [29, 22]. Отметим, что контрольная звуковая стимуляция сзади приводила к небольшой дестабилизации позы.

Приближающиеся шаги независимо от направления прихода звука, т.е. при их по-дache с расположенного спереди или сзади излучателя, приводили к усилению качаний в сагиттальной плоскости по сравнению с периодом до стимуляции в обеих обследованных группах – ПН и ПЗ испытуемых. Во время звуковой стимуляции происходило увеличение длины траектории ЦД и площади эллипса. Причем даже по средним в группе испытуемых данным можно было наблюдать значительную латентность ответа. Постуральные показатели нарастили с началом стимуляции и снижались после ее окончания настолько медленно, что даже анализ временных интервалов по восемь секунд позволял выявить задержку в ответ на изменения звукового воздействия.

В настоящем исследовании более выраженное увеличение длины траектории в периоды прослушивания звуков шагов наблюдали в группе ПЗ испытуемых, хотя ранее изменения были больше в группе ПН [5, 25]. Поэтому в данной работе не подтвердилось наше предположение о том, что различия в постуральных реакциях связаны

с большей пространственной избирательностью зрительного и слухового внимания у ПН испытуемых, чем у испытуемых ПЗ. Причиной противоречия в данных мог служить случайный подбор испытуемых с разными морфометрическими данными, в том числе соотношением рост/вес [1].

Тем важнее нам представляется результат, полученный для смещения ЦД в двух группах с разным когнитивным стилем и совпадающий с выявленным ранее различием в стратегии реагирования на движущиеся звуковые образы [23, 24]. Во всех этих работах испытуемый пассивно прослушивал звуковые сигналы в свободной позе, поэтому полученные данные можно интерпретировать как непроизвольное реагирование на них. В настоящей работе в группах ПН и ПЗ испытуемых были получены достоверные различия по смещению ЦД в ответ на звуки шагов, приближающихся спереди и сзади. Причем в группе ПЗ испытуемых при шагах сзади получили смещение вперед, а при шагах спереди – назад, т.е. наблюдали непроизвольное избегание источника, тогда как ПН испытуемые смещали ЦД навстречу приближающимся шагам в обоих случаях, т.е. проявляли готовность к контакту с источником звука. Учитывая видоспецифический характер сигнала и непроизвольность реакции, полученный результат можно интерпретировать как непроизвольную подготовку к реализации стратегии “бей” или “беги”. Ранее мы наблюдали аналогичные реакции при регистрации позы в ответ на приближающийся звуковой образ при расположении источника спереди, но не на удаляющийся [24]. Отметим, что в настоящей работе наиболее выраженные постуральные реакции в обеих группах возникали в ответ на звуки шагов, приближающихся сзади. При стимуляции спереди получили смещение по сравнению с предшествующим ей периодом на уровне тенденции и только в группе ПЗ испытуемых, тогда как при звучании непрерывного приближающегося звукового образа смещение было достоверным [24].

На величину и продолжительность постурального ответа существенное влияние оказывает длительность стимуляции [12]. В настоящей работе общая продолжительность звуковой стимуляции была более чем в 2 раза короче, чем в исследовании с приближающимся звуковым образом, что повлияло на величину смещения в ответ на звук. Помимо продолжительности звучания, есть существенные различия в самой структуре стимулов. Шаги представляют собой дискретные звуки с редким ритмом (см. рис. 1). Другой их особенностью является неоднородность, приводящая к немонотонному изменению громкости последовательных шагов. Известно, что прерывистое движение усиливает неопределенность и создает сложность для сл�ушателя при оценке направления движения в течение первых секунд [30]. Эти особенности звуков шагов как акустического сигнала могут отличаться по своему воздействию на вертикальную позу по сравнению с непрерывными движущимися звуковыми образами.

С учетом описанных выше особенностей звуков шагов можно считать, что при применении звуковых сигналов конспецифического движения мы подтвердили полученный ранее результат, который можно интерпретировать как реализацию на неосознанном уровне двух разных стратегий поведения – “бей” или “беги” – группами ПН и ПЗ испытуемых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конспецифическая звуковая информация о приближении объекта вызывала в ответ небольшую дестабилизацию позы в сагиттальной плоскости, причем постуральные реакции различались у ПН и ПЗ испытуемых. У первых – смещение ЦД возникало в том же направлении, что и у движущегося объекта, и свидетельствовало об избегании контакта по типу “беги”, тогда как у вторых – навстречу объекту, по типу “бей”. Из социологических исследований известно, что первая группа больше склонна к конформизму, для нее характерна меньшая агрессивность [31]. Мы полагаем, что полученные

нами данные раскрывают физиологическую основу такого поведения. Наиболее выраженные изменения позы возникали при приближении сзади, что демонстрирует роль сторожевой функции слуха.

Конспецифическая информация звуков шагов имеет важную особенность – редкий ритм, в результате формируется прерывистое движение. Поэтому звуки шагов оказались менее информативны при оценке направления, чем непрерывное движение. Реакции в ответ на звуки шагов были не так четко выражены, чем на непрерывные движущиеся звуковые образы. Возможно, записи речи приближающегося человека могут быть более эффективны при формировании постуральных ответов.

Полученные данные о характере дестабилизации позы в ответ на звуковую стимуляцию и направлении смещения положения центра давления могут найти применение в реабилитационных методиках для пациентов с поражением опорно-двигательного аппарата. Существующие методы дестабилизации позы с применением зрительной информации ограничены полями зрения, тогда как сторожевая функция слуха оказывается более эффективной для постуральных тренировок устойчивости, предполагая любое направление смещения центра давления тела. Выявленные в работе особенности реагирования на конспецифический сигнал и индивидуальные различия в реакциях позы имеют значение для формирования индивидуально ориентированных методик реабилитации пациентов с постуральными нарушениями, способов уменьшения рисков падения и потери равновесия.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают благодарность А.П. Гвоздевой за выполнение стереозаписей звуков шагов и оценку акустических характеристик помещения, в котором проводилась аудиозапись.

ВКЛАДЫ АВТОРОВ

Идея работы и планирование эксперимента (А.И.Г., Т.О.П.), сбор данных (Т.О.П.), обработка данных (Т.О.П.), написание и редактирование манускрипта (А.И.Г., Т.О.П.).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Настоящая работа финансировалась за счет средств бюджета государственного задания № 075-00264-24-00 на базе Центра коллективного пользования Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (ЦКП ИЭФБ РАН, <https://www.iephb.ru/czentr-kollektivnogo-polzovaniya>). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

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 Комитетом по этике Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, протокол № 01-03 от 20.03.2024 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 настоящей работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alonso AC, Mochizuki L, Silva Luna NM, Ayama S, Canonica AC, Greve JM (2015) Relation between the sensory and anthropometric variables in the quiet standing postural control: Is the inverted pendulum important for the static balance control? *BioMed Res Int* 1: 985312. <https://doi.org/10.1155/2015/985312>
2. Bovonsunthonchai S, Hengsomboon P, Tangluang S, Anusri P, Chotikul P, Phiwmou W (2019) The effect of sound and vibration on postural balance in healthy young adults. *Walailak J SciTechnol (WJST)* 16(12): 975–983. <https://doi.org/10.48048/wjst.2019.5572>
3. Bove M, Fenoglio C, Tacchino A, Pelosin E, Schieppati M (2009) Interaction between vision and neck proprioception in the control of stance. *Neuroscience* 164(4): 1601–1608. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.09.053>
4. Zhong X, Yost WA (2013) Relationship between postural stability and spatial hearing. *J Am Acad Audiol* 24: 782–788. <https://doi.org/10.3766/jaaa.24.9.3>
5. Timofeeva OP, Gvozdeva AP, Bobrova EV, Andreeva IG (2019) Anticipatory Postural Adjustments for Auditory Motion Information. *J Evol Biochem Phys* 55: 502–505. <https://doi.org/10.1134/S0022093019060097>
6. Стабилоанализатор компьютерный с биологической обратной связью. Руководство пользователя. (2023) ЛТБЖ.941329.002 РП. ЗАО “ОКБ “РИТМ” Таганрог. [Stabiloanalyzer with Biofeedback. User Manual. (2023) OKB “Rhythm” Taganrog. (In Russ)].
7. Schubert P, Kirchner M (2014) Ellipse area calculations and their applicability in posturography. *Gait & Posture* 39(1): 518–522. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.001>
8. Chen X, Qu X (2017) Influence of affective auditory stimuli on balance control during static stance. *Ergonomics* 60: 404–409. <https://doi.org/10.1080/00140139.2016.1182649>
9. Gandemer L, Parseihian G, Kronland-Martinet R, Bourdin C (2014) The influence of horizontally rotating sound on standing balance. *Exp Brain Res* 232: 3813–3820. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-4066-y>
10. Soames RW, Raper SA (1992) The influence of moving auditory fields on postural sway behaviour in man. *Eur J Appl Physiol* 65: 241–245. <https://doi.org/10.1007/BF00705088>
11. Timofeeva OP, Andreeva IG (2022) Human Postural Responses to Single Sound Signals with Different Emotional Content. *J Evol Biochem Phys* 58: 1262–1274. <https://doi.org/10.1134/S0022093022040287>
12. Timofeeva OP, Gvozdeva AP, Shamantseva ND, Moshonkina TR, Andreeva IG (2023) Destabilization of Human Vertical Posture by Affective Auditory Stimuli. *Human Physiol* 49(Suppl 1): S28–S41. <https://doi.org/10.1134/S036211972370055X>
13. Agaeva MY, Altman YA, Kirillova IY (2006) Effects of a sound source moving in a vertical plane on postural responses in humans. *Neurosci Behav Physiol* 36: 773–780. <https://doi.org/10.1007/s11055-006-0087-8>
14. Andreeva IG, Bobrova EV, Antifeev IE, Gvozdeva AP (2018) Aftereffects of Approaching and Receding Sound Sources on Postural Responses in Humans. *Neurosci Behav Physiol* 48: 45–53. <https://doi.org/10.1007/s11055-017-0528-6>
15. Siedlecka B, Sobera M, Sikora A, Drzewowska I (2015) The influence of sounds on posture control. *Acta Bioeng Biomech* 17: 95. <https://doi.org/10.5277/ABB-00150-2014-03>
16. Lubetzy AV, Gospodarek M, Arie L, Kelly J, Roginska A, Cosetti M (2020) Auditory Input and Postural Control in Adults: A Narrative Review. *JAMA Otolaryngol-Head Neck Surg* 146: 480–487. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2020.0032>
17. Chiba R, Takakusaki K, Ota J, Yozu A, Haga N (2016) Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. *Neurosci Res* 104: 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2015.12.002>
18. Shanbhag J, Wolf A, Wechsler I, Fleischmann S, Winkler J, Leyendecker S, Eskofier BM, Koelewijn AD, Wartzack S, Miehling J (2023) Methods for integrating postural control into biomechanical human simulations: A systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 20: 111. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01235-3>
19. Witkin H (1949) Perception of body position and the position of the visual field. *Psychoogil Monographs: General and Applied* 63: 1–46. <https://doi.org/10.1037/h0093613>

20. *Wapner S, Demick J (eds)* (2014) *Field Dependence-independence: Bio-psycho-social Factors across the Life Span*. New York. Psychology.
21. *Isableu B, Ohlmann Th, Cremieux J, Ambland B* (2003) Differential approach to strategies of segmental stabilization in postural control. *Exp Brain Res* 150: 208–221.
<https://doi.org/10.1007/s00221-003-1446-0>
22. *Timofeeva OP, Andreeva IG* (2021) Postural control features of field-dependent and field-independent subjects in the absence of visual and audio information. *Human Physiol* 47: 374–381.
<https://doi.org/10.1134/S0362119721040150>
23. *Andreeva IG, Gvozdeva AP, Bobrova E, Gerasimenko YuP* (2018) Differences in the postural responses to approaching and receding sound images in subjects with different perceptual styles. *Dokl Biol Sci* 482 (1): 6178–6181.
24. *Тимофеева ОП, Гвоздева АП, Боброва ЕВ, Андреева ИГ* (2020) Постуральные колебания у людей с разным когнитивным стилем при ожидании слуховой информации о движении. *Журн высш нервн деят им ИП Павлова* 70: 752–762. [*Timofeeva OP, Gvozdeva AP, Bobrova EV, Andreeva IG* (2020) Postural sway in humans with different cognitive styles at waiting auditory motion. *Zhurn vyssh nervn deyat* 70: 752–762. (In Russ)].
<https://doi.org/10.31857/S00444677200601064>
25. *Timofeeva OP, Andreeva IG, Gvozdeva AP* (2021) Dynamics of Postural Indices in Case of Listening to Sounds of Steps Approaching from the Front and from Behind. *J Evol Biochem Phys* 57: 1522–1532.
<https://doi.org/10.1134/S0022093021060284>
26. *Keith RW* (2000) Development and Standardization of SCAN-C Test for Auditory Processing Disorders in Children. *J Am Acad Audiol* 11: 438–445.
<https://doi.org/10.1055/s-0042-1748131>
<https://psylist.net/praktikum/00299.htm?ysclid=lzgywt2qmq711934847>
27. *Stevens MN, Barbour DL, Gronski MP, Hullar TE* (2016) Auditory contributions to maintaining balance. *J Vestib Res* 26: 433–438.
<https://doi.org/10.3233/VES-160599>
28. *Isableu B, Fourre B, Vuillerme N, Giraudeau G, Amorim MA* (2011) Differential integration of visual and kinaesthetic signals to upright stance. *Exp Brain Res* 212: 33–46.
<https://doi.org/10.1007/s00221-011-2693-0>
29. *Кожевникова ЕВ* (1989) Восприятие приближения и удаления звука шагов, условия возникновения перцептивного эффекта движения. *Сенсор сист* 3(1): 93–100. [*Kozhevnikova EV* (1989) Perception of approaching and moving away of a sound source (footsteps): Factors determining the perceptual effect of movement. *Sensor systems* 3(1): 93–100. (In Russ)].
30. *Witkin HA, Goodenough DR* (1977) Field dependence and interpersonal behavior. *Psychol Bull* 84: 661–689.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.84.4.661>

Postural Reactions to the Sounds of Approaching Footsteps from in Front and Behind in People with Different Perceptive-Cognitive Styles

O. P. Timofeeva^a, and I. G. Andreeva^{a,*}

^a*Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry Russian Academy of Sciences,*

St. Petersburg, Russia

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

The perceptual-cognitive style (field-dependence or field-independence) determines the principal modality in space orientation and influences in posture control without distant stimulation. The aim of the work was to analyze stabilometric parameters in groups of field-dependent (FD) and field-independent (FI) subjects to describe vertical posture sway in response to a conspecific movement (human steps). The stabilograms were recorded for two groups of subjects (12 FD and 12 FI) in standard postures - heels together, toes apart, hands down along the body, eyes closed. The sounds of steps were created on the basis of a pre-recording in a room with reverberation. In free field three types of stimulation were used: steps approaching from behind and from the front; a control signal - a repeated step in place, given from behind. The changes of the center of pressure (CoP) position were analyzed for 64 s with a period of 8 s: before (1), during (3) and after (4) stimulation. The CoP parameters were the c and the length of CoP trajectory along the sagittal axis, and the area of the confidence ellipse. A slight destabilization of the posture during sound stimulation was shown in both groups of subjects. Differences between the groups were revealed: with the onset of the approaching step sounds the FD-subjects shifted the CoP away from the sounds (the "run" strategy), while the FI subjects shifted the CoP toward the sounds (the "hit" strategy). The results obtained substantiate the possibility to use the conspecific sound stimulation in rehabilitation procedures in the treatment of musculoskeletal diseases taking into account the individual characteristics of perception in patients.

Keywords: postural control, conspecific motion, space orientation, multisensory interaction, cognition style, field-dependence