

УДК 612.8

ПОЗНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОВОРОТАХ ТУЛОВИЩА В СИММЕТРИЧНОЙ И АСИММЕТРИЧНОЙ СТОЙКЕ

© 2019 г. О. В. Казенников¹, *, В. Л. Талис¹

¹ФГБУН Институт проблем передачи информации
им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

*E-mail: Kazen@iitp.ru

Поступила в редакцию 07.12.2018 г.

После доработки 05.03.2019 г.

Принята к публикации 03.04.2019 г.

Исследовали вертикальную позу у человека при стоянии с разными поворотами туловища и разным распределением нагрузки на ноги. Регистрировали движение проекции общего центра давления (ОЦД) и центров давления (ЦД) левой и правой ноги. Из стабิโลграммы выделяли преимущественное направление движения ЦД и анализировали изменение этого направления при повороте туловища и разным распределении нагрузки между ногами. Повороты туловища приводили к тому, что преимущественное направление движения ОЦД смещалось в сторону поворота. Такое изменение направления движения наблюдалось при любом распределении нагрузки на ноги. При этом сам перенос тяжести на одну ногу приводил к тому, что направление движения ОЦД смещалось в сторону нагруженной ноги. Направление движения ЦД нагруженной ноги не изменялось, а направление ЦД разгруженной ноги сдвигалось по часовой стрелке при разгрузке как правой, так и левой ноги. Можно предположить, что изменение механизмов сохранения вертикального положения при асимметричном распределении нагрузки на ноги может быть связано не только с изменением силового взаимодействия с опорной поверхностью, но также с появлением асимметрии тонуса аксиальной мускулатуры.

Ключевые слова: вертикальная поза, позные колебания, поворот туловища, нагрузка на ногу, центр давления ноги.

DOI: 10.1134/S0131164619040039

Поддержание равновесия во время стояния осуществляется при разном положении туловища. При этом механизмы сохранения вертикального положения адаптируются как к поворотам туловища, так и изменению распределения нагрузки между ногами. В поддержании вертикального положения принимают участие многие суставы тела, и отклонение от равновесного положения в одном суставе может быть скомпенсировано движением в другом суставе [1]. При обычном стоянии нарушение позы компенсируется скоординированными движениями в тазобедренном и голеностопном суставах. При поворнотом в сторону туловище направление усилий в тазобедренном и голеностопном суставах не совпадают, что естественно требует изменений в управлении усилиями в этих суставах и может повлиять на поддержание вертикальной позы. Из-за того, что в поддержании равновесия вертикального положения вовлечены две ноги возникает вопрос, как изменяется участие каждой ноги в позной регуляции в зависимости от направления поворота.

Для поддержания вертикального положения необходимо участие афферентных сигналов от рецепторов разной модальности, расположенных в разных частях тела. Известно, что существенную роль в этом процессе играет проприцептивная афферентация от мышц ног [2], афферентация от опорной поверхности стоп [3, 4], важная роль принадлежит афферентным сигналам от позвоночника. Так, например, в работе [5] показано увеличение позных колебаний у подростков с искривлением позвоночника, которое авторы объясняют тем, что скручивание туловища из-за сколиоза приводит к нарушению схемы тел и соответственно, к нарушению интеграции сенсорных сигналов для поддержания вертикального положения. У пациентов с болью в спине также наблюдались изменения в восприятии положения частей тела и изменения в стратегии позного контроля [6]. Также было описано, что поворот туловища компенсирует асимметрию позы при внешнем воздействии [7]. Таким образом, изучение стояния с поворотом туловища может прояснить механизмы управления вертикальной позой.

С другой стороны известно, что распределение нагрузки между ногами влияет на позную активность, поэтому особенности управления вертикальной позой могут проявиться в условиях несимметричного распределения веса между ногами [8]. В данной работе предполагается изучить поддержание вертикального положения у испытуемых при стоянии во время поворота туловища и разного распределения нагрузки между ногами.

МЕТОДИКА

В экспериментах принимали участие 13 практически здоровых испытуемых. В эксперименте стопы симметрично располагали на расстоянии в 10 см от внутреннего края каждого из двух рядом стоящих стабилграфов “Стабилан 01-13” (ОКБ РИТМ, Россия), что позволяло раздельно регистрировать изменения положения центра давления (ЦД) для левой и правой ноги. Регистрировали положение общего центра давления (ОЦД), а также ЦД левой и правой ноги с частотой оцифровки 50 Гц. У всех испытуемых поддержание вертикальной позы исследовали при спокойном состоянии с опущенными вдоль тела руками и закрытыми глазами. Стабилограммы регистрировали в условиях обычного стояния и при повороте туловища в левую или правую сторону. При повороте испытуемый сам определял удобный угол поворота, так чтобы не нарушалась устойчивость стояния. Обычно угол поворота составлял около 30 град, величину угла оценивали с помощью лазерной указки, закрепленной на голове.

В каждом из условий положения корпуса регистрацию стабилграмм производили при трех вариантах распределения веса тела между ногами. В первом варианте эксперимента испытуемый стоял, равномерно нагрузив ноги. Во втором — большая часть веса была перенесена на правую ногу, а в третьем — на левую ногу. При этом разгруженная нога не отрывалась от поверхности опоры. При переносе тяжести на одну ногу, испытуемый сам произвольно перераспределял нагрузку так, чтобы не возникало трудности при поддержании вертикальной позы. Длительность пробы составляла 40 с. При смене условий стояния делали паузу для отдыха примерно на 1 мин. Последовательность условий поворота туловища и распределения нагрузок на ноги чередовали в квазислучайном порядке.

Для вычисления параметров стабилграммы из нее вычитали медленную составляющую с частотой среза 0.1 Гц. Сагитальную и фронтальную составляющие стабилграммы анализировали для каждого варианта эксперимента в разных условиях стояния. Для оценки преимущественного направления движения ОЦД и ЦД каждой ноги производили выделение главной компоненты движения ЦД и вычисляли угол между пре-

имущественным направлением и направлением вперед. Угол считали положительным при повороте по часовой стрелки. Для каждого испытуемого эти значения в пробах с одинаковыми условиями эксперимента использовали для статистического анализа. Для выявления различий использовали одно- или двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями или парный *T*-тест. Одним из факторов с тремя уровнями была нагрузка — симметричная на обе ноги, нагрузка на правую ногу, нагрузка на левую ногу. Другим фактором был поворот туловища — прямо, поворот направо, поворот налево. Уровень для принятия различий приняли 0.05.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При симметричном стоянии на правую ногу приходилось 0.48 ± 0.01 от веса тела. Поворот туловища вправо приводил к уменьшению этой доли до 0.45 ± 0.01 , а поворот влево — к увеличению до 0.51 ± 0.02 (рис. 1, А). Дисперсионный анализ с одним фактором (положение туловища: прямо, влево, вправо) показал, что такие изменения достоверны ($F(2, 24) = 7.13, p < 0.004$), *post-hoc*-тест показал, что нагрузка на правую ногу при повороте вправо достоверно меньше, чем при повороте влево ($p < 0.05$, *Tukey*-тест). Таким образом, поворот туловища приводил к перераспределению нагрузки, а именно, к уменьшению нагрузки на ту ногу, в сторону которой происходил поворот.

При стоянии с переносом тяжести на правую ногу нагрузка на нее составляла 0.74 ± 0.01 . Нагрузка на правую ногу увеличивалась после поворот туловища направо до 0.75 ± 0.02 , при повороте туловища налево — до 0.78 ± 0.01 (рис. 1, Б). Дисперсионный анализ с одним фактором (положение туловища: прямо, влево, вправо) показал, что изменения были достоверны ($F(2, 24) = 3.62, p < 0.05$), а значимое увеличение нагрузки на правую ногу было только при сравнении положения туловища прямо и при повороте влево ($p < 0.05$, *post-hoc Tukey*-тест). Таким образом, при стоянии с нагрузкой на правую ногу повороты туловища приводили к еще большему увеличению нагрузки на нее.

При стоянии с разгрузкой правой ноги нагрузка на нее составляла 0.28 ± 0.02 от веса тела. Нагрузка на правую ногу уменьшалась после поворот туловища направо до 0.23 ± 0.02 , при повороте туловища налево — до 0.24 ± 0.02 (рис. 1, В). Дисперсионный анализ с одним фактором (положение туловища: прямо, влево, вправо) показал, что изменения были достоверны ($F(2, 24) = 10.17, p < 0.001$). Значимое уменьшение нагрузки на правую ногу по сравнению с обычным стоянием было как для поворота вправо и влево ($p < 0.05$, *post-hoc Tukey*-тест). Таким образом, при стоянии с разгруженной правой ногой повороты туловища

приводили к уменьшению нагрузки на нее, т.е. к увеличению нагрузки на левую нагруженную ногу. В целом можно заключить, что стояние с несимметричным распределением нагрузки между ногами поворот туловища приводил к увеличению нагрузки на нагруженную ногу.

Двухфакторный дисперсионный анализ не обнаружил достоверных изменений среднего положения ОЦД ни при изменении распределения нагрузки ($F(2, 24) = 0.24953, p > 0.78$), ни при повороте туловища ($F(2, 24) = 0.30, p > 0.74$). Взаимодействие факторов тоже не было достоверным ($F(4, 48) = 0.24, p > 0.92$). Таким образом, поворот туловища не приводил к смещению ОЦД в сагитальном направлении (рис. 2, А).

Двухфакторный дисперсионный анализ для среднего положения ЦД правой ноги (факторы нагрузка и поворот туловища) показал достоверное смещение ЦД правой ноги при изменении нагрузки ($F(2, 24) = 22.09, p < 0.001$), а именно при нагрузке на левую ногу среднее положение ЦД правой ноги смещалось вперед ($p < 0.05, post-hoc Tukey$ -тест, рис. 2, Б). Изменение положения ЦД правой ноги при повороте туловища не были достоверными ($F(2, 24) = 1.38, p > 0.27$). При этом взаимодействие факторов дисперсионного анализа было достоверным ($F(4, 48) = 3.70, p < 0.02$), т.е. при разном распределении нагрузки на ноги поворот туловища по-разному влиял на положение ЦД правой ноги. Дополнительный анализ показал, что при нагрузке на левую ногу поворот туловища вправо или влево приводил к увеличению смещения ЦД правой ноги вперед по сравнению с обычным стоянием (на 10 ± 3 мм, 9 ± 2 мм соответственно, $p < 0.05, post-hoc Tukey$ -тест). При симметричной нагрузке на ноги и при нагрузке на правую ногу поворот туловища не влиял на положение ЦД правой ноги. Таким образом, поворот туловища влиял на положение ЦД правой ноги, только тогда, когда она была разгружена.

Двухфакторный дисперсионный анализ для среднего положения ЦД левой ноги (факторы – нагрузка и поворот туловища) показал достоверное смещение ЦД левой ноги при изменении нагрузки ($F(2, 24) = 30.44, p < 0.001$). При нагрузке на правую ногу среднее положение ЦД левой ноги смещалось вперед по сравнению с ее положением при стоянии с симметричной нагрузкой и нагрузкой на левую ногу ($p < 0.05, post-hoc Tukey$ -тест, рис. 2, В). Влияние поворота туловища на положение ЦД левой ноги не было достоверным ($F(2, 24) = 0.46, p > 0.63$), но взаимодействие факторов дисперсионного анализа было достоверным ($F(4, 48) = 2.60, p < 0.05$). Дополнительный анализ показал, что при нагрузке на правую ногу поворот туловища влево приводил к увеличению смещения ЦД левой ноги вперед на 9 ± 3 мм по сравнению с обычным стоянием ($p < 0.05, post-hoc$

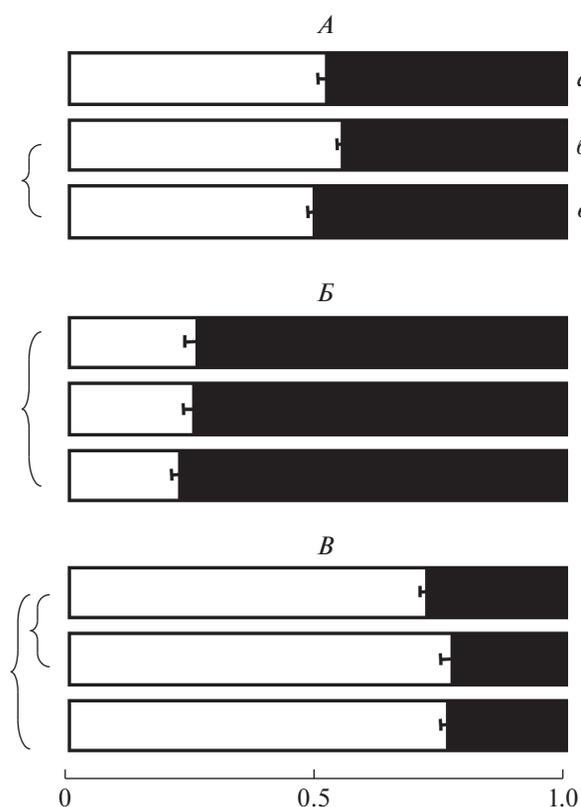


Рис. 1. Изменение доли веса тела, приходящегося на левую (белая полоса) и правую (черная полоса) ногу во время стояния с симметричным распределением веса тела (А), при нагрузке на правую ногу (Б) и при нагрузке на левую ногу (В) при поворотах туловища. а – распределение нагрузки при прямом положении корпуса, б – при повороте туловища вправо, в – при повороте туловища влево. Скобки соединяют условия стояния с достоверными различиями.

Fisher-тест). Таким образом, ЦД левой ноги смещался вперед, когда левая нога была разгружена. При симметричной нагрузке на ноги и при нагрузке на левую ногу поворот туловища не влиял на положение ЦД левой ноги.

Средние значения направления движения ОЦД и ЦД правой и левой ног приведены в табл. 1. При обычном стоянии основное движение ОЦД происходило в диапазоне ± 10 град к направлению вперед. Перенос тяжести на правую ногу приводил к тому, что направление движения ОЦД поворачивался по часовой стрелке, перенос тяжести на левую ногу приводил к повороту направления движения ОЦД против часовой стрелки (рис. 3, А). Повороты туловища также приводили к изменению направления движения ОЦД в направлении поворота. Анализ направления движения ОЦД с помощью двухфакторного дисперсионного анализа (первый фактор – нагрузка, второй фактор – поворот туловища) показал достоверные изменения по каждому фактору ($F(2, 24) = 7.88, p < 0.003$,

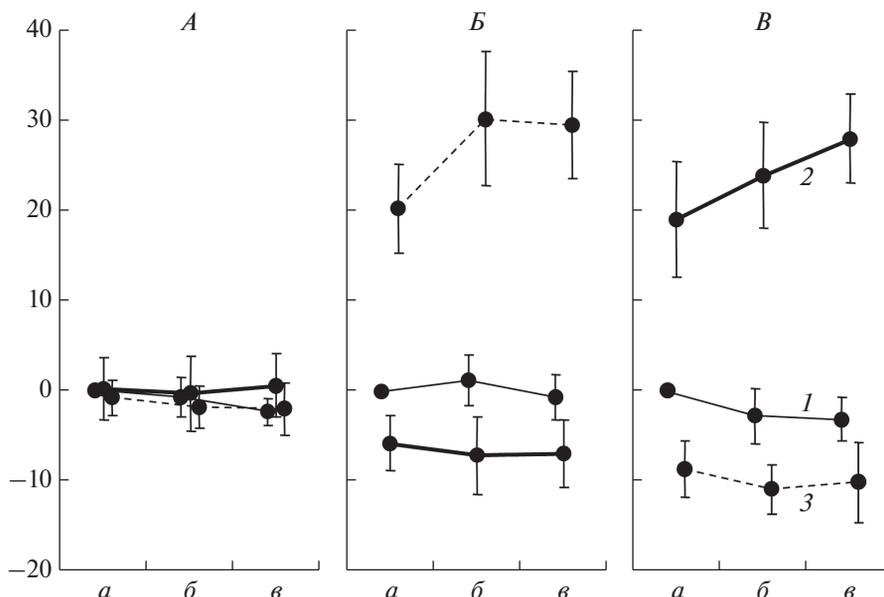


Рис. 2. Среднее положение ОЦД (А) и ЦД правой (Б) и левой (В) ног при повороте туловища. Соединены положения ЦД во время стояния с симметричной нагрузкой на ноги (1), после переноса тяжести на правую (2) и левую (3) ногу при прямом положении туловища (а), при повороте туловища направо (б) и налево (в). Показано среднее значение и стандартная ошибка.

$F(2, 24) = 6.42, p < 0.006$ соответственно для первого и второго фактора). Взаимодействие факторов не было достоверным ($F(4, 48) = 0.33, p > 0.85$). Таким образом, направление движения ОЦД изменялось как при поворотах туловища, так и при переносе тяжести на одну ногу.

При обычном стоянии ЦД правой ноги двигался вдоль линии, повернутой под углом примерно 15 град по часовой стрелке к переднезаднему направлению. Угол направления движения ЦД

правой ноги при переносе тяжести на правую ногу изменялся мало, а при переносе тяжести на левую ногу угол направления движения ЦД правой ноги уменьшался (табл. 1, рис. 3, Б). Поворот туловища сопровождался поворотом направления движения ЦД правой ноги в сторону поворота. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что изменение угла направления движения ЦД правой ноги было достоверно при изменении нагрузки на ноги ($F(2, 24) = 3.74, p < 0.04$) и при по-

Таблица 1. Угол (в градусах) между направлением вперед и преимущественным направлением движения общего центра давления (ОЦД) и центров давления (ЦД) правой и левой ног при поворотах туловища и разном распределении нагрузки на ноги

Распределение нагрузки на ноги	Туловище прямо	Поворот туловища вправо	Поворот туловища влево
ОЦД			
Симметричная нагрузка на ноги	0.67 ± 5.17	1.02 ± 8.73	-12.47 ± 3.12
Нагрузка на правую ногу	5.26 ± 8.10	13.55 ± 9.57	4.99 ± 3.89
Нагрузка на левую ногу	-15.15 ± 4.66	-8.95 ± 5.49	-21.91 ± 3.46
ЦД правой ноги			
Симметричная нагрузка на ноги	15.19 ± 1.82	16.17 ± 1.36	12.77 ± 2.12
Нагрузка на правую ногу	14.54 ± 1.77	17.04 ± 2.01	14.14 ± 1.91
Нагрузка на левую ногу	12.20 ± 2.09	13.22 ± 2.42	11.12 ± 2.32
ЦД левой ноги			
Симметричная нагрузка на ноги	-11.10 ± 1.75	-9.78 ± 2.07	-13.17 ± 1.90
Нагрузка на правую ногу	-53.28 ± 5.44	-46.58 ± 6.79	-56.75 ± 5.55
Нагрузка на левую ногу	-12.68 ± 1.76	-10.60 ± 1.61	-13.07 ± 1.64

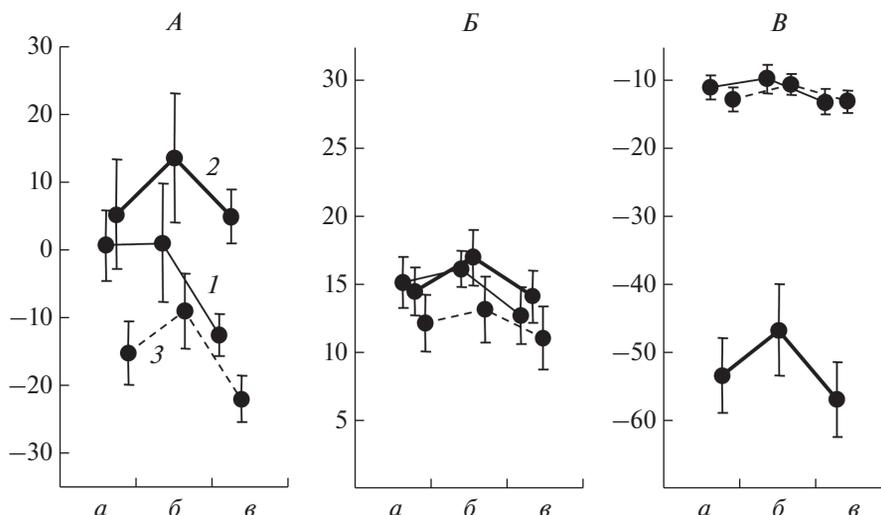


Рис. 3. Угол преимущественного движения ОЦД (А) и ЦД правой (Б) и левой (В) ног при повороте туловища во время стояния с симметричной нагрузкой на ноги, после переноса тяжести на правую и левую ногу при прямом положении туловища, при повороте туловища направо и налево. Обозначения см. рис. 2. Показано среднее значение и стандартная ошибка.

воротах туловища ($F(2, 24) = 15.51, p < 0.001$). Взаимодействие факторов не было достоверным ($F(4, 48) = 0.58, p > 0.67$), таким образом, повороты туловища влияли на направление движения ЦД правой ноги независимо от распределения нагрузки. Изменение направления движения ЦД правой ноги было значимым при стоянии с разгруженной правой ногой.

При обычном стоянии ЦД левой ноги двигался вдоль линии, повернутой под углом примерно 10 град против часовой стрелки к переднезаднему направлению. Угол направления движения ЦД левой ноги при переносе тяжести на правую ногу сильно увеличивался по величине (табл. 1, рис. 3, В). При переносе тяжести на левую ногу угол направления движения ЦД левой ноги изменялся мало. Поворот туловища сопровождался поворотом направления движения ЦД левой ноги в сторону поворота. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что изменение угла направления движения ЦД левой ноги было достоверно при изменении нагрузки на ноги ($F(2, 24) = 76.87, p < 0.001$) и при поворотах туловища ($F(2, 24) = 5.24, p < 0.02$). Взаимодействие факторов не было достоверным ($F(4, 48) = 1.06, p > 0.39$), таким образом, повороты туловища влияли на направление движения ЦД левой ноги независимо от распределения нагрузки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В проведенных экспериментах было исследовано влияние поворотов туловища на особенности управления движениями ОЦД и ЦД обеих ног. Поворот туловища приводил к повороту оси

тазобедренного сустава и для компенсации движений, в этом суставе было необходимо изменение направление движения ЦД каждой ноги, что приводило к сдвигу преимущественного движения ОЦД в сторону поворота туловища. Таким образом, изменение направления движения ОЦД и ЦД каждой ноги, по-видимому, объясняется изменением конфигурации тела. При переносе тяжести на одну ногу также наблюдалось изменение направления движения ОЦД и ЦД. При этом изменение направления движения ЦД каждой ноги было более выраженным, когда нога была разгружена. После переноса тяжести на ногу направление движения ее ЦД не изменялось по сравнению со стоянием с симметричной нагрузкой ног. Такие различия в изменении направления движения ЦД могли быть связаны с тем, что при несимметричном распределении нагрузки на ноги поддержание вертикального положения обеспечивалось в основном активностью нагруженной ноги. Перенос тяжести на одну ногу приводил к изменению направления движения ЦД разгруженной ноги. По-видимому, двигательная активность в разгруженной ноге создавала дополнительные вспомогательные усилия для поддержания равновесия в направлении отличном от основного, что приводило к смещению направления движения ОЦД. Косвенным указанием на это может быть то, что изменение распределения нагрузки на ноги при повороте туловища не было прямо связано с изменениями в направлении движения ОЦД и ЦД. Кроме того, можно отметить, что среднее положение ЦД разгруженной ноги смещалось вперед по сравнению с обычным стоянием. Таким образом, линия, соединяющая

ЦД ног, относительно которой происходит движение тела, поворачивается к нагруженной ноге. Этот поворот направления движения ОЦД при переносе тяжести на одну ногу мог быть обусловлен изменением взаимодействия с опорной поверхностью.

Помимо механических причин смещение направления движения ОЦД при повороте туловища может быть связано с изменением распределения нагрузки на ноги. Поворот туловища при симметричном распределении нагрузки на ноги приводил к уменьшению нагрузки на ту ногу, в сторону которой происходил поворот. Напротив, при стоянии с несимметричным распределением нагрузки между ногами поворот туловища приводил к увеличению нагрузки на нагруженную ногу. Таким образом, изменение взаимодействия ног после переноса тяжести на одну ногу может быть следствием не только изменения силового взаимодействия с опорой, но и с повышенным тонусом осевой мускулатуры на нагруженной стороне тела.

Как было сказано ранее, в исследовании вертикальной позы у подростков с искривлением позвоночника было показано изменение относительной роли сенсорных сигналов из разных афферентных источников [9]. Наблюдения пациентов со сколиозом показали, что нарушение проприоцептивной афферентации из-за деформации позвоночника могло быть уменьшено путем хирургического исправления позвоночника или его фиксации [9]. Авторы предполагали, что нарушение сенсомоторной интеграции у таких пациентов могли быть связаны с изменением схемы тела [5, 9]. Нарушение распределения нагрузки на ноги у пациентов после инсульта также могли рассматриваться как смещение внутренней системы координат [10]. Можно предположить, что повороты туловища в наших экспериментах изменяли кинематическую схему тела и приводили к модификации естественных позных синергий, так что изменения движения ОЦД и ЦД каждой ноги при повороте туловища в этих условиях представляются естественными. Изменение направления движения ОЦД и ЦД ног при переносе тяжести на одну ногу также могли рассматриваться как указание на изменения схемы тела. В данной работе изменение направления движения ОЦД и ЦД ног могло быть связано с увеличением мышечного тонуса на нагруженной стороне тела. Таким образом, изменение позного контроля при асимметричном распределении нагрузки на ноги может быть связано не только с изменением силового взаимодействия с опорной поверхностью, но также с появлением асимметрии тонуса аксиальной мускулатуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повороты туловища приводили к тому, что преимущественное направление движения ОЦД смещалось в сторону поворота при любом варианте распределения нагрузки на ноги. Такое изменение направления движения наблюдалось при любом распределении нагрузки на ноги. При этом сам перенос тяжести на одну ногу приводил к тому, что направление движения ОЦД смещалось в сторону нагруженной ноги. Направление движения ЦД нагруженной ноги не изменялось, а направление ЦД разгруженной ноги сдвигалось по часовой стрелке при разгрузке как правой, так и левой ноги. Можно предположить, что изменение механизмов поддержания вертикального положения при асимметричном распределении нагрузки на ноги может быть связано не только с изменением силового взаимодействия с опорной поверхностью, но также с появлением асимметрии тонуса аксиальной мускулатуры.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН (Москва).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Исследование частично поддержано грантом РФФИ № 18-015-00266.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Günther M., Grimmer S., Siebert T., Blickhan R. All leg joints contribute to quiet human stance: a mechanical analysis // J. Biomech. 2009. V. 42. P. 2739.
2. Гурфинкель В.С., Липищ М.И., Попов К.Е. Исследование системы регуляции вертикальной позы вибрационной стимуляцией мышечных веретен // Физиология человека. 1977. Т. 3. № 3. С. 635.
3. Григорьев А.И., Козловская И.Б., Шенкман Б.С. Роль опорной афферентации в организации тонической мышечной системы // Российский физиологический журнал. 2004. Т. 90. № 5. С. 508.
4. Казенников О.В., Киреева Т.Б., Шлыков В.Ю. Влияние структуры опорной поверхности под стопой на поддержание вертикальной позы при разном распределении нагрузки между ногами // Физиология человека. 2016. Т. 42. № 4. С. 61.

5. *Pialasse J.P., Simoneau M.* Effect of bracing or surgical treatments on balance control in idiopathic scoliosis: three case studies // *J. Can. Chiropr. Assoc.* 2014. V. 8. P. 131.
6. *Brumagne S., Janssens L., Knapen S. et al.* Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy // *Eur. Spine J.* 2008. V. 17. P. 1177.
7. *Lee Y.J., Aruin A.S.* Effects of asymmetrical stance and movement on body rotation in pushing // *J. Biomech.* 2015. V. 48. P. 283.
8. *Казенников О.В., Куреева Т.Б., Шлыков В.Ю.* Особенности поддержания вертикальной позы при неравномерной нагрузке на ноги // *Физиология человека.* 2013. Т. 39. № 2. С. 65.
9. *Pialasse J.P., Descarreaux M., Mercier P., Simoneau M.* Sensory reweighting is altered in adolescent patients with scoliosis: Evidence from a neuromechanical model // *Gait Posture.* 2015. V. 42. P. 558.
10. *Barra J., Oujamaa L., Chauvineau V. et al.* Asymmetric standing posture after stroke is related to a biased ego-centric coordinate system // *Neurology.* 2009. V. 72. № 18. P. 1582.

Postural Sway during Body Rotation in Symmetrical and Asymmetrical Standing in Human

O. V. Kazennikov^{a,*}, V. L. Talis^a

^a*Institute for Information Transmission Problems RAS, Moscow, Russia*

^{*}*E-mail: Kazen@iitp.ru*

We studied the vertical posture in standing subjects with different rotations of the body and different distribution of the load between legs. We recorded the movements of the projection of the common center of pressure (CCP) and of the center of pressure (CP) for the left and right legs. The predominant direction of CP movement was determined basing on stabilogram, and then changes of this direction were analyzed during body rotations and in different load distribution between the legs. Body rotation led to the shift of the predominant direction of CCP movement towards the rotation side. Such change in the direction of CCP movement was observed with any load distribution between the legs. At the same time, the transfer of weight to one leg also led to the direction shift of CCP movement towards the loaded leg. The direction of CP movement of the loaded leg did not change, but the direction of CP movement of the unloaded leg shifted clockwise when unloading both right and left legs. We assume that changes in the mechanisms for maintaining the vertical position with asymmetric distribution of the leg load may be associated not only with a change in the force interaction with the supporting surface but also with the asymmetry in the tone of axial muscles.

Keywords: vertical posture, postural sway, body turn, leg load, center of pressure of leg.