

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ
(КОГНИТИВНОЙ) ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

УДК 612.821+612.85+612.76

**ПОСТУРАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ У ЛЮДЕЙ С РАЗНЫМ КОГНИТИВНЫМ
СТИЛЕМ ПРИ ОЖИДАНИИ СЛУХОВОЙ ИНФОРМАЦИИ О ДВИЖЕНИИ**

© 2020 г. О. П. Тимофеева¹, А. П. Гвоздева¹, Е. В. Боброва², И. Г. Андреева^{1,*}

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физиологии им. И.П. Павлова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

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

Поступила в редакцию 26.03.2020 г.

После доработки 21.05.2020 г.

Принята к публикации 01.06.2020 г.

В работе исследовали стратегии преднастройки вертикальной позы при ожидании слуховой информации о движении у испытуемых с разными когнитивными стилями – в группе полезависимых (ПЗ) и полenezависимых (ПН). В период ожидания звуковой стимуляции были выявлены изменения стабилметрических показателей, в основном более выраженные в случае движущихся источников звука. Стабилметрические показатели, характеризующие выраженность колебаний центра давления (ЦД) тела, – длина траектории ЦД, разброс его колебаний, площадь эллипса, занимаемая колебаниями ЦД, – были больше в группе испытуемых с ПН, чем с ПЗ когнитивным стилем. ЦД при ожидании смещался назад, в направлении от источника звукового сигнала. Смещение было наиболее выражено у ПН испытуемых по сравнению с ПЗ для приближающегося и стационарного (контроль) звуковых образов. С началом приближающегося сигнала выявлено смещение ЦД тела у ПН вперед, а у ПЗ – назад, в то время как при прослушивании стационарного сигнала этот эффект отсутствовал, и величина смещения ЦД не изменялась. Полученные данные позволяют предположить, что приближение звукового образа у лиц с ПН и ПЗ когнитивным стилем на неосознанном уровне приводит к реализации двух разных стратегий поведения – “бей” или “беги”.

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

DOI: 10.31857/S0044467720060106

Ориентация в пространстве происходит при взаимодействии информации разных модальностей. Такое взаимодействие организовано иерархически, причем способ организации является индивидуальной характеристикой человека, получившей название полезависимости/полenezависимости. В случае ведущей роли зрения человека характеризуют как полезависимого (ПЗ), а в случае приоритета проприоцептивной и вестибулярной информации – как полenezависимого (ПН). Показано, что предпочтение вида сенсорной информации влияет на стратегию поддержания позы [Isableu et al., 1997; 2003]. У ПЗ испытуемых в отсутствие зрения или зрительного стимула увеличивается роль та-

зобедренных суставов в поддержании вертикальной позы, при этом все остальные сегменты тела (плечи, голова) колеблются “в блоке” с тазом. У ПН испытуемых условия зрения (в темноте, на свету или при стробоскопическом освещении) мало влияют на позу, а сегменты тела (голова, плечи, таз) при поддержании равновесия двигаются независимо друг от друга. Мы не обнаружили в научной литературе продолжения этих исследований, которые свидетельствуют о возможности проявления разных стратегий поддержания позы в стабилметрических показателях. Интерес к типологическим различиям в межсенсорных взаимодействиях возрастает в последние годы в связи с развитием технологий виртуаль-

ной реальности и комплексными прикладными задачами [Multisensory perception, 2020]. Поэтому исследования Изаблю и соавторов побудили нас обратиться к вопросу влияния индивидуальной характеристики ПЗ/ПН на стратегию поддержания позы при ожидании и во время воздействия слуховой информации о движении. В наших предыдущих работах было показано, что когнитивный стиль может проявляться в величине стабилметрических показателей, характеризующих реакции вертикальной позы в ответ на слуховую информацию о движении, т.е. универсален при решении пространственных задач [Andreeva et al., 2018; Андреева и др., 2019]. В стратегиях поддержания равновесия при восприятии движущихся звуковых образов между группами ПЗ и ПН испытуемых были выявлены существенные различия, которые хорошо согласуются с представлениями о преимущественном использовании для поддержания равновесия в исследованных группах испытуемых сенсорной информации разных типов: экстероцептивной у ПЗ и проприоцептивной у ПН испытуемых. Эти различия проявлялись в основных постуральных показателях — длине траектории центра давления (ЦД), его средней линейной скорости и смещении, т.е. среднем положении ЦД за исследованный период времени, которые оценивались вдоль оси направления движения звуковых образов. В работе было показано, что ориентация в пространстве по слуху при наличии движущихся звуковых образов приводит к постуральным реакциям, различным для испытуемых с разным когнитивным стилем, тогда как неподвижные звуковые образы не влияли ни на один из изученных во время прослушивания показателей.

Ранее нами были выявлены продолжительные изменения позы при ожидании звуковой стимуляции [Тимофеева и др., 2019]. Было показано, что в ожидании слуховой информации о движении ЦД испытуемого в сагиттальной плоскости смещался назад вне зависимости от типа звуковой стимуляции (приближающейся, удаляющейся, неподвижной). Также уменьшались длина траектории и разброс положений ЦД в сагиттальной плоскости и показатель “площадь эллипса”, который характеризует площадь, занимаемую колебаниями ЦД во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Наибольшие изменения были выявлены для биологически значимого сигнала — приближающегося звукового образа. Сово-

купность наблюдаемых изменений свидетельствовала об изменении постурального контроля в процессе ожидания звуковой стимуляции, приводящем к повышению устойчивости вертикальной позы человека. Описанные изменения вертикальной позы при ожидании звуковых образов имели высокую индивидуальную вариабельность, причина которой была неясна. Целью данного исследования стала проверка предположения о том, что одной из существенных причин различий в реакциях позы при ожидании звуковой информации о движении, как и при ее прослушивании, могут служить индивидуальные особенности обработки сенсорной информации, которые различны при ПЗ и ПН когнитивных стилях. Для проверки этой гипотезы в работе был осуществлен сравнительный анализ количественных стабилметрических показателей и их динамики при ожидании слуховой информации о движении для групп ПЗ и ПН испытуемых.

МЕТОДИКА

В экспериментах принимали участие 16 человек в возрасте 23–54 лет с нормальным слухом без диагностированных двигательных нарушений. Все испытуемые дали информированное согласие на участие в исследовании. Протокол исследования соответствовал требованиям Хельсинкской декларации и был одобрен Этической комиссией Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН. 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 [Keith, 2000].

В нашем исследовании испытуемые были разделены на группы по результатам выполнения зрительного теста “Включенные фигуры Готтшальдта”: ПЗ (4 мужчины и 4 женщины; средний возраст 32 года) и ПН (4 мужчины и 4 женщины; средний возраст 31 год). В случае, когда рассчитанный индекс ПЗ/ПН был меньше 2.5, испытуемого относили к группе ПЗ, а при большем — к ПН.

Движущиеся и неподвижные (контрольные) звуковые образы имели сходные временные, амплитудные и спектральные характери-

стики. Движение источников звука моделировали линейными изменениями амплитуды (30 дБ) и частоты (500–1000 Гц) в последовательностях тональных импульсов. Несущая частота уменьшалась, а амплитуда росла в модели приближения, для удаления изменения были противоположными. Оптимальные параметры для формирования звуковых образов были выбраны по данным работы [Vartanyan, Andreeva, 2007]. Тональные импульсы имели пологие передний и задний фронты длительностью по 2.5 мс, продолжительность импульсов, включая фронты, была равна 10 мс. Частота повторения импульсов последовательностей составляла 40 Гц. Контрольный сигнал формировали из квазислучайных фрагментов модельных сигналов по 500 мс. Длительность всех сигналов равнялась 6.5 с, а их максимальный уровень в месте прослушивания был равен 67 дБ УЗД. Испытуемому подавали серии из 7 одинаковых сигналов с интервалом 0.5 с между ними, общей длительностью 45 с. Всего формировали три различные серии – для моделей приближающихся и удаляющихся источников звука, а также для контрольных стимулов, в которых отсутствовали признаки движения звукового образа. 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 с помощью динамика Klipsch R-3800-C. Акустический контроль параметров выполняли с применением комплекта измерительной аппаратуры фирмы “Брюль и Кьер” (микрофон 41-45, предусилитель 26-39, усилитель 26-06).

При исследовании в анэхоидной звукозаглушенной камере объемом 62.5 м³ испытуемые находились на стабилметрической платформе “Стабилан-01” и пассивно прослушивали звуковые образы с динамика Klipsch R-3800-C, который располагался на расстоянии 2 м и высоте 1.6 м. Испытуемые с закрытыми глазами стояли в стандартной позе (пятки вместе, носки врозь, руки опущены вниз вдоль тела). Время ожидания звуковой стимуляции превышало 40 с (регистрация до начала звукового стимула) на 4–8 с, которые требовались для запуска программы регистрации и, таким образом, было известно испытуемому с точностью до 10%. Сигналы одного типа подавались подряд, поэтому испы-

туемый знал о том, какой сигнал последует. Выполняли по 10 регистраций для каждого из трех типов сигналов – приближающихся, удаляющихся и неподвижных. Каждые 2 регистрации чередовали с периодами отдыха испытуемого. Анализировали стабิโลграмму в течение 56 с: 40 с до стимуляции и первые 16 с во время звуковой стимуляции (частота оцифровывания 50 Гц). Записи стабิโลграммы были разделены на фрагменты по 8 с. Для каждого фрагмента были определены следующие показатели колебаний ЦД тела: вдоль сагиттальной и фронтальной оси смещение, длина траектории и разброс положения ЦД, а также сжатие эллипса и его площадь, характеризующая часть площади опоры, в которой перемещается во фронтальной и сагиттальной плоскости ЦД при стоянии. Статистические расчеты проводили в пакете программ Statistica v.5.5A. Достоверность различий величин стабิโลграфических показателей между группами ПЗ и ПН испытуемых осуществляли с применением непараметрического критерия Манна–Уитни для независимых выборок. Оценку групповых данных выполняли с применением парного непараметрического метода Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительный анализ количественных стабилметрических показателей выявил достоверные различия в группах ПН и ПЗ испытуемых по показателям площади эллипса, разбросу и длине траектории по сагиттальной оси, которые свидетельствовали о разной стратегии поддержания позы при ожидании слуховой информации о движении в этих группах (рис. 1). Часть площади опоры, в которой перемещается ЦД при стоянии, описываемая показателем площади эллипса, во всех интервалах и для всех сигналов у ПН испытуемых оказалась достоверно выше, чем у ПЗ (рис. 1 (а)). Среднее по интервалам в период ожидания значение показателя площади эллипса для ПН испытуемых было выше по сравнению с ПЗ для приближающихся звуковых образов на 49%, удаляющихся – на 110%, контрольных – на 76%. Другой показатель – разброс, который представляет собой среднеквадратичное отклонение ЦД в сагиттальной плоскости и тем самым также отражает величину колебаний тела испытуемого при поддержании вертикальной позы, демонстрировал различия между группами ис-

пытуемых разных когнитивных стилей. При сравнении групп было выявлено достоверное превышение этого показателя в группе ПН испытуемых как до, так и во время прослушивания стимулов любого типа ($p < 0.01$, кроме интервала 4 для движущихся звуковых образов, где $p < 0.05$, а также интервала 5 для контрольного стимула, для которого $p < 0.05$). Разброс варьировал по средним данным от 0.58 до 0.72 мм в группе ПЗ и в пределах 0.74–0.93 мм в группе ПН (рис. 1 (б)). Превышение среднего значения разброса по интервалам в период ожидания для ПН испытуемых по сравнению с ПЗ составляло 20–30%: 21% – для приближающихся звуковых образов, 31% – для удаляющихся, 20% – в контроле. Третий показатель – длина траектории – также оказался выше в группе ПН по сравнению с ПЗ в случае сигналов, содержащих информацию о движении (рис. 1 (в)). Разница в группах по среднему значению для интервалов в период ожидания составила 9% для приближения, 13% – для удаления. При сравнении групп было показано достоверное превышение этого показателя в группе ПН испытуемых как до, так и во время прослушивания стимулов любого типа ($p < 0.05$ или выше, кроме интервала 4 для движущихся звуковых образов). Для контрольного сигнала различий не выявлено.

Динамика описанных выше стабилметрических показателей для сигналов разной биологической значимости представлена как изменение в относительных единицах (%) по отношению к первому временному интервалу (рис. 2). В ожидании звукового сигнала у испытуемых обеих групп изменения варьировали в пределах $\pm 20\%$.

У ПН испытуемых для приближающегося и контрольного сигналов показатель площади эллипса был достоверно больше ($p < 0.05$) в первом по сравнению с пятым интервалом ожидания (непосредственно предшествующим звуковому сигналу), в среднем на 12–13% (рис. 2 (а)). В случае удаляющихся звуковых образов этот показатель площади эллипса во втором интервале был достоверно больше ($p < 0.01$), чем во всех последующих (3–5) интервалах ожидания (рис. 2 (а)). В ответ на звуковую стимуляцию всех типов данный показатель несколько возростал, однако его отличия с двумя последними периодами ожидания оказались недостоверными.

У ПЗ испытуемых также происходило снижение показателя “площадь эллипса” к кон-

цу периода ожидания сигналов всех типов. При сравнении данного показателя для пятого интервала ожидания с предшествующими интервалами выявили различия: с третьим для приближающихся звуковых образов ($p < 0.04$) и со вторым для удаляющихся ($p < 0.01$). В случае удаляющихся звуковых стимулов достоверные различия были выявлены также между седьмым интервалом (период стимуляции) и последним интервалом в период ожидания ($p < 0.03$). Контрольные стимулы, в которых отсутствовали признаки движения звукового образа, не вызывали значимых изменений данного показателя у ПЗ испытуемых.

Разброс по сагиттальной оси изменялся у ПЗ испытуемых при ожидании сигнала случайным образом, и достоверных различий не было выявлено (рис. 2 (б)). Разброс по фронтальной оси был в среднем на 30% меньше, чем по сагиттальной оси. В случае приближения звукового образа он достоверно уменьшался к четвертому-пятому интервалам ожидания: между первым, вторым и пятым, а также вторым и четвертым ($p < 0.03$), между третьим и пятым ($p < 0.01$). В случае ожидания удаляющегося звукового образа выявили разницу между вторым и пятым периодами ($p < 0.03$). Сниженные значения этого показателя сохранялись и в начале звучания приближающегося звукового образа: достоверные различия выявили при сравнении второго и третьего интервалов ожидания с шестым и седьмым, соответствующими началу стимуляции ($p < 0.04$). У ПЗ испытуемых при сравнении отдельных периодов ожидания с периодом стимуляции разница в разбросе по сагиттальной оси отмечалась только при контрольном и удаляющемся (не при приближающемся) стимуле (для контроля – второго с шестым и седьмым, а для удаления – третьего с шестым и седьмым ($p < 0.05$ для всех)).

У ПН испытуемых наблюдали выраженные колебания показателя разброса по сагиттальной оси для исследуемых интервалов – до 15%, однако его изменения были недостоверными для приближающегося и контрольного стимулов (рис. 2 (б)). Достоверные различия были выявлены только для удаляющегося звукового образа: второй интервал ожидания различался с первым, четвертым и пятым ($p < 0.05$ или выше), а четвертый и пятый – с шестым и седьмым ($p < 0.01$). По фронтальной оси разброс у ПН снижался при ожидании приближающихся звуковых образов, до-

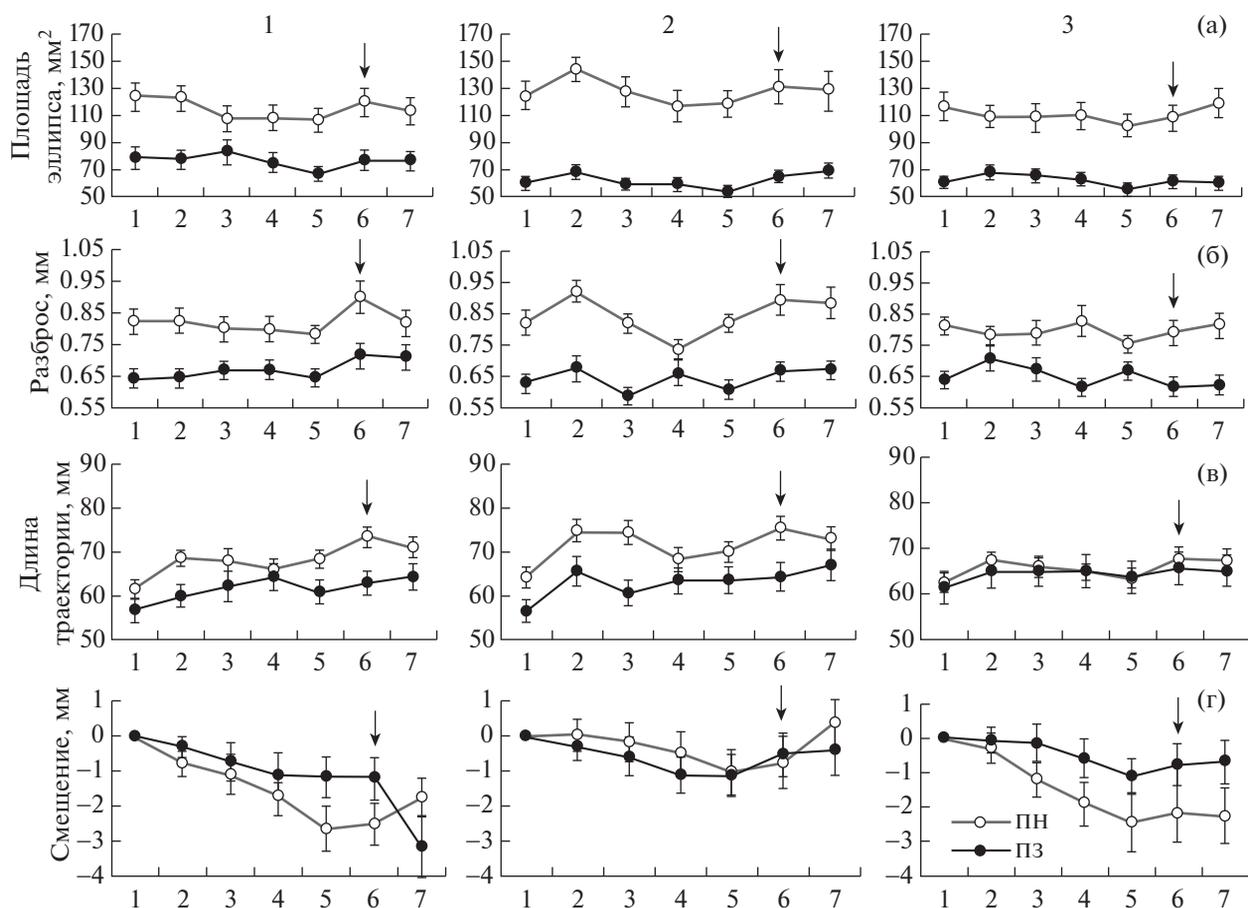


Рис. 1. Стабилметрические показатели при ожидании и в начале стимуляции для приближающегося (1), удаляющегося (2) и контрольного – неподвижного (3) звукового образа у ПН и ПЗ испытуемых. По оси ординат: (а) – площадь эллипса, мм²; по сагиттальной оси: (б) – разброс, мм; (в) – длина траектории, мм; (г) – смещение, мм. 1 – приближение звукового образа, 2 – удаление звукового образа, 3 – контрольный сигнал без движения. На рисунке представлены средние по группе из 8 испытуемых и их ошибка. По оси абсцисс: последовательные интервалы времени по 8 с, порядковый номер, 1–5 до стимуляции, 6–7 во время стимуляции. Стрелкой отмечено начало стимуляции.

Fig. 1. Stabilometric parameters during waiting and in the beginning of stimulation for approaching (1), receding (2) and control stationary (3) sound image in FI and FD subjects. Ordinate: (a) – area of an ellipse, mm²; along the sagittal axis: (б) – COP position variation, mm; (в) – COP trajectory length, mm; (г) – COP shift, mm. 1 – approaching sound image; 2 – receding sound image, 3 – control signal without motion. Averaged data by the group of 8 subjects and its error. Abscissa: sequential time intervals, 8 s each, consecutive number, 1–5 – before stimulation, 6–7 – during stimulation. Arrows show the beginning of stimulation.

статистически значимое снижение выявлено при сравнении первого и пятого интервалов ($p < 0.04$), второго и пятого в виде тенденции ($p < 0.07$), а также в случае удаления различия выявили при сопоставлении данных второго с четвертым и шестым интервалами ($p < 0.02$) и второго с пятым в виде тенденции ($p < 0.08$).

Длина траектории ЦД по сагиттальной оси при ожидании сигнала и при его прослушивании у ПН испытуемых изменялась сходным образом для всех типов стимуляции (рис. 2 (в)). Этот показатель возрастал от пер-

вого ко второму интервалу на 6–16%, затем снижался к концу периода ожидания и вновь увеличивался во время стимуляции. Во втором интервале в период ожидания по сравнению с первым достоверные изменения этого параметра в группе ПН испытуемых наблюдались для всех типов стимулов ($p < 0.01$). Достоверное снижение длины траектории выявлено между вторым и четвертым периодами ожидания для удаляющегося сигнала ($p < 0.03$) и между вторым и пятым – для удаляющегося и контрольного сигналов ($p < 0.04$). При ожидании приближающегося сигнала

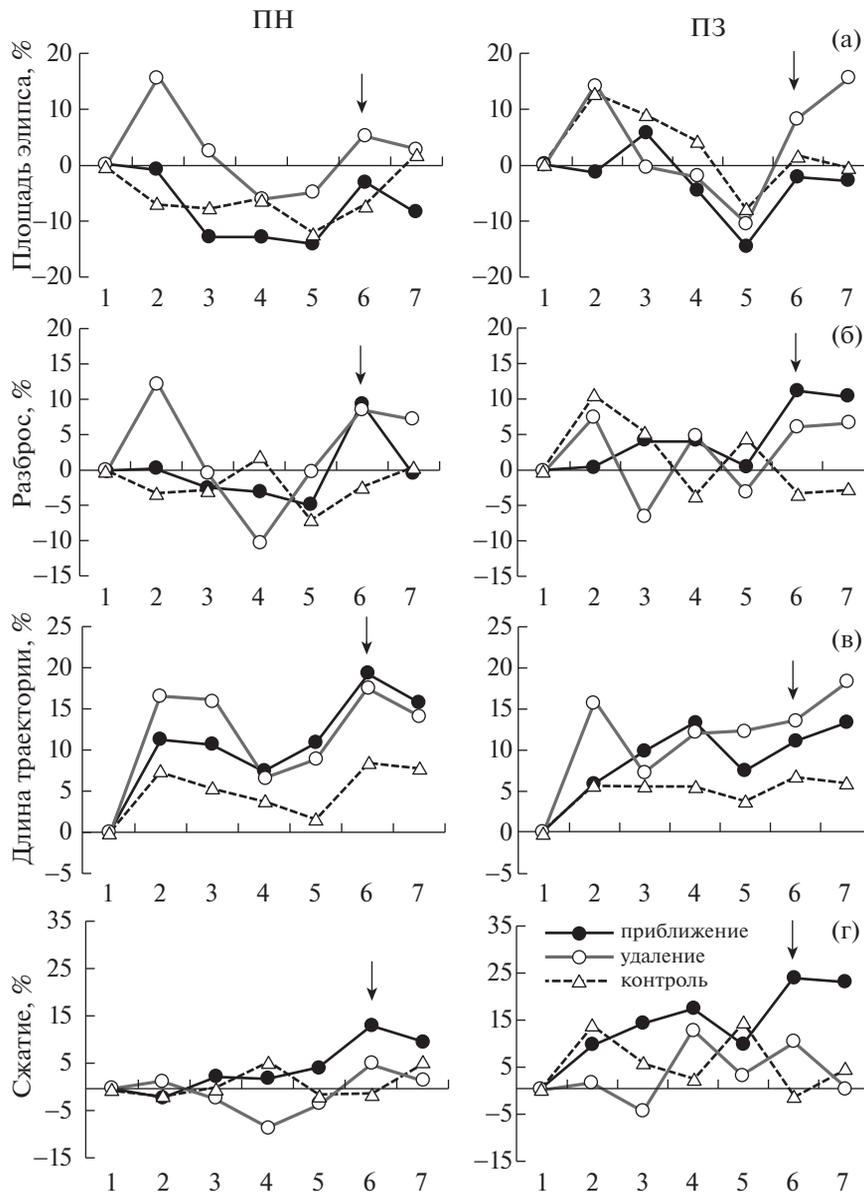


Рис. 2. Динамика относительных изменений стабилометрических показателей в группах ПН и ПЗ испытуемых в период ожидания разного вида звуковой информации и в начале стимуляции. По оси ординат: (а) – площадь эллипса; (б) – разброс по сагиттальной оси; (в) – длина траектории по сагиттальной оси; (г) – сжатие эллипса. Средние по группам значения показателей даны в % к первому интервалу ожидания при приближении, удалении звукового образа и контрольном сигнале без движения. На рисунке представлены средние по группе из 8 испытуемых и их ошибка. По оси абсцисс: последовательные интервалы времени по 8 с, порядковый номер, 1–5 до стимуляции, 6–7 во время стимуляции. Стрелкой отмечено начало стимуляции.

Fig. 2. Relative changes of stabilometric parameters for groups of FI and FD subjects during the period of waiting of different sound information and in the beginning of stimulation. Ordinate: (a) – area of an ellipse; (б) – sagittal COP position variation, mm; (в) – sagittal COP trajectory length, mm; (г) – ellipse compression. Group averages of COP trajectory length are presented in % relative to first interval of waiting for approaching, receding and stationary control signal. Averaged data by the group of 8 subjects and its error. Abscissa: sequential time intervals, 8 s each, consecutive number, 1–5 – before stimulation, 6–7 – during stimulation. Arrows show the beginning of stimulation.

достоверные изменения в этих интервалах не обнаружены, различия выявлены между третьим и четвертым интервалами ($p < 0.03$). В начале звуковой стимуляции длина траектории ЦД была достоверно больше по срав-

нению с последним интервалом ожидания для всех типов сигналов ($p < 0.03$).

В отличие от ПН, у ПЗ испытуемых изменения данного показателя имели разную динамику в зависимости от типа стимуляции.

При ожидании приближающегося сигнала у ПЗ испытуемых длина траектории увеличивалась от первого периода к четвертому, недостоверно снижаясь к пятому. Выявлены достоверные отличия третьего, четвертого и пятого интервалов от первого ($p < 0.05$, $p < 0.01$ и $p < 0.02$ соответственно). Для удаляющегося сигнала достоверное увеличение длины траектории по сравнению с первым интервалом наблюдали во втором, четвертом и пятом интервалах ($p < 0.01$) и третьем в виде тенденции ($p < 0.08$). В контроле обнаружен рост данного показателя при сравнении первого интервала со всеми последующими интервалами в период ожидания ($p < 0.03$), кроме пятого ($p < 0.18$). При сравнении шестого и седьмого интервалов, т.е. начала периода стимуляции, с последним интервалом ожидания наблюдалось небольшое возрастание показателя, которое оказалось недостоверным при всех типах стимулов. Таким образом, в обеих группах длина траектории увеличивается в период ожидания, но в группе ПН перед началом стимуляции длина траектории по сагиттальной оси достоверно уменьшается по сравнению с ее величиной во втором и третьем интервале периода ожидания.

Динамика длины траектории по фронтальной оси повторяла изменения данного показателя, наблюдаемые по сагиттальной оси, как для ПН, так и для ПЗ испытуемых. При этом показатели длины траектории по фронтальной оси были на 38–48% ниже, чем по сагиттальной.

Разница между группами ПН и ПЗ испытуемых выявлена в динамике показателя сжатия эллипса (рис. 2 (г)). У ПН изменения были минимальны: вне зависимости от типа стимуляции, при ожидании сигнала достоверных различий выявлено не было. В группе ПЗ испытуемых изменения были более выражены. Данный показатель достоверно возрастал при ожидании стимула: для приближающегося звукового сигнала – между первым и четвертым ($p < 0.01$) и между первым и пятым интервалами ($p < 0.03$); для неподвижного – между первым и вторым ($p < 0.02$) и между первым и пятым ($p < 0.05$); для удаляющегося – между первым и четвертым интервалами в виде тенденции ($p < 0.08$). При ожидании приближающегося звукового образа изменения показателя сжатия эллипса повторяли динамику показателей разброса и длины траектории в сагиттальной плоскости в обеих группах, несмотря на то, что она у ПЗ

и ПН испытуемых была различной. Это можно объяснить усилением колебаний в сагиттальной плоскости и их одновременным уменьшением – во фронтальной, что вызвало изменение формы эллипса, характеризующего форму той части площади опоры, в которой колеблется ЦД. В ответ на звуковую стимуляцию у ПЗ испытуемых сжатие эллипса достоверно увеличивалось по сравнению с последним интервалом ожидания для приближающегося сигнала ($p < 0.03$) и уменьшалось для контрольного ($p < 0.01$). В группе ПН испытуемых наблюдались изменения только в случае удаляющегося звукового стимула (сжатие в шестом и седьмом интервалах возрастало по сравнению с четвертым – $p < 0.01$ и $p < 0.02$ соответственно).

При анализе показателя “смещение”, характеризующего среднее положение ЦД за интервал, данные были нормированы относительно первого интервала до стимуляции (значение смещения для него принимали за нулевое). В период ожидания происходили однонаправленные монотонные изменения данного показателя по сагиттальной оси вне зависимости от группы испытуемых и типа стимуляции (рис. 3). Они проявлялись в виде смещения ЦД назад. Для приближающегося и контрольного звуковых образов у ПН испытуемых по сравнению с ПЗ во время ожидания стимуляции были выявлены большие изменения (рис. 1 (г)). Разница между группами для приближающегося стимула в пятом интервале и контрольного стимула в пятом и четвертом была достоверна ($p < 0.05$). При ожидании удаляющегося сигнала различия между группами по этому показателю не наблюдалось. Смещения по фронтальной оси были значительно меньше по величине, средние значения изменений по группе ПЗ для семи исследованных временных интервалов составили не более 1 мм, а по группе ПН – 0.5 мм.

Анализ динамики данного показателя по сагиттальной оси выявил, что у ПН смещение ЦД для четвертого и пятого интервалов относительно смещения в первом периоде составляло соответственно 1.7 и 2.6 мм для приближающегося стимула и 1.9 и 2.5 мм для контрольного (рис. 3). Показатели смещения для этих интервалов достоверно отличались от всех предыдущих ($p < 0.01$). Для удаляющихся звуковых образов у ПН испытуемых в периоде ожидания достоверные различия были получены только при сравнении пятого интервала с первым и вторым ($p < 0.03$) и в

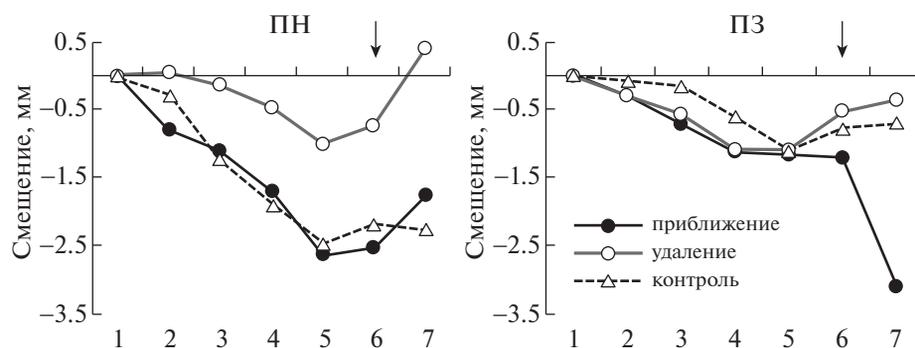


Рис. 3. Динамика средних показателей стабилметрического показателя “смещение ЦД” по сагиттальной оси в группах ПН и ПЗ испытуемых в период ожидания разного вида звуковой информации и в начале стимуляции. По оси ординат: смещение, мм. По оси абсцисс: последовательные интервалы времени по 8 с, порядковый номер, 1–5 до стимуляции, 6–7 во время стимуляции. Стрелкой отмечено начало стимуляции.

Fig. 3. Changes of average COP sagittal shift for groups of FI and FD subjects during the period of waiting for different types of sound information and in the beginning of stimulation. Ordinate: COP shift, mm. Abscissa: sequential time intervals, 8 s each, consecutive number, 1–5 – before stimulation, 6–7 – during stimulation. Arrows show the beginning of stimulation.

виде тенденции – четвертого со вторым ($p < 0.08$). В группе ПЗ испытуемых при ожидании сигнала любого типа смещение не превышало 1.2 мм. Достоверные изменения выявлены только для удаляющегося стимула между четвертым и первым интервалами ($p < 0.04$) и в виде тенденции между показателями первого и пятого интервалов для приближающегося и контрольного стимулов ($p < 0.08$). В ответ на движущиеся звуковые стимулы (как приближающиеся, так и удаляющиеся) ПН испытуемые смещались вперед от положения, которое они занимали в конце периода ожидания. Изменения в седьмом периоде по сравнению с последним периодом ожидания были достоверны для удаляющегося сигнала ($p < 0.05$) и в виде тенденции для приближающегося ($p < 0.07$). В группе ПЗ испытуемых выраженное смещение наблюдали только в случае приближающегося звукового образа ($p < 0.01$), причем ЦД смещался назад, что совпадало с направлением движения сигнала.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При сравнении групп ПН и ПЗ обнаружены значительные различия в показателях длины траектории, площади эллипса и разброса в период ожидания информации о появлении источника звука независимо от его движения. Показатели были больше по величине в группе ПН испытуемых, чем у ПЗ, практически во всех исследованных интервалах времени. Исключение составил показа-

тель длины траектории при ожидании неподвижного источника звука, так как он совпал в обеих группах на протяжении всего времени ожидания. Полученный результат был неожиданным, так как ранее было показано, что при спокойной стойке в тишине с закрытыми глазами, т.е. в отсутствие зрительной информации, испытуемые ПЗ были менее стабильны, чем испытуемые ПН [Isableu et al., 1997]. Это обстоятельство связано с тем, что для поддержания вертикальной позы у ПЗ необходимо использование динамических визуальных сигналов. Нами были проведены дополнительные измерения параметров поддержания вертикальной позы при спокойном стоянии в тишине с закрытыми глазами и в отсутствие звуковых сигналов на группе испытуемых, участвующих в основных экспериментах. Они установили, что при этих условиях показатели длины траектории и площади эллипса больше по величине в группе ПЗ, чем у ПН, на 10 и 8% соответственно. Это подтверждает, что спокойное стояние в тишине и ожидание биологически значимой информации о движении – разные состояния.

Существенные изменения в показателях, которые наблюдали в течение 40 с ожидания сигнала, свидетельствовали о произвольной подготовке к постуральной реакции на сигнал в обеих группах испытуемых. Причем подготовка напоминала известную в научной литературе преднастройку позы и сопровождалась смещением ЦД назад. В нашем случае

длительного ожидания сигнала наблюдаемые изменения, характерные для преднастройки позы, были растянуты во времени. Полученные ранее данные по преднастройке позы определяют временной интервал, типичный для поздней преднастройки, предшествующий движениям тела, в среднем в 100–400 мс, по крайней мере не больше 1500 мс [Беленький и др., 1967, Watanabe et al., 2017]. Тогда как в случае длительного ожидания звукового сигнала достоверные изменения стабилметрических показателей обнаруживались за 8–16 с до его начала [Тимофеева и др., 2019].

Инструкция испытуемым в нашем исследовании не предполагала активных движений и состояла в пассивном прослушивании сигнала в фиксированной позе. Поэтому полученные данные можно интерпретировать как произвольную подготовку к произвольному реагированию на сигнал. Отметим значительное сходство двух групп по динамике и величине в изменениях длины траектории, определенной в относительных единицах по сравнению с первым периодом ожидания (рис. 2 (в)). Более выраженные изменения наблюдались при ожидании сигналов, содержащих информацию о движении, по сравнению с неподвижным сигналом. Сходная в группах динамика выявлялась и по показателю площади эллипса: она состояла в уменьшении показателя перед всеми сигналами. В период ожидания вне зависимости от группы испытуемых и типа стимуляции происходили однонаправленные изменения показателя смещения. Таким образом, наиболее последовательные изменения выявляли по стабилметрическим показателям — длине траектории, площади эллипса и смещения. В совокупности выявленные изменения показателей в обеих группах свидетельствовали о готовности к двигательной реакции на сигнал.

Вместе с тем в группах ПН и ПЗ выявлены четкие различия в поструральном контроле при действии наиболее биологически значимого приближающегося сигнала, которые можно интерпретировать как стратегии “бей” или “беги”. У ПН испытуемых произвольная подготовка начинается за 24 с до начала сигнала. Снижается площадь опоры по показателю площади эллипса, затем за 16 с снижается длина траектории в сагиттальной плоскости и существенно смещается ЦД назад. Схематически динамика совокупности выявленных изменений представлена на рис. 4 (а). Изменения стабилметрических

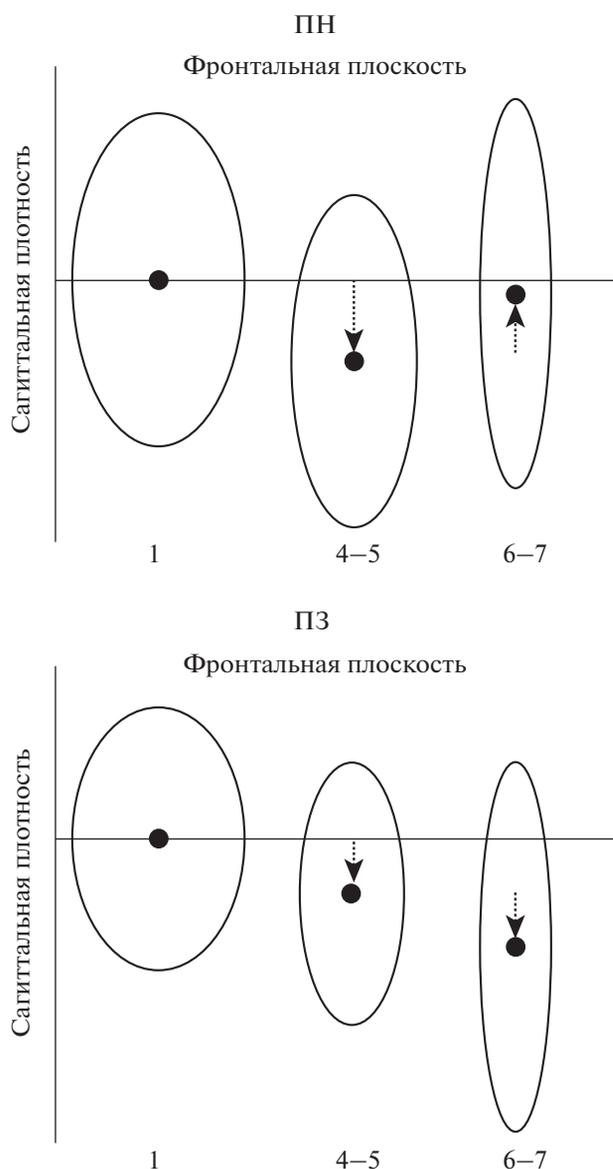


Рис. 4. Схематическое изображение динамики стабилметрических показателей при ожидании и прослушивании приближающегося звукового образа в группах ПН и ПЗ испытуемых. Вверху ПН испытуемые, внизу ПЗ испытуемые. Показано изменение площади, формы и положения центра эллипса во временные интервалы периода ожидания (1, 4–5) и в начале стимуляции (6–7). Стрелками условно показано смещение центра эллипса.

Fig. 4. Schematic image of changes of stabilometric parameters during waiting for and listening to approaching sound images for FI and FD subjects. At the top FI subjects; at the bottom the FD subjects. The changes in center position, area, and shape of ellipse were shown during the time intervals of the waiting period (1, 4–5) and at the beginning of stimulation (6–7). The sagittal shift of the ellipse center is shown by an arrow.

показателей свидетельствуют о снижении колебаний тела испытуемого и преднастройке, характерной перед началом собственного движения, – смещении тела назад. В первые секунды предъявления сигнала ПН испытуемые смещают центр давления вперед к источнику звука и увеличивают длину траектории. Эта поструральная реакция на приближающийся звуковой образ может быть интерпретирована как стратегия “бей”. Иная стратегия реализуется у ПЗ испытуемых. Непосредственно перед сигналом на 20% падает показатель площади эллипса, увеличивается его сжатие, тогда как достоверного уменьшения длины траектории не происходит. ПЗ испытуемые одновременно снижают площадь опоры и в меньшей степени, чем ПН, отклоняются назад. При предъявлении звукового сигнала они существенно смещают центр давления назад и увеличивают качание тела. Такая реакция на приближающийся звуковой образ может означать готовность к выполнению стратегии “беги”.

Таким образом, можно предположить, что на неосознанном уровне разными группами ПН и ПЗ испытуемых реализуются две разные стратегии поведения – “бей” или “беги”. Подготовка к разному реагированию на ожидаемый приближающийся источник звука начинается за 16–24 с до его звучания. Это различие в стратегиях поведения хорошо согласуется с данными, полученными в области социальных исследований о меньшей агрессивности и конформизме, характерных для ПЗ субъектов по сравнению с ПН (Witkin, Goodenough, 1977).

ВЫВОДЫ

1. Стабилометрические показатели, характеризующие выраженность колебаний ЦД тела, – длина траектории ЦД, его разброс, показатель площади эллипса – в период ожидания звуковой информации больше по величине в группе испытуемых с ПН, чем с ПЗ когнитивным стилем.

2. В период ожидания звука происходят динамические изменения стабилметрических показателей, которые свидетельствуют о подготовке испытуемых обеих групп к двигательной реакции на сигнал.

3. При появлении приближающегося биологически наиболее значимого сигнала в группах ПН и ПЗ испытуемых в поструральных показателях реализуется готовность к

разным стратегиям поведения, которые можно интерпретировать как стратегии “бей” или “беги”: ЦД тела у ПН смещается вперед, а у ПЗ – назад.

Работа поддержана средствами государственного бюджета по госзаданию (темы № АААА-А18-118013090245-6 и № 0113-2019-0006).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева И.Г., Гвоздева А.П., Боброва Е.В.* Постуральные ответы на движущиеся звуковые образы в зависимости от ведущей сенсорной модальности при ориентации в пространстве. *Росс. физиол. журн.* 2019. 105 (2): 178–190.
- Беленький И.Е., Гурфинкель В.С., Пальцев Е.И.* Об элементах управления произвольными движениями. *Биофизика.* 1967. 12 (1): 135–141.
- Тимофеева О.П., Гвоздева А.П., Боброва Е.В., Андреева И.Г.* Постуральные реакции в ожидании слуховой информации о движении. *Журн. эвол. биохим. и физиол.* 2019. 55 (6): 451–454.
- Andreeva I.G., Gvozdeva A.P., Bobrova E., Gerasimenko Yu.P.* Differences in the postural responses to approaching and receding sound images in subjects with different perceptual styles. *Dokl. Biol. Sci.* 2018. 482 (1): 6178–6181.
- Isableu B., Ohlmann Th., Cremieux J., Amblard B.* Selection of spatial frame of reference and postural control variability. *Exp. Brain Res.* 1997. 114: 584–589.
- Isableu B., Ohlmann Th., Cremieux J., Amblard B.* Differential approach to strategies of segmental stabilization in postural control. *Exp. Brain Res.* 2003. 150: 208–221.
- Keith R.W.* Development and Standardization of SCAN-C Test for Auditory Processing Disorders in Children *J Am. Acad. Audiol.* 2000. 11: 438–445.
- Multisensory perception From Laboratory to Clinic* Ed. By K. Sathian, V.S. Ramachandran Academic Press. 2020. 488 p.
- Vartanyan I.A., Andreeva I.G.* A psychophysiological study of auditory illusions of approach and withdrawal in the context of the perceptual environment. *The Spanish Journal of Psychology.* 2007. 10 (2): 266–276.
- Watanabe T., Saito K., Ishida K., Tanabe S., Nojima I.* Auditory stimulus has a larger effect on anticipatory postural adjustments in older than young adults during choice step reaction. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2017. 117 (12): 2409–2423.
- Witkin H.A., Goodenough D.R.* Field dependence and interpersonal behavior. *Psychol. Bulletin.* 1977. 84: 661–689.

POSTURAL SWAY IN HUMANS WITH DIFFERENT COGNITIVE STYLES AT WAITING AUDITORY MOTION

O. P. Timofeeva^a, A. P. Gvozdeva^a, E. V. Bobrova^b, and I. G. Andreeva^{a, #}

^a *Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

^b *Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

[#]*e-mail: ig-andreeva@mail.ru*

Anticipatory postural adjustment strategies in subjects with field dependent (FD) and field-independent (FI) cognitive styles of waiting for auditory motion information were studied. During the period of waiting for sound stimulation, changes in stabilometric parameters were more pronounced in the case of waiting for moving sound sources. Stabilometric parameters characterizing fluctuations of the center of pressure (COP) of the body – length of the trajectory of COP, the variation in its oscillations, the area of ellipse occupied by the oscillations of the COP, were higher in the group of FI subjects than in the FD subjects. The COP during waiting was moving backwards, away from the source of the sound signal. The bias was most noticeable in the FI subjects compared to the FD for approaching and stationary (control) sound images. With the beginning of the approaching signal COP shifts forward in FI subjects, and shifts backward – in FD subjects, while during listening to stationary signal, this effect was absent, and the value of the COP was not shifted. The data obtained suggest that the approaching sound image in subjects with FI and FD cognitive styles at an unconscious level triggers two opposite behavioral strategies – fight-or-flight.

Keywords: postural control, sound source motion, spatial orientation, multisensory interaction, cognitive style, field-dependence