

ОСОБЕННОСТИ ПОСТУРАЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ТЕЛА У ДЕТЕЙ С АСИММЕТРИЧНОЙ ВОРОНКООБРАЗНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Никитюк И.Е.¹, Гаркавенко Ю.Е.^{1,2}, Рыжиков Д.В.¹, Долгиев Б.Х.¹

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: femtotech@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

Аннотация. Цель исследования – оценить вертикальный баланс пациентов с асимметричной воронкообразной деформацией грудной клетки тяжёлой степени при левосторонней и правосторонней локализации поражения. С помощью двух стабилметрических платформ был исследован вертикальный баланс 24 пациентов (12-17 лет) с воронкообразной деформацией грудной клетки, которые были распределены на две группы: с левосторонней локализацией деформации – 10 детей, с правосторонней локализацией деформации – 14 детей. Для контроля обследовали 18 здоровых детей без нарушений осанки. В обеих группах пациентов выявлено ухудшение вертикального баланса по сравнению со здоровыми детьми. По совокупности признаков наиболее выраженные нарушения постурального контроля наблюдались у пациентов с левосторонней воронкообразной деформацией грудной клетки, по сравнению с пациентами с правосторонней воронкообразной деформацией грудной клетки. Это демонстрировалось большей площадью S статокинезиограмм (соответственно, 80 [38–141] мм² и 62 [48–99] мм²) и более выраженным снижением качества функции равновесия (нижние квартили равны, соответственно, 57% и 68%). Также при левостороннем поражении по сравнению с правосторонним отмечалось патологическое повышение степени координации движений между контралатеральными нижними конечностями пациентов – коэффициент корреляции между векторами скоростей V был увеличен до 0,91. Различия в постуральных стратегиях между пациентами с левосторонней и правосторонней воронкообразной деформацией грудной клетки могут быть следствием формирования у них разнородных моторных программ организма в зависимости от характера нарушений спектра проприоцептивных сигналов, поступающих со стороны рефлексогенных зон сердца, компрессированного деформированной грудиной.

Ключевые слова: дети, воронкообразная грудная клетка, постуральный контроль.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования: работа проведена в рамках выполнения Государственного задания Минздрава России.

FEATURES OF POSTURAL BODY STABILITY IN CHILDREN WITH ASYMMETRIC PECTUS EXCAVATUM

Nikityuk I.E.¹, Garkavenko Yu.E.^{1,2}, Ryzhikov D.V.¹, Dolgiev B.Kh.¹

¹H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, e-mail: femtotech@mail.ru;

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg

Annotation. The aim of the study was to evaluate the vertical balance of patients with severe asymmetric funnel-shaped chest deformity with left-sided and right-sided localization of the lesion. Using two stabilometric platforms, the vertical balance of 24 patients (12-17 years old) with funnel-shaped chest deformity was studied, who were divided into two groups: 10 children with left-sided localization of deformity, 14 children with right-sided localization of deformity. For control, 18 healthy children without posture disorders were examined. In both groups of patients, a deterioration in vertical balance was revealed compared with healthy children. According to the set of signs, the most pronounced violations of postural control were observed in patients with left-sided funnel-shaped chest deformity, compared with patients with right-sided funnel-shaped chest deformity. This was demonstrated by a larger area of S statokinesigrams (80[38 – 141] mm² and 62[48 – 99] mm², respectively) and a more pronounced decrease in the quality of the equilibrium function (the lower quartiles are 57% and 68%, respectively). Also, with a left-sided lesion, compared with a right-sided one, there was a pathological increase in the degree of coordination of movements between the contralateral lower

extremities of patients - the correlation coefficient between velocity vectors V was increased to 0.91. Differences in postural strategies between patients with left-sided and right-sided funnel-shaped chest deformity may be a consequence of the formation of heterogeneous motor programs of the body in them, depending on the nature of violations of the spectrum of proprioceptive signals coming from the reflexogenic zones of the heart compressed by a deformed sternum.

Keywords: children, funnel chest, postural control.

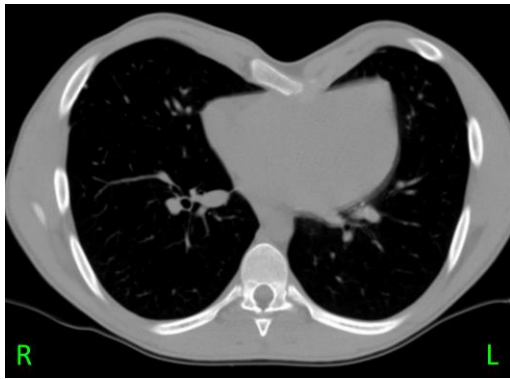
Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Source of funding: the work was carried out as part of the implementation of the State assignment of the Russian Ministry of Health.

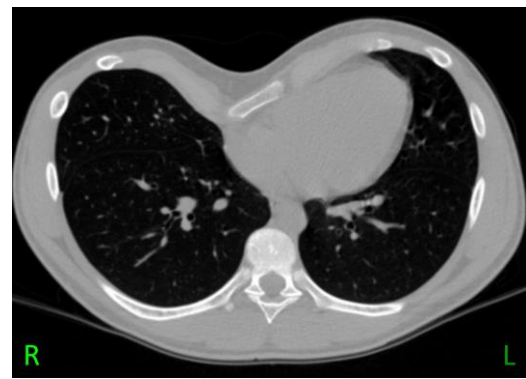
Воронкообразная деформация грудной клетки (ВДГК) является наиболее распространенной деформацией передней грудной стенки. Она вызвана дорсальным отклонением дистальной части грудины и ребер на уровне деформации, в зависимости от локального или протяженного типа деформации, и встречается у одного из каждых 400-1000 новорожденных [1]. На данный момент времени нет сомнений в том, что данный тип нарушения развития передней грудной стенки является функционально значимым из-за возможности формирования нарушений кардиореспираторных функций пациента при выраженных степенях деформации. Значительное снижение ретростерального пространства приводит к уменьшению объема грудной клетки, что, в свою очередь, обуславливает снижение жизненной ёмкости лёгких [2], нарушение функции сердечно-сосудистой системы [3] из-за компрессии сердца [4]. Это влечёт ухудшение качества жизни пациентов, проявляющееся снижением выносливости при физической нагрузке, затрудненным дыханием, одышкой, болью в груди [5]. В настоящее время стали появляться свидетельства нарушения стабильности осанки у больных с воронкообразной деформацией грудной клетки [6]. Детальное изучение вертикального баланса у таких пациентов необходимо для лучшего понимания сложного механизма функционирования их органов и систем.

Цель исследования – оценить вертикальный баланс пациентов с асимметричной воронкообразной деформацией грудной клетки тяжёлой степени при левосторонней и правосторонней локализации поражения.

Материал и методы исследования. Было проведено биомеханическое обследование 24 пациентов в возрасте от 12 до 17 лет с воронкообразной деформацией грудной клетки тяжёлой степени, которые были распределены на две однородные по возрасту группы. Одна группа состояла из 10 детей с левосторонней локализацией ВДГК (рис. 1а), средний возраст $14,8 \pm 0,75$ года, вторая – из 14 детей с правосторонней локализацией ВДГК (рис. 1б), средний возраст $15,2 \pm 0,44$ года.



а)



б)

Рис. 1. Мультиспиральные компьютерные томограммы грудной клетки пациентов с ВДГК тяжёлой степени: а) пациентка Ф., 16 лет, с левосторонней локализацией деформации; б) пациент Д., 14 лет, с правосторонней локализацией деформации

В группу контроля отобрали 18 здоровых детей того же возраста без видимой патологии костно-мышечной системы. Всем детям проводили стабилметрическое обследование для оценки вертикального баланса тела с использованием двух платформ комплекса МБН «Биомеханика» (Россия) по стандартной методике с открытыми и закрытыми глазами. В процессе регистрации статокинезиограмм все дети стояли на платформах с параллельным расположением стоп. Оценку вертикального баланса осуществляли с учётом величины отклонения общего центра давления тела (ЦДО) в декартовой системе координат – его смещений X (мм) и Y (мм), соответственно, во фронтальной и сагиттальной плоскостях. При этом определяли площади статокинезиограмм S (мм²) и оценивали качество функции равновесия КФР (%), которое является показателем стабильности вертикального баланса тела. Вычисляли значения α (град) – углов направления колебаний ЦДО относительно сагиттальной плоскости. Определяли показатели линейных скоростей V (мм/с) ЦДО и центров давления контралатеральных нижних конечностей. Для оценки координации движений между нижними конечностями вычисляли силу корреляционных связей между скоростными характеристиками центров давления левой и правой конечностей: результирующими скоростями V , а также их проекциями на оси координат $V-X$ и $V-Y$.

Статистический анализ проводили с использованием программы SPSS 11.5 (разработчик IBM, США) и Statgraphics Centurion 16.2 (разработчик Statpoint Technologies, Inc., США). Для сравнительного анализа выборок использовали критерии Манна - Уитни и Фишера с уровнем для принятия различий 0,05. Для корреляционного анализа использовали коэффициент Спирмена r_s .

Результаты исследования и их обсуждение. При анализе показателей стабилметрии у пациентов с воронкообразной деформацией грудной клетки в обеих

группах были выявлены значимые смещения общего центра давления тела во фронтальной плоскости (ось X) по сравнению со здоровыми детьми (критерий Фишера, соответственно, слева $F = 0,021$ при $p < 0,001$ и справа $F = 0,048$ при $p < 0,001$). При этом у пациентов с левосторонней ВДГК смещение ЦДО было практически одинаковым как в левостороннем, так и в правостороннем направлении (табл. 1). В то же время у пациентов с правосторонней ВДГК наблюдалась преимущественно левосторонняя диспозиция общего центра давления (рис. 2а). У всех пациентов также наблюдалось нарушение сагиттального баланса тела, что проявлялось в смещении ОЦД вперёд по оси Y, наиболее выраженное у пациентов с правосторонней ВДГК. В то же время анализ диспозиций ЦД под нижними конечностями у пациентов с правосторонней ВДГК выявил выраженное преобладающее его переднее отклонение под правой нижней конечностью (35 [13–40] мм) по сравнению с левой (19 [8–37] мм) (рис. 2а).

Таблица 1

Комплексные показатели движения общего центра давления здоровых детей и пациентов с ВДГК при открытых и закрытых глазах

| Параметры | Группы обследованных детей | | | Критерий Манна-Уитни | Критерий Фишера, p |
|------------------------------|---|---|--|----------------------|----------------------|
| | Здоровые (1), Me [Q ₁ – Q ₃], $n = 18$ | Пациенты с ВДГК | | | |
| | | ВДГК слева (2), Me [Q ₁ – Q ₃], $n = 10$ | ВДГК справа (3), Me [Q ₁ – Q ₃], $n = 14$ | | |
| Смещение X (мм) | 0 [-1 – 1] | -2 [-6 – 11] | -1 [-7 – 4] | $p^{2-3} = 0,491$ | 0,044 |
| Смещение Y (мм) | 3 [0 – 5] | 8 [3 – 20] | 24 [10 – 40] | $p^{2-3} = 0,030$ | 0,007 |
| Площадь S (мм ²) | 28 [19 – 38] | 80 [38 – 141] | 62 [48 – 99] | $p^{2-3} = 0,709$ | 0,002 |
| Скорость V (мм/с) | 6 [5 – 8] | 11 [9 – 16] | 10 [8 – 13] | $p^{2-3} = 0,534$ | 0,001 |
| КФР (%) | 92 [85 – 95] | 76 [57 – 83] | 78 [68 – 86] | $p^{2-3} = 0,481$ | 0,022 |
| Угол α (град.) | -3 [-7 – 0] | 0 [-8 – 4] | 5 [-4 – 11] | $p^{2-3} = 0,062$ | 0,055 |

Примечание: p – уровень значимости различий между дисперсиями показателей пациентов с левосторонней и правосторонней ВДГК.

Аналогичное распределение центров давлений между нижними конечностями характерно и для здоровых детей (смещение ЦД по оси Y слева 3 [-2 – 4] мм, справа 6 [2–7] мм) (рис. 2б).

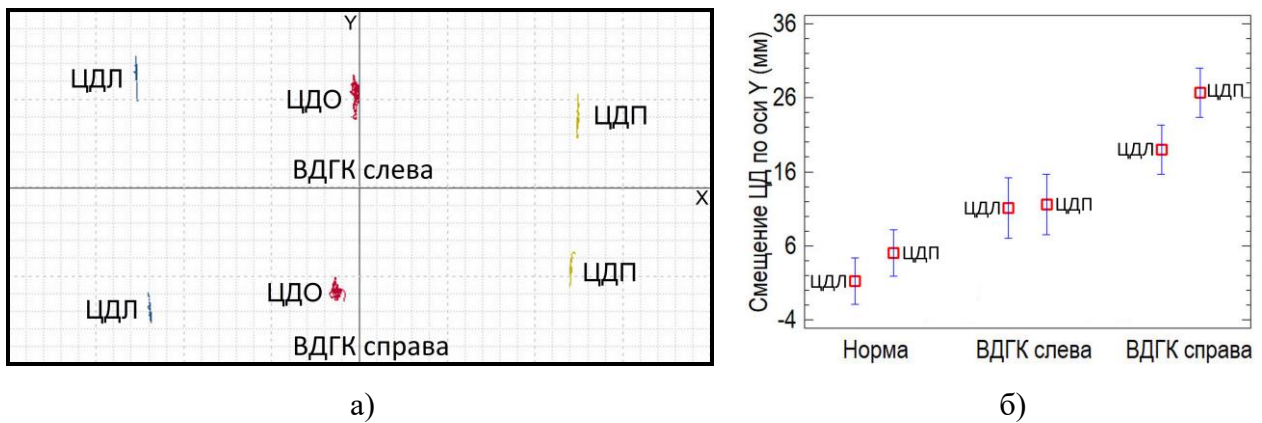


Рис. 2. Графическое представление отклонений центров давления у пациентов с ВДГК:
 а) примеры смещения центров давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях;
 б) диаграмма 95%-ных интервалов средних значений отклонений ЦД контралатеральных нижних конечностей по оси Y. ЦДЛ – центр давления левой нижней конечности, ЦДО – общий центр давления тела, ЦДП – центр давления правой нижней конечности

Наоборот, у пациентов с левосторонней ВДГК не было выявлено значимых различий между медианными показателями сагиттальных отклонений ЦД контралатеральных нижних конечностей (смещение ЦД по оси Y слева 15 [6–17] мм, справа 11 [-1 – 21] мм). Это может быть обусловлено тем, что при левосторонней локализации деформации грудной клетки у пациентов наблюдалось равновероятное переднее отклонение центров давления как под левой нижней конечностью (рис. 2а), так и под правой.

Левостороннее отклонение ОЦД тела у пациентов с правосторонней ВДГК может быть обусловлено компенсаторным отклонением их туловища влево. Это может быть следствием раздражения рефлексогенных зон правого отдела сердца (рис. 1а), которое наиболее подвержено компрессии со стороны деформированной грудины [7]. У пациентов с левосторонней ВДГК подобная закономерность не наблюдается, так как имеет место «центральная» компрессия сердца (рис. 1б). В свою очередь частичный перенос веса тела на левую нижнюю конечность у пациентов с правосторонней деформацией грудной клетки, по-видимому, провоцирует рефлекторное смещение ОЦД тела и ЦД под нижними конечностями кпереди. Это предположение подтверждается существованием корреляционной связи между величиной отклонения общего центра давления тела по оси Y от величины его смещения по оси X ($r_s = 0,28$, $p=0,194$) у пациентов с правосторонней ВДГК. Наоборот, у пациентов с левосторонней ВДГК подобная корреляционная зависимость практически отсутствует ($r_s = 0,07$, $p=0,791$). Подобное адаптивное отклонение центров давления во фронтальной и сагиттальной плоскостях имеет место у пациентов с односторонним поражением нижней конечности, что авторами было отмечено ранее [8].

Анализ статокINETических характеристик стабилОграмм выявил нарушение вертикального баланса в обеих группах пациентов с ВДГК, наиболее выраженное у больных с левосторонним поражением грудной клетки.

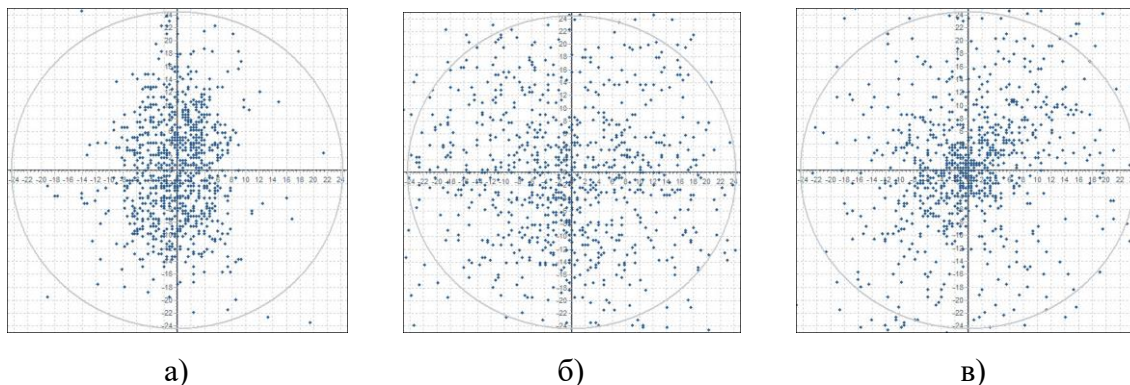


Рис. 3. Примеры графического представления облаков вершин векторов скоростей ОЦД тела при открытых глазах: а) здорового ребёнка (КФР = 84,68%); б) пациента с левосторонней ВДГК (КФР = 56,05%); в) пациента с правосторонней ВДГК (КФР = 68,16%)

Это проявлялось значимым увеличением у пациентов по сравнению со здоровыми детьми показателей линейной скорости V общего центра давления тела и площади статокИнезиОграмм S ($p < 0,05$). У пациентов с левосторонней ВДГК баланс тела был менее стабильным, так как показатели площади S и скорости V у них были значимо больше, чем у пациентов с правосторонней ВДГК. При этом у всех пациентов было значимо понижено качество функции равновесия КФР по сравнению с нормальными показателями ($p < 0,05$). Считается, что при снижении показателя КФР у человека ухудшается его способность удерживать равновесие [9]. Снижение качества функции равновесия у больных с левосторонней ВДГК было более выраженным, что демонстрировалось более низким квартильным значением $Q_1 = 57\%$ параметра КФР по сравнению с больными с правосторонней ВДГК ($Q_1 = 68\%$) (рис. 3).

В настоящее время нет чёткого понимания того, почему у пациентов с воронкообразной грудной клеткой снижена способность поддерживать вертикальный баланс тела. Существует предположение, что нарушение поструральной стабильности у пациентов с ВДГК может быть обусловлено относительным снижением их мышечной массы тела, так как для них часто характерно астеническое телосложение при высоком росте, и большинство пациентов имеют определенный марфаноидный фенотип [10]. Однако указанная точка зрения не подтверждается при направленном исследовании вертикального баланса пациентов со сниженным весом и высоким ростом [11].

Направленность колебаний общего центра давления у детей с правосторонней ВДГК имела тенденцию к смещению от срединной линии в сторону положительных значений по

часовой стрелке, в то время как у детей с левосторонней ВДГК колебания тела равновероятно отклонялись от срединной линии как по часовой, так и против часовой стрелки. Об этом свидетельствуют соответствующие значения угла направления колебаний α ОЦД у пациентов (табл. 1).

Анализ соотношений медианных показателей углов направления колебаний α общего центра давления тела и медианных показателей координат ЦД контралатеральных нижних конечностей выявил у обследованных детей следующую закономерность.

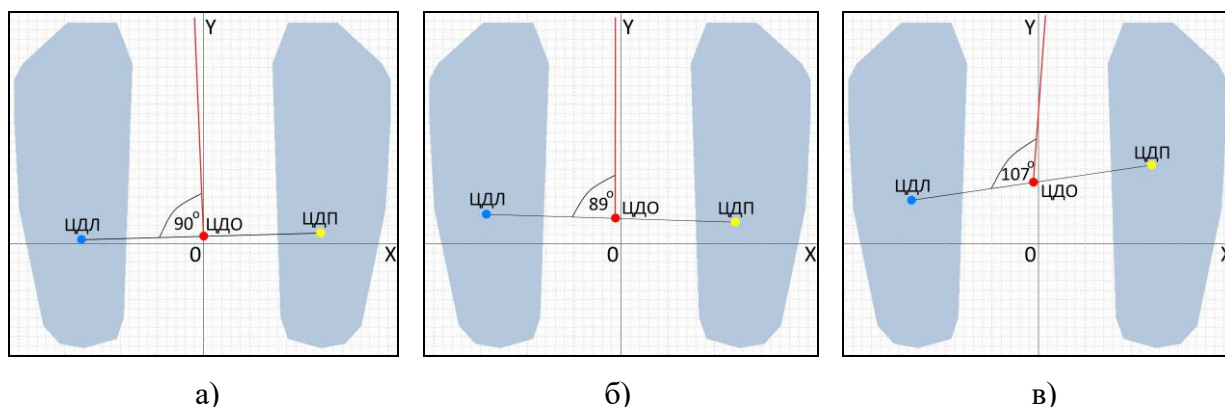


Рис. 4. Графическое представление соотношений медианных показателей углов α общего центра давления (ЦДО) тела и медианных показателей координат ЦД левой (Л) и правой (П) нижних конечностей при открытых и закрытых глазах: а) здоровых детей; б) пациентов с левосторонней ВДГК; в) пациентов с правосторонней ВДГК. Красная линия – медианное значение угла направления колебаний α ОЦД

У здоровых детей наблюдается более вентральное смещение ЦД под правой нижней конечностью и более дорзальное – под левой по отношению к ОЦД тела. Поэтому линия, соединяющая ЦДЛ и ЦДП контралатеральных нижних конечностей, повернута относительно оси X против часовой стрелки (рис. 4а). В то же время направленность колебаний ОЦД (угол α) смещена от сагиттальной оси также против часовой стрелки. В результате у здоровых детей линия направления колебаний располагается строго перпендикулярно линии, соединяющей ЦДЛ и ЦДП (величина угла 90°). Аналогичные графические построения у пациентов выявили, что у детей с левосторонней ВДГК линия направления колебаний располагается почти перпендикулярно линии, соединяющей ЦДЛ и ЦДП (величина угла 89°) (рис. 4б). В то же время у детей с правосторонней ВДГК линия направления колебаний резко отклонена от линии, соединяющей ЦДЛ и ЦДП, образуя с ней угол, превышающий норму на 17° (рис. 4в). Подобное отклонение линии направления колебаний можно расценивать как патологическое, что предполагает нарушение адаптивных механизмов обеспечения пострурального контроля у пациентов с правосторонней воронкообразной деформацией грудной клетки.

Корреляционный анализ скоростных характеристик движения центров давления выявил у пациентов с правосторонней ВДГК достаточно сильные взаимосвязи между указанными параметрами контралатеральных нижних конечностей, характер которых в совокупности соответствовал таковому у здоровых детей (табл. 2).

Таблица 2

Сила корреляционных связей между скоростными характеристиками движений центров давления левой и правой нижних конечностей у здоровых детей и пациентов

| Корреляции | Коэффициент корреляции Спирмена r_s | | |
|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Здоровые дети, $n = 18$ | Пациенты с ВДГК | |
| | | ВДГК слева, $n = 10$ | ВДГК справа, $n = 14$ |
| $V_L \sim V_P$ | 0,75 (0,001) | 0,88 (0,001) | 0,72 (0,001) |
| $V-X_L \sim V-X_P$ | 0,74 (0,001) | 0,51 (0,043) | 0,50 (0,012) |
| $V-Y_L \sim V-Y_P$ | 0,61 (0,001) | 0,91 (0,001) | 0,78 (0,001) |

Примечание: V – результирующая скорость, V-X и V-Y – проекции результирующей скорости на оси координат, Л – левая сторона, П – правая сторона.

Данный факт указывает на достаточно высокую синхронность колебательных движений контралатеральных нижних конечностей у больных с правосторонней ВДГК, что является показателем скоординированности системы постурального контроля [12]. У пациентов с левосторонней ВДГК сила корреляционных связей в соотношениях $V_L \sim V_P$ и $V-Y_L \sim V-Y_P$ оказалась резко повышенной по сравнению с пациентами с правосторонней ВДГК. Это может свидетельствовать об избыточном повышении степени координации движений между контралатеральными нижними конечностями пациентов, что требует неоправданно высоких затрат энергии со стороны их опорно-двигательной системы. Подобная гиперсинхронизация движений контралатеральных нижних конечностей пациентов наблюдается при раздражении рефлексогенных зон, расположенных в других отделах костно-мышечной системы [13]. В целом, чрезмерно высокая синхронность параметров системы постурального контроля является патологической [14]. Для объяснения описанного локомоторного феномена, выявленного в настоящем исследовании у пациентов с левосторонней ВДГК, необходимо учитывать, что у человека система контроля вертикального баланса регулируется множественными сигналами, поступающими преимущественно от зрительных, вестибулярных и проприоцептивных рецепторов. У больных с левосторонней ВДГК наблюдается «центральная» компрессия сердца деформированной грудиной, которая, по-видимому, является более выраженной по сравнению с «латеральной» компрессией у больных с правосторонней ВДГК (рис. 1). Поэтому можно предположить, что у пациентов с левосторонней ВДГК в значительно

большей мере нарушаются характеристики нервных импульсов, поступающих от рецепторов рефлексогенных зон сердца в центральную нервную систему [15]. Трансформированные таким образом нервные импульсы встраиваются в поток кортикоспинальных сигналов, непрерывно следующих от головного мозга к мышцам опорно-двигательной системы, что у больных с левосторонней ВДГК провоцирует более выраженные патологические изменения нейромышечных механизмов корректировки вертикального баланса тела.

Заключение. Различия в постуральных стратегиях между пациентами с левосторонней и правосторонней воронкообразной деформацией грудной клетки могут быть следствием формирования у них разнородных моторных программ организма, в зависимости от характера нарушений спектра проприоцептивных сигналов, поступающих со стороны рефлексогенных зон сердца, компрессированного деформированной грудиной. Для выяснения закономерностей аномального развития опорно-двигательной системы у детей с асимметричной воронкообразной деформацией грудной клетки важно осознавать механизмы нарушения у них постурального баланса, что целесообразно принимать во внимание при планировании тактики хирургических вмешательств.

Список литературы

1. Fokin A.A., Steuerwald N.M., Ahrens W.A., Allen K.E. Anatomical, histologic, and genetic characteristics of congenital chest wall deformities // *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2009. no. 21. P. 44-57. DOI: 10.1053/j.semtcvs.2009.03.001.
2. Katrancioglu O., Ozgel M., Inceoglu F., Katrancioglu N., Sahin E. Is there a relationship between Haller Index and cardiopulmonary function in children with pectus excavatum? // *Turk Gogus Kalp Damar Cerrahisi Derg.* 2023. Vol. 31. no. 3. P. 367-373. DOI: 10.5606/tgkdc.dergisi.2023.24088.
3. Liu C., Wen Y. Research progress in the effects of pectus excavatum on cardiac functions // *World J Pediatr Surg.* 2020. Vol. 3. no. 2. P. e000142. DOI: 10.1136/wjps-2020-000142.
4. Abu-Tair T., Tural S., Hess M., Wiethoff C.M., Staatz G., Lollert A., Kampmann C. Impact of Pectus Excavatum on cardiopulmonary function // *Ann Thorac Surg.* 2018. Vol. 105. no. 2. P. 455-460. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2017.09.037.
5. Suehs C.M., Molinari N., Bourdin A., Solovei L. Change in cardiorespiratory parameters following surgical correction of pectus excavatum: protocol for the historical-prospective HeartSoar cohort // *BMJ Open.* 2023. Vol. 13. no. 6. P. e070891. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-070891
6. Jarosz M., Pawlak K., Jarosz W, Wiernicka M., Barinov-Wojewódzki A., Stemplewski R. The effect of surgical repair of the chest on postural stability among patients with pectus excavatum // *Sci Rep.* 2024. Vol. 14. no. 1. P. 45. DOI: 10.1038/s41598-023-50645-9.

7. Deviggiano A., Carrascosa P., Vallejos J., Bellia-Munzon G., Vina N., Rodríguez-Granillo G.A., Martinez-Ferro M. Relationship between cardiac MR compression classification and CT chest wall indexes in patients with pectus excavatum // *J Pediatr Surg*. 2018. Vol. 53. no. 11. P. 2294-2298. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2018.05.015.
8. Никитюк И.Е., Гаркавенко Ю.Е., Савина М.В. Оценка нарушений вертикального баланса тела у детей с односторонним поражением проксимального отдела бедренной кости // *Современные проблемы науки и образования*. 2023. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32405> (дата обращения: 09.02.2024). DOI: 10.17513/spno.32405.
9. Доценко В.И., Усачев В.И., Морозова С.В., Скедина М.А. Современные алгоритмы стабилметрической диагностики постуральных нарушений в клинической практике // *Медицинский совет*. 2017. № 8. С. 116-122. DOI: 10.21518/2079-701X-2017-8-116-122
10. Nuss D., Obermeyer R.J., Kelly Jr R.E. Pectus excavatum from a pediatric surgeon's perspective // *Ann. Cardiothorac. Surg*. 2016. Vol. 5. no. 5. P. 493-500. DOI: 10.21037/acs.2016.06.04.
11. Alonso A.C., Mochizuki L., Silva Luna N.M., Ayama S, Canonica A.C., Greve J.M.D.A. 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*. 2015. Vol. 2015. P. 985312. DOI: 10.1155/2015/985312.
12. Wang Z., Molenaar P.C.M., Newell K.M. The effects of foot position and orientation on inter- and intra-foot coordination in standing postures: a frequency domain PCA analysis // *Exp. Brain Res*. 2013. Vol. 230. no. 1. P. 15-27. DOI: 10.1007/s00221-013-3627-9.
13. Никитюк И.Е., Боцарова С.А., Семенов М.Г., Мурашко Т.В., Виссарионов С.В. Нарушение постурального баланса туловища у подростков с мезиальным соотношением зубных рядов до и после оперативного лечения при наличии и отсутствии врожденных аномалий развития шейного отдела позвоночника // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2023. Т. 11. № 4. С. 473-486. DOI: 10.17816/PTORS606640.
14. Никитюк И.Е., Кононова Е.Л., Икоева Г.А., Солохина И.Ю. Влияние роботизированной механотерапии в различных комбинациях с неинвазивной электростимуляцией мышц и спинного мозга на постуральный баланс у детей с тяжелыми формами ДЦП // *Вестник восстановительной медицины*. 2020. Т. 98. № 4. С. 26-34. DOI: 10.38025/2078-1962-2020-98-4-26-34.
15. Capunay C., Martinez-Ferro M., Carrascosa P., Bellia-Monzon G., Deviggiano A., Nazar M., Martinez J.L., Rodriguez-Granillo G.A. Sternal torsion in pectus excavatum is related to cardiac

compression and chest malformation indexes // J Pediatr Surg. 2020. Vol. 55. no. 4. P. 619-624.
DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2019.05.008.