

А. П. ГОРБАЧ, Е. Н. ЩУРОВА, Е. Н. ГОРБАЧ

Отличительные особенности состояния микроциркуляции кожного покрова в различных участках спины у детей с врожденным сколиозом

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия
640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6
E-mail: office@rncvto.ru

Статья поступила в редакцию 27.09.23 г.; принята к печати 15.01.24 г.

Резюме

Введение. У детей с врожденным сколиозом (ВС) на различных этапах лечения деформации позвоночника возникают осложнения со стороны кожи в виде пролежней, разрывов в местах металлоконструкций, несостоятельность кожных швов. В то же время микроциркуляторный кровоток кожи является одним из факторов, определяющих репаративную регенерацию. Однако в литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу состояния кровообращения кожи спины у детей с ВС. **Цель** – определить отличительные особенности микроциркуляции в разных участках кожи спины у детей с врожденным сколиозом. **Материалы и методы.** Было обследовано 2 группы детей: 1-я группа – 40 пациентов с ВС; 2-я группа – 49 здоровых обследуемых. Кровоток кожи оценивался с помощью лазерной доплеровской флоуметрии. У детей с врожденным сколиозом производились гистологические исследования биопсийного материала кожи, взятого в области вершины деформации во время выполнения хирургической коррекции деформации позвоночника. **Результаты.** У детей с ВС определялось значительное снижение кровотока кожи в средних и нижних отделах спины по паравертебральным линиям относительно показателей здоровых детей на $0,6–0,06$ мл/мин $\times 100$ г (15–28 %, $p=0,0000$). Значения кровотока в этих отделах имели обратную корреляцию с возрастом (r от $-0,47$ до $-0,73$, $p<0,001$) и величиной угла деформации (r от $-0,4$ до $-0,68$, $p<0,05$). Минимальные показатели регистрировались с вогнутой стороны деформации в среднем отделе спины в проекции паравертебральных линий ($2,74\pm 0,71$ мл/мин $\times 100$ г). Гистологические исследования кожи в данной области определили наличие деструктивных изменений сосудов дермы: фибрирование, склерозирование, образование периваскулярных воспалительных инфильтратов и признаков васкулита, которые усугублялись при увеличении угла деформации. **Заключение.** У детей с ВС кровоток кожного покрова спины значительно снижен в среднем и нижнем отделах. Наименьший уровень перфузии определяется на вершине деформации с вогнутой стороны по паравертебральной линии. В данной области выявляются деструктивные изменения сосудов дермы, которые усугубляются при увеличении угла деформации позвоночника, что приводит к снижению их численной плотности и ишемизации кожного покрова.

Ключевые слова: врожденный сколиоз, кожный покров спины, микроциркуляторный кровоток кожи спины, микрососудистое русло кожи спины

Для цитирования: Горбач А. П., Щурова Е. Н., Горбач Е. Н. Отличительные особенности состояния микроциркуляции кожного покрова в различных участках спины у детей с врожденным сколиозом. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024; 23(3): 19–28. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-3-19-28.

A. P. GORBACH, E. N. SHCHUROVA, E. N. GORBACH

Distinctions of the state of skin integument microcirculation in different parts of the back in children with congenital scoliosis

Ilizarov National Medical Research Centre of Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia
6, M. Ulianova str., Kurgan, Russia, 640014
E-mail: office@rncvto.ru

Received 27.09.23; accepted 15.01.24

Summary

Introduction. Skin complications in the form of bedsores, ruptures in places of hardware, failure of skin sutures occur in children with congenital scoliosis (CS) at various stages of treatment of the spine deformities. At the same time, microcirculatory blood flow of the skin is one of the factors determining reparative regeneration. However, there are no studies in the literature devoted to the analysis of the state of blood circulation in the skin of the back in children with CS. **Aim.** To determine the distinctive microcirculatory features in different parts of the back in children with congenital scoliosis. **Materials and Methods.** Two groups of children were examined: group 1 – 40 patients with CS; group 2 – 49 healthy subjects. Skin blood flow was assessed using laser Doppler flowmetry. In children with congenital scoliosis, histological examination of skin biopsy material

taken in the area of the deformity apex during surgical correction of the spinal deformity was carried out. *Results.* In children with CS, there was a significant decrease in skin blood flow in the middle and lower parts of the back along the paravertebral lines compared to the indicators of healthy children by $0.6\text{--}0.106\text{ ml/min}\times 100\text{ g}$ ($15\text{--}28\%$, $p=0.0000$). Blood flow values in these parts were inversely correlated with age (r from -0.47 to -0.73 , $p<0.001$) and with the magnitude of the deformity angle (r from -0.4 to -0.68 , $p<0.05$). The minimum values were recorded on the concave side of the deformity in the middle part of the back in the projection of the paravertebral lines ($2.74\pm 0.71\text{ ml/min}\times 100\text{ g}$). Histological investigations of the skin in this area revealed the presence of destructive changes in the vessels of the dermis: fibrosis, sclerosis, the formation of perivascular inflammatory infiltrates and signs of vasculitis, which worsened with increasing the deformity angle. *Conclusion.* In children with CS, blood flow of the skin integument of the back is significantly reduced in the middle and lower parts. The lowest level of perfusion is found at the apex of the deformity on the concave side along the paravertebral line. In this area, destructive changes in the vessels of the dermis are revealed, which are aggravated with the increase in the angle of the spine deformity, that leads to a decrease in their numerical density and ischemia of the skin integument.

Keywords: congenital scoliosis, skin integument of the back, microcirculatory blood flow of the skin of the back, microvascular bed of the skin of the back

For citation: Gorbach A. P., Shchurova E. N., Gorbach E. N. Distinctions of the state of skin integument microcirculation in different parts of the back in children with congenital scoliosis. *Regional hemodynamics and microcirculation.* 2024;23(3):19–28. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-3-19-28.

Введение

Врожденный сколиоз (ВС) представляет собой деформацию позвоночника во фронтальной или сагиттальной плоскости, вызванную аномалиями сегментации или формирования позвонков [1]. На 1000 новорожденных приходится 1–3 случая ВС [2]. В целом, частота встречаемости врожденной деформации позвоночника составляет около 10 % [3].

В настоящий момент не существует единого мнения относительно этиологии ВС. Принято считать, что данная патология формируется в период соматогенеза (4–8-я неделя эмбрионального развития) и приводит к нарушению процессов закладки и формирования тел позвонков [4].

Врожденный сколиоз часто связан с внутриспинальными аномалиями и дефектами других органов и систем, в том числе кожного покрова (в 74 % случаев) [5,6]. При этом, как правило, сопутствующая аномалия различных органов и позвонков обусловлена общностью развития из одного сомита [7], и наибольшие патологические изменения наблюдаются в месте расположения вершины сколиотической дуги [8].

С. П. Миронов и др. отмечали большой интерес к проблеме определения закономерностей изменения микроциркуляции (МКЦ) в мягких тканях спины у пациентов со сколиотической деформацией [9]. Однако в литературе не уделено должного внимания состоянию кровотока кожи различных областей спины, как у здоровых детей, так и при ВС [10–12]. Встречаются немногочисленные сообщения, в которых отражены вопросы возникновения различных осложнений со стороны кожи спины у детей с ВС: разрывы в области выступающих металлоконструкций [13]; возникновение пролежней [14]; несостоятельность кожных швов [15].

Учитывая важную роль микроциркуляторного кровотока в репаративных процессах кожного покрова, необходимо отметить важность изучения МКЦ с целью предотвращения возможных осложнений [16]. Однако в литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу состояния кровообращения кожи спины у детей с ВС.

Цель – определить отличительные особенности микроциркуляции в разных участках кожи спины у детей с врожденным сколиозом.

Материалы и методы исследования

Основная группа исследования состояла из 40 детей с врожденным сколиозом. Возраст обследуемых находился в диапазоне от 7 до 17 лет и составлял в среднем $11,5\pm 3,5$ лет. Было 13 мальчиков и 27 девочек. Критерии включения: возраст от 7 до 17 лет; верифицированный диагноз ВС по данным лучевого обследования позвоночника. Критерии исключения: отсутствие лучевого обследования пациента; сколиоз другой этиологии; проведенное ранее хирургическое лечение сколиотической деформации позвоночника; наличие наследственной и системной патологии; наличие выраженного неврологического дефицита.

Контрольная группа насчитывала 49 здоровых детей (I группа здоровья) в возрасте от 7 до 17 лет (средний возраст – $11,65\pm 3,6$ лет). Было 27 мальчиков, 22 девочки. Критерии включения для контрольной группы: возраст от 7 до 17 лет; отрицательный тест Адамса и отсутствие асимметрии костных ориентиров. Критерии исключения для контрольной группы: наличие наследственной и системной патологии, заболеваний со стороны сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной и эндокринной систем, признаков инфекционных заболеваний.

МКЦ в различных участках кожного покрова спины была оценена с помощью лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) (лазерный флоуметр Transonic Systems, США). Исследования выполняли по паравертебральной и лопаточной линиям в области вершины дуги деформации (дерматом $\text{Th}_6\text{--}\text{Th}_{10}$), а также проксимально (дерматом $\text{C}_5\text{--}\text{Th}_1$) и дистально (дерматом $\text{Th}_{12}\text{--}\text{L}_2$) от нее (рис. 1), исследование проводилось в положении лежа на животе в течение не менее 60 секунд в каждой исследуемой области.

В группе детей с ВС выполняли гистологическое исследование интраоперационного биопсийного материала (фрагменты кожного покрова). Кусочки кожи размером $\leq 5\times 5$ мм забирали во время выполнения операционного доступа к задним отделам позвоночного столба для хирургического устранения сколиотической деформации в области вершины деформации с вогнутой ее стороны. Фиксация кусочков кожи была осуществлена в 10 % растворе нейтрального формалина. Следующим этапом выполняли дегидратацию в двукратных порциях этилового спирта

восходящей крепости, после чего проводили заливку в гомогенизированную парафиновую уплотняющую среду Histomix. Изготавливали гистологические препараты при помощи санного микротомы (Reichard, Германия), затем производили окрашивание гематоксилином и эозином, осуществлялось иммуногистохимическое окрашивание с использованием антител к CD 34, с применением реактивов и протоколов фирмы Abcam (Великобритания). Описательную морфологию и оцифровку полей зрения гистологических препаратов выполняли с помощью светового микроскопа Axio Lab1 с цифровой камерой AxioCam 105 Color и программного обеспечения Zenblue (CarlZeiss Micro Imaging GmbH), а также сканирующего микроскопа для лабораторных исследований PannoramicMidi II BF (3DHitech Ltd., Венгрия) и программного продукта PannoramicViewer, версия 2.4. (3DHitech Ltd., Венгрия). Морфометрические исследования выполняли при помощи программы «ВидеоТестМастер-Морфология 4.0» (Санкт-Петербург, Россия). Также определяли численную плотность сосудов в 1 мм² дермы.

Статистическая обработка данных проведена с использованием редактора электронных таблиц MS Excel с надстройкой AtteStat. Для определения характера распределения количественных признаков использованы критерии Колмогорова–Смирнова, Шапиро–Уилка. Для выявления статистически значимых различий нормально распределенных данных ($M \pm m$), применялся критерий Стьюдента для независимых выборок, для определения корреляции – коэффициент корреляции Пирсона. При отсутствии – непараметрический принцип (Me [Q1; Q3]) и использовались непараметрические методы: U-критерий Манна–Уитни, коэффициент корреляции Спирмена. Сила корреляционной связи оценивалась в соответствии со шкалой Чеддока. В качестве критического уровня значимости использовали $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты антропометрических исследований основной и контрольных групп показали, что вес и индекс массы тела (ИМТ) у детей с ВС достоверно были

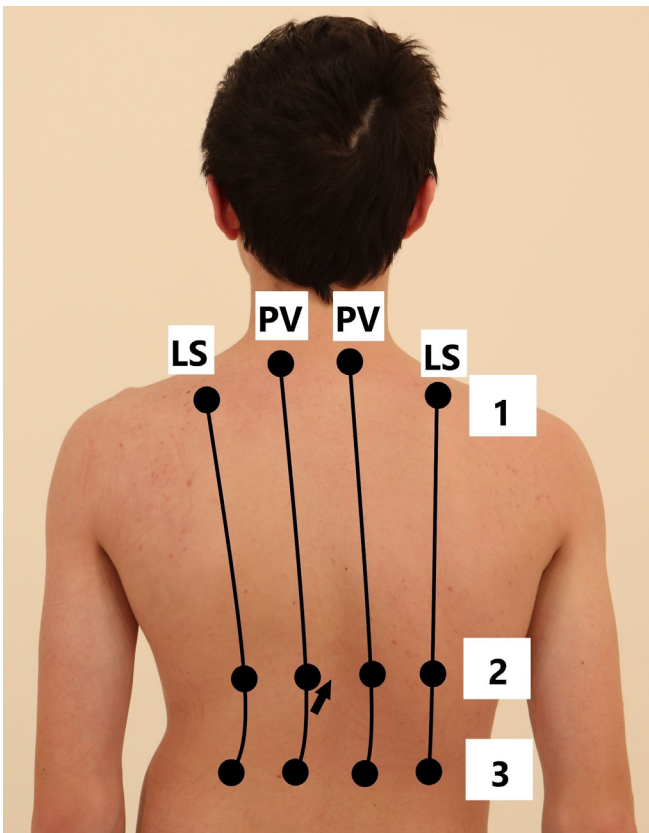


Рис. 1. Пациент П., 16 лет, врожденный сколиоз. Точки исследования: 1 – проксимальный отдел (дерматом C6–C7; 2 – вершина дуги деформации (дерматом Th7–Th8); 3 – дистальный отдел (дерматом L1–L2). Исследования выполняли в проекции паравертебральной (PV) и лопаточной линии (LS). Стрелкой указано место забора биоптата для гистологического исследования

Fig. 1. Patient P., 16 years old, congenital scoliosis. Research points: 1 – proximal section (dermatome C₆–C₇; 2 – apex of the deformation arc (dermatome Th₇–Th₈); 3 – distal section (dermatome L₁–L₂). Research was performed in the projection of the paravertebral (PV) and scapular line (LS) The arrow indicates the location where the biopsy specimen was taken for histological examination

снижены относительно значений контрольной группы (на 15,1 % и 18 % соответственно, $p < 0,05$) (табл. 1). Согласно критериям ВОЗ, у детей с ВС наблюдается недостаточная масса тела. Это может быть обусловлено деформацией грудного отдела позвоночника и повышенной нагрузкой на дыхательную систему, что

Таблица 1

Основные характеристики обследуемых групп детей

Table 1

Main characteristics of the studied groups of children

Показатели	Группа обследуемых	
	Дети с врожденным сколиозом	Здоровые дети
Количество наблюдений, n	40	49
Возраст, годы	11,5±3,5 лет (от 7 до 17 лет)	11,7±3,6 лет (от 7 до 17 лет)
Пол (м/ж)	13/27	27/22
Рост, м	1,4±0,2	1,4±0,2
Вес, кг	38,2±15,8	45±12,3
ИМТ, кг/м ²	17,9±3,7	21,8±1,9

Примечание: * – достоверное отличие показателей пациентов с врожденным сколиозом и здоровых детей, $p < 0,05$.

Таблица 2

Показатели кровотока кожного покрова спины (мл/мин×100 г) детей с врожденным сколиозом (M±m, n=40)

Table 2

Indicators of capillary blood flow of the skin of the back (ml/min×100 g) in children with congenital scoliosis (M±m, n=40)

Область исследования											
С вогнутой стороны основной вершины деформации						С выпуклой стороны основной вершины деформации					
Лопаточная линия			Паравертёбральная линия			Лопаточная линия			Паравертёбральная линия		
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
3,82±0,43	3,41±0,64	3,33±0,57	3,75±0,64	2,74±0,71	3,17±0,73	3,73±0,59	3,53±0,86	3,33±0,61	3,74±0,70	3,16±0,75	3,15±0,80
[§] p= 0,0000	[*] p=0,0000	[*] p=0,2719	[§] p= 0,0001	[*] p=0,0000	[*] p=0,0044	[§] p= 0,0022; ^Ω p=0,2016	[*] p=0,1243; ^Ω p=0,2364	[*] p= 0,1149; ^Ω p=0,4925	[§] p= 0,0004; ^Ω p=0,4602	[*] p= 0,0003; ^Ω p=0,0057	[§] p=0,4769; ^Ω p=0,4535
П р и м е ч а н и е: I – верхний отдел; II – средний отдел; III – нижний отдел; [§] – сравнение показателей среднего отдела с величинами верхнего отдела; [*] – сравнение показателей дистального отдела с величинами среднего отдела; ^Ω – сравнение показателей выпуклой стороны деформации с величинами вогнутой стороны.											

Таблица 3

Сравнение показателей кровотока кожного покрова спины (мл/мин×100 г) обследуемых с врожденным сколиозом и здоровых детей (M±m)

Table 3

Comparison of capillary blood flow indicators of the skin of the back (ml/min×100 g) in subjects with congenital scoliosis and healthy children (M±m)

Область исследования											
С вогнутой стороны основной вершины деформации						С выпуклой стороны основной вершины деформации					
Лопаточная линия			Паравертёбральная линия			Лопаточная линия			Паравертёбральная линия		
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Дети с ВС (n=40)	3,82 ±0,4	3,41±0,64	3,33±0,57	3,75±0,64	2,74±0,71	3,17±0,73	3,73±0,59	3,53±0,86	3,33±0,61	3,74±0,7	3,16±0,75
Здоровые дети (n=49)	3,81±0,21	3,7*±0,26	3,61*±0,26	3,82±0,22	3,80*±0,22	3,77*±0,23	3,81±0,21	3,70±0,25	3,63*±0,3	3,82±0,22	3,79*±0,21
P	0,4420	0,0022	0,0011	0,2294	0,0000	0,0000	0,1875	0,0971	0,0017	0,2062	0,0000

П р и м е ч а н и е: I – верхний отдел; II – средний отдел; III – нижний отдел; * – достоверное отличие показателей пациентов с врожденным сколиозом и здоровых детей, p<0,05.

Таблица 4

Показатели кровотока кожного покрова спины ($M \pm m$, мл/мин $\times 100$ г) в области вогнутой стороны среднего отдела в проекции паравертебральных линий у обследуемых с врожденным сколиозом при наличии различной величины основной дуги деформации позвоночника

Table 4

Indicators of capillary blood flow of the skin of the back ($M \pm m$, ml/min $\times 100$ g) in the area of the concave side of the middle section in the projection of paravertebral lines in subjects with congenital scoliosis in the presence of different sizes of the main arc of spinal deformity

Величина угла основной дуги деформации, °	Капиллярный кровоток кожного покрова спины (мл/мин $\times 100$ г)	
20–30	3,02 $\pm$ 0,59	
31–40	2,59 $\pm$ 0,58	p=0,1618
41–50	2,13 $\pm$ 0,62	p=0,0112*
51–60	2,1 $\pm$ 0,2	p=0,0423*
90 и больше	1,65 $\pm$ 0,21	p=0,0041*

Примечание: * – достоверное отличие показателей по сравнению с капиллярным кровотоком группы детей с величиной деформации 20–30 градусов, p<0,05.

Таблица 5

Численная плотность сосудов в различных слоях дермы кожи спины в области вогнутой стороны среднего отдела в проекции паравертебральных линий в зависимости от угла основной дуги деформации позвоночника у детей с врожденным сколиозом

Table 5

Numerical density of blood vessels in different layers of the dermis of the skin of the back in the area of the concave side of the middle section in the projection of the paravertebral lines, depending on the angle of the main arc of the spinal deformity in children with congenital scoliosis

Величина угла основной дуги деформации, °	Численная плотность сосудов кожи, NAi ($M \pm m$) в 1 мм ²			
	В сосочковом слое дермы		В сетчатом слое дермы	
20–30	114,6 $\pm$ 4,2		62,49 $\pm$ 2,9	
31–40	93,74 $\pm$ 2,1	*p=0,0253	50,34 $\pm$ 2,1	*p=0,0253
41–50	71,18 $\pm$ 3,2	*p=0,0336	50,32 $\pm$ 1,9	p=0,8791
51–60	74,65 $\pm$ 2,8	p=0,1213	41,67 $\pm$ 1,7	*p=0,0231
90 и больше	65,7 $\pm$ 2,2	*p=0,0232	29,51 $\pm$ 1,2	*p=0,0121

Примечание: * – достоверное отличие при сравнении с группой детей с предыдущим показателем величины сколиотической деформации, p<0,05.

способствует последующему дефициту питательных веществ, снижению индекса массы тела [13].

В группе обследуемых с ВС у 21 ребенка наблюдалась С-образная форма сколиотической деформации, у 19 детей – S-образная форма. Величина угла основной дуги деформации составляла 31 [23; 40] градус по Cobb, расположение дуги было на уровне Th₃–L₂; величина компенсаторной противодуги сколиотической деформации 20 [15; 41] градусов по Cobb, расположение на уровне Th₁₁–L₄. Положение основной дуги вправо наблюдалось у 24 детей, у 16 – отмечалось левостороннее расположение основной дуги сколиотической деформации.

В табл. 2 показано, что наибольшие изменения кровотока регистрируются в среднем и нижнем отделах спины. Минимальные показатели кровотока определяются с вогнутой стороны деформации в среднем отделе в проекции паравертебральной линии – 2,74 $\pm$ 0,71 мл/мин $\times 100$ г, показатель с ана-

логичным расположением, но на выпуклой стороне был больше на 13 % (p=0,0057). При сравнении этих показателей с аналогичными, расположенными в проекции лопаточной линии, наблюдаются достоверные уменьшения: на вогнутой стороне – на 20 % (p=0,0000); на выпуклой – на 10 % (p=0,0214).

Минимальные значения перфузии в дистальном отделе наблюдаются в проекции паравертебральной линии с выпуклой и вогнутой сторон относительно дуги сколиотической деформации, статистически значимых различий в показателях вогнутой и выпуклой сторон не наблюдается. Отличий величин показателей в нижнем отделе по лопаточной линии также не наблюдается.

При выполнении корреляционного анализа показателей кровотока с возрастом была выявлена обратная связь от сильной до слабой во всех точках исследования, r от –0,43 до –0,73, p<0,001. Также была определена обратная взаимосвязь кровотока

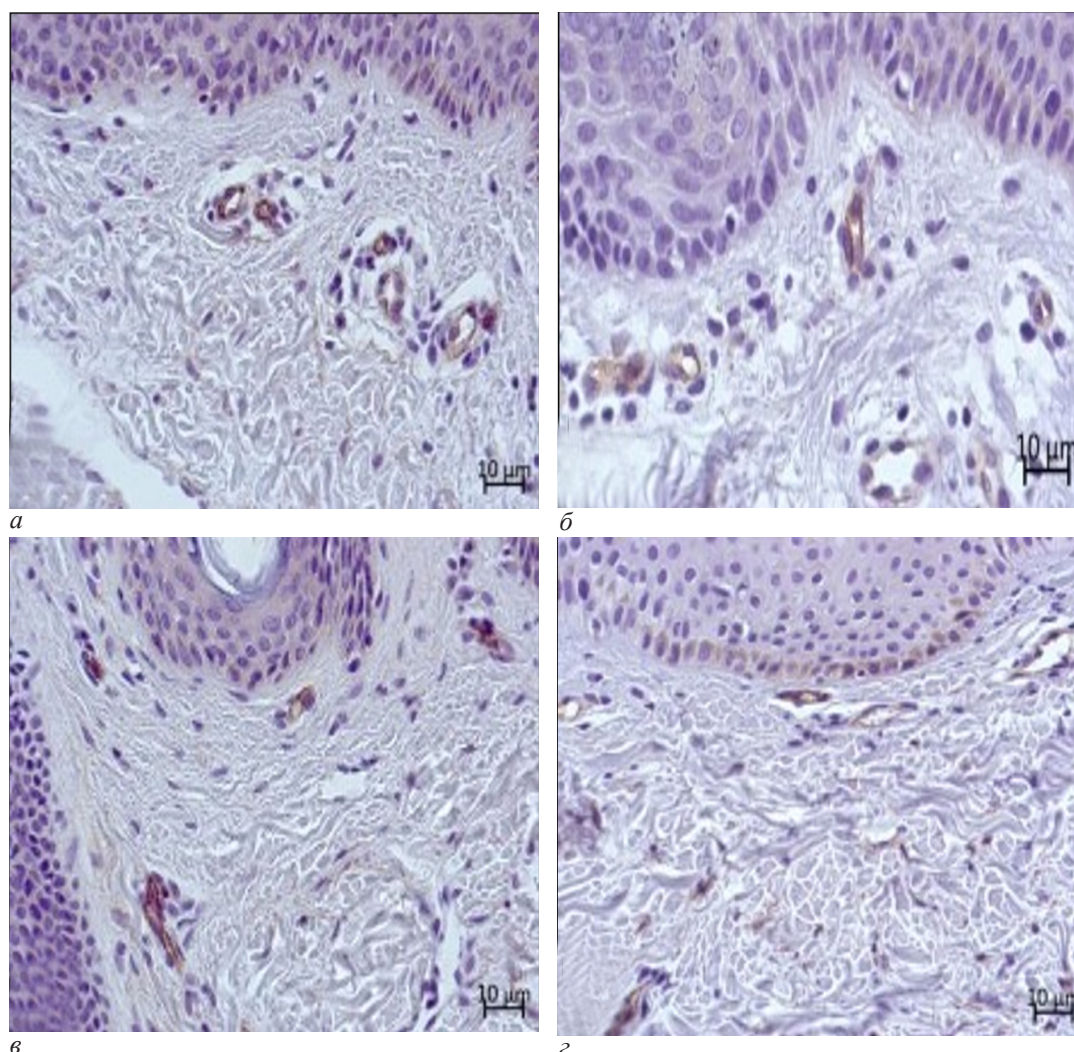


Рис. 2. Гистоструктурные особенности строения сосудов в сосочковом слое дермы кожного покрова спины в зависимости от угла деформации позвоночника у детей с врожденным сколиозом.

Окр. гематоксилином и эозином. Ув. $\times 400$: а – 30°; б – 40°; в – 60°; г – 90°

Fig. 2. Histostructural features of the structure of blood vessels in the papillary layer of the dermis of the back, depending on the angle of spinal deformation in children with congenital scoliosis.

Stained with hematoxylin and eosin. Magnification $\times 400$: а – 30°; б – 40°; в – 60°; г – 90°

в области нижних и средних отделов по паравертебральным и лопаточным линиям с величиной основной дуги деформации: коэффициент корреляции – r от $-0,42$ до $-0,68$; сила связи от слабой до средней ($p < 0,05$). В группе здоровых детей выявлена слабая обратная корреляция показателей капиллярного кровотока и возраста – r от $-0,24$ до $-0,36$ ($p < 0,05$).

Показатели кожного кровотока детей с ВС не имеют различий с величинами здоровых детей в верхних отделах спины (табл. 3). В остальных областях исследования разница составляет $0,05$ – $1,06$ мл/мин $\times 100$ г. Наибольшие различия наблюдаются в среднем отделе в проекции паравертебральной линии с вогнутой стороны деформации, где в группе детей с врожденным сколиозом перфузия ниже на $1,06$ мл/мин $\times 100$ г, $p = 0,0000$.

При проведении анализа влияния величины основной дуги деформации на кровоток кожи в среднем отделе спины в проекции паравертебральной линии с вогнутой стороны, было определено, что с увеличением угла деформации увеличивается степень снижения кровотока. Относительно показателей группы пациентов с углом деформации 20–30 градусов, кровотоки кожи пациентов с деформацией 41–50 и 51–

60 градусов был снижен на 30 % ($p = 0,0112$ и $p = 0,0423$ соответственно); а у пациентов с величиной деформации 90 и более градусов снижение кровотока составляло 45 % ($p = 0,0041$) (табл. 4).

Даже при небольшой величине деформации (20–30 градусов) показатели кровотока в данной области снижены относительно показателей группы здоровых детей (на 20,5 %, $p = 0,000$). С увеличением угла деформации степень отличия растет: 1) при 31–40 градусах – на 31,9 %, $p = 0,0000$; 2) при 41–50 – на 44 %, $p = 0,0000$; 3) при 51–60 – на 44,7 %, $p = 0,0000$; 4) 90 и более – на 56,6 %, $p = 0,0000$.

Результаты гистологического исследования биоптата кожи, взятого в процессе хирургического вмешательства в области вершины деформации с вогнутой ее стороны в проекции паравертебральной линии, показали, что уменьшение кровотока может быть связано количественным и качественным изменением сосудистого русла. Численная плотность сосудов в коже спины уменьшалась как в сосочковом, так и в сетчатом слое (табл. 5).

Так, в группе детей с величиной деформации 31–40 градусов плотность сосудов кожи снижалась

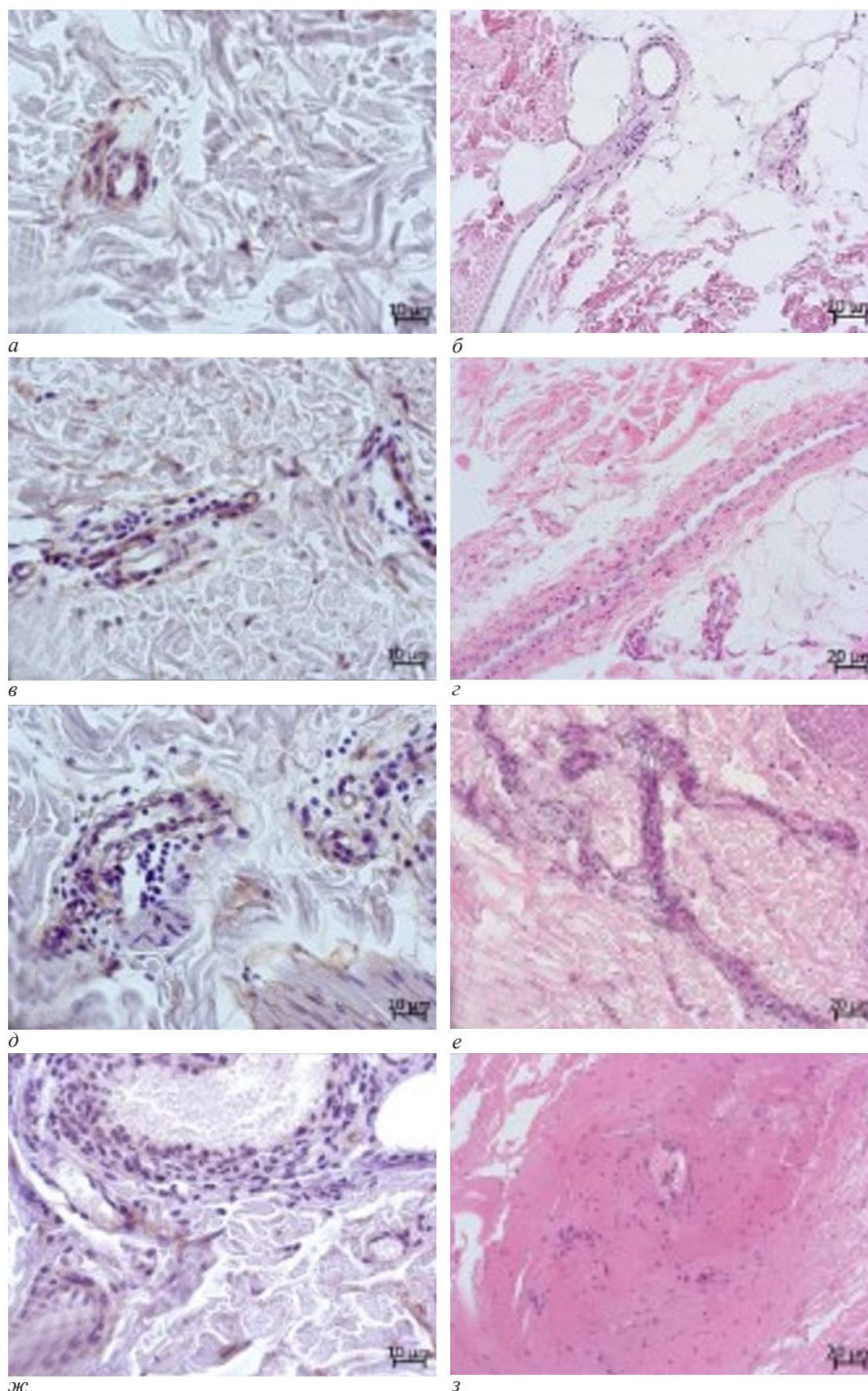


Рис. 3. Микрофотографии гистологических препаратов, отражающие особенности строения сосудов в различных слоях дермы в зависимости от величины угла сколиотической деформации позвоночного столба у детей с врожденным сколиозом: а, б – 30°; в, з – 40°; д, е – 60°; ж, з – 90°. Левый столбец микрофото – иммуногистохимическая реакция с применением антител к CD-34 (выявление эпителия сосудов), увеличение $\times 400$. Правый столбец – микрофото, окраска гематоксилином и эозином. Увеличение $\times 200$

Fig. 3. Microphotographs of histological preparations, reflecting the features of blood vessel structure in different layers of the dermis depending on the angle of scoliotic deformation of the spinal column in children with congenital scoliosis: а, б – 30°; в, з – 40°; д, е – 60°; ж, з – 90°. The left column of the microphotograph is an immunohistochemical reaction using antibodies to CD-34 (detection of vascular epithelium), magnification $\times 400$. In the right column, there are microphotographs, stained with hematoxylin and eosin. Magnification $\times 200$

на 18,2 % ($p=0,0253$) в сосочковом слое и на 19,5 % ($p=0,0253$) в сетчатом слое относительно значений при деформации 20–30 градусов. При деформации 41–50 градусов уменьшение численной плотности сосудов в сосочковом слое дермы составило 24,1 % ($p=0,0336$) относительно величин в группе 31–40 градусов. В группе детей с величиной деформации 51–60 градусов численная плотность в сетчатом слое дермы уменьшилась на 17,2 % ($p=0,0231$) относительно показателей предыдущего периода – 41–50 градусов, а при 90 градусов и более уменьшение в сосочковом слое составило 12 % ($p=0,0232$), в сетчатом – 28,2 % ($p=0,0121$), относительно группы с деформацией 51–60 градусов (табл. 5).

Разница численной плотности сосудов кожи между минимальной (20–30 градусов) и максимальной (90 и более) величинами деформаций позвоночника в сосочковом и сетчатом слоях составила 47,7 % ($p=0,0308$) и 52,8 % ($p=0,0428$) соответственно.

В сосочковом слое количество сосудов с увеличением угла деформации уменьшалось вследствие их облитерации в результате периваскулярного воспаления и фиброзирования (рис. 2).

Деструктивные процессы в сосудах сетчатого слоя дермы приобретали более выраженный характер с увеличением угла деформации. При величине сколиотической деформации более 40 градусов, вокруг сосудов преимущественно в сетчатом слое отмечали периваскулярные воспалительные инфильтраты (рис. 3, а, в), нарушение клеточной архитектоники в стенках артерий (рис. 3, б), сужение просветов сосудов артериального типа из-за фиброза их стенок и деструкции эндотелиальной выстилки в части сосудов (рис. 3, г), расширения сосудов венозного типа с признаками венозного застоя (рис. 3, ж). При величине деформации более 60 градусов выявляли выраженные васкулиты (рис. 3, д, ж), которые при еще большей величине угла деформации позвоночного столба приводили к склерозированию сосудов (рис. 3, е) и некротизации коллагенового остова (рис. 3, з).

Врожденный сколиоз часто сопровождается внутриспинальными аномалиями и дефектами других органов. Эмбриональное развитие позвонков тесно связано с развитием спинного мозга и органов, которые формируются из мезодермы [17, 18]. Аномалии в развитии позвоночника могут быть сопряжены с патологическими изменениями соединительной ткани, дермы, гиподермы, кровеносных сосудов. Формирование позвоночника и кожного покрова спины тесно связаны между собой [8, 19], поэтому можно наблюдать различные негативные изменения в коже спины у детей с ВС.

Учитывая важную роль микроциркуляторного кровотока в репаративных процессах кожного покрова, необходимо отметить важность изучения МКЦ с целью предотвращения возникновения возможных осложнений [16]. Однако в литературе отсутствуют исследования, посвященные анализу состояния кровообращения кожи спины у детей с ВС.

В нашей работе проведено исследование микроциркуляторного кровотока кожи спины по паравертебральной и лопаточной линиям в области вершины

дуги деформации (дерматом Th₆–Th₁₀), а также проксимально (дерматом C₅–Th₁) и дистально (дерматом Th₁₂–L₂) от нее. Только в верхних отделах спины показатели кровотока соответствовали значениям контрольной группы. В других отделах значения кровотока были снижены. Также была выявлена обратная взаимосвязь с возрастом обследуемого во всех точках исследования. Это может быть обусловлено снижением обменных процессов в организме ребенка [20].

Анализ значений кровотока в различных областях исследования показал, что наименьшие величины регистрировались в среднем отделе спины (область вершины деформации) по паравертебральной линии с вогнутой стороны деформации. Хотя на выпуклой стороне деформации кровотоки выше всего на 13 %. На показатели кровотока в среднем и нижнем отделах спины значительное влияние оказывала величина угла деформации (обратная зависимость). Данный факт, по всей видимости, обусловлен тем, что к усугубляющемуся этиологическому врожденному фактору заболевания подключается биомеханический фактор (натяжение кожи).

В области с наименьшими показателями кровотока в среднем отделе спины (область вершины деформации) по паравертебральной линии с вогнутой стороны деформации был взят биоптат кожного покрова. Стенки кровеносных сосудов очень тонко реагируют на изменения гемодинамики [21], в связи с этим гистологические изменения подтверждали результаты лазерной доплеровской флоуметрии в аналогичной области исследования. Гистологические исследования показали, что с увеличением угла деформации уменьшается численная плотность сосудов в слоях дермы и прогрессируют деструктивные изменения сосудов.

Уменьшение количества сосудов в сосочковом слое обусловлено облитерацией, вызванной деструкцией эндотелиоцитов, периваскулярным воспалением и фиброзированием [22]. Преимущественно в сетчатом слое вокруг сосудов определялись периваскулярные воспалительные инфильтраты, сужение просветов сосудов артериального типа из-за фиброза их стенок, расширения сосудов венозного типа с признаками венозного застоя. При величине деформации более 60 градусов выявляли выраженные васкулиты, дальнейшее увеличение угла деформации приводило к склерозированию сосудов и некротизации коллагенового остова. Выраженная ишемизация способствует развитию деструктивных изменений в тканевых структурах кожи [22]. Это происходит в связи с тем, что нарушение кровоснабжения снижает резистентность кожи к внешним раздражителям, повышает ее проницаемость. В зависимости от степени выраженности ишемизации кожных покровов изменения в коже могут проявляться как в виде дистрофических нарушений, так и в виде выраженных воспалительных и эрозивно-язвенных процессов [23].

Заключение

Наибольшее снижение показателей капиллярного кровотока в группе детей с врожденным сколиозом выявлено в областях, приближенных к расположе-

нию сколиотической дуги деформации – средний и нижний отделы спины в паравертебральных проекциях; в данных локализациях отмечаются наибольшие отличия капиллярного кровотока от показателей группы здоровых детей. Наименьший уровень перфузии наблюдался в проекции вершины деформации с вогнутой стороны по паравертебральной линии.

Величина сколиотической деформации влияет на состояние микроциркуляторного кровотока кожного покрова спины, при этом, с увеличением деформации, патологические изменения усугубляются: по результатам ЛДФ наблюдается снижение показателей капиллярного кровотока; согласно данным, полученным в ходе гистологического метода исследования, выявлено, что патологический процесс представлен фиброзированием, склерозированием сосудов, наличием периваскулярных воспалительных инфильтратов и признаков васкулита, а также снижением численной плотности сосудов сосочкового и сетчатого слоев дермы.

Значимое снижение темпов репаративного потенциала кожного покрова спины можно ожидать при величине сколиотической деформации более 50 градусов.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare that they have no conflict of interest.

Соответствие нормам этики / Ethics Compliance

Все исследования проведены в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками. Все обследуемые или их законные представители (в случае, если в работе описаны данные исследований с участием несовершеннолетних) подписали информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований, без идентификации личности. / All studies were conducted in accordance with the ethical principles of the Declaration of Helsinki developed by the World Medical Association, as amended. All subjects or their legal representatives (if the work describes research data involving minors) signed an informed consent for the publication of data obtained as a result of the research, without personal identification.

Литература / References

1. Анализ ассоциаций генетических маркеров с развитием врожденного сколиоза / Ключников Д.Ю., Филатов Е.Ю., Тюмин И.В., Тюмина О.В. // *Хир. позвоночника*. – 2022. – Т. 19, № 2. – С. 33–39. [Klyuchnikov DYu, Filatov EYu, Tyumin IV, Tyumina OV. Analysis of associations of genetic markers with the development of congenital scoliosis. *Russ J Spine Surg (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2022;19(2):33-39. (in Russ.)]. Doi: 10.14531/ss2022.2.33-39.
2. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Рябых С.О. и др. Симультаные хирургические вмешательства в спинальной нейрохирургии: систематический обзор // *Гений ортопедии*. – 2020. – Т. 26, № 2. – С. 275–281. [Byvaltsev VA, Kalinin AA, Ryabykh SO, Burtsev AV, Shepelev VV, Ochkal SV, Polkin RA, Biryuchkov MYu. Simultaneous surgical interventions in spinal neurosurgery: a systematic review. *Geniy ortopedii*. 2020;26(2):275-281. (in Russ.)]. Doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-275-281.
3. Mackel CE, Jada A, Samdani AF, Stephen JH, Bennett JT, Baaj AA, Hwang SW. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis. *Child's Nervous System*. 2018;34:2155-2171. Doi: 10.1007/s00381-018-3915-6.
4. Филатов Е.Ю., Рябых С.О., Савин Д.М. и др. Врожденный лордоз и лордосколиоз: состояние проблемы (обзор литературы) // *Гений ортопедии*. – 2022. – Т. 28, № 5. – С. 720–725. [Filatov EYu, Ryabykh SO, Savin DM, Naumov DG, Simonovich AE. Congenital lordosis and lordoscoliosis: state of the problem (literature review). *Geniy ortopedii*. 2022;28(5):720-725. (in Russ.)]. Doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-720-725.
5. Рябых С.О., Савин Д.М., Сайфутдинов М.С. и др. Результаты симультаных и этапных хирургических техник при коррекции врожденных деформаций позвоночника, ассоциированных с интраканальными аномалиями у детей // *Хир. позвоночника*. – 2020. – Т. 17, № 4. – С. 6–15. [Ryabykh SO, Savin DM, Sayfutdinov MS, Sergeenko OM, Dyachkov KA. Results of simultaneous and staged surgical techniques for the correction of congenital spine deformities associated with intracanal anomalies in children. *Russ J Spine Surg (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2020;17(4):6-15. (in Russ.)]. Doi: 10.14531/ss2020.4.6-15.
6. Shen J, Wang Z, Liu J, Xue X, Qiu G. Abnormalities associated with congenital scoliosis: a retrospective study of 226 Chinese surgical cases. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(10):814-818. Doi: 10.1097/BRS.0b013e31827ed125.
7. Об особенностях оперативного лечения пациентов с сопутствующей патологией при сколиотической болезни / Андронников Е.А., Михалкина Н.Г., Алексеева Т.В., Гозулина Н.В. // *Клин. мед.* – 2020. – Т. 98, № 11-12. – С. 781–787. [Andronnikov EA, Mikhalkina NG, Alekseeva TV, Gogulina NV. Characteristics of surgical treatment of patients with comorbidities in scoliotic disease. *Clinical Medicine (Russian Journal)*. 2020;98(11-12):781-787. (in Russ.)]. Doi: 10.30629/0023-2149-2020-98-11-12-781-787.
8. Колчин Д.В. Ранняя диагностика диспластических и врожденных сколиозов // *Гений ортопедии*. – 2012. – № 1. – С. 54–59. [Kolchin DV. Rannyyaya diagnostika displasticheskikh i vrozhdennykh skoliozov. *Geniy ortopedii*. 2012;(1):54-59. (in Russ.)].
9. Миронов С.П., Ветрилэ С.Т., Нацвлишвили З.Г. и др. Оценка особенностей спинального кровообращения, микроциркуляции в оболочках спинного мозга и нейровегетативной регуляции при сколиозе // *Хир. позвоночника*. – 2006. – № 3. – С. 38–48. [Mironov SP, Vetrile ST, Nacvlishvili ZG, Morozov AK, Krupatkin AI, Kuleshov AA, Hohrikov GI, Vetrile MS. Otsenka osobennostey spinal'nogo krovoobrashcheniya, mikrotsirkulyatsii v obolochkakh spin'nogo mozga i neyrovegetativnoy regul'yatsii pri skolioze. *Russ J Spine Surg (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2006;(3):38-48. (in Russ.)].
10. Пономарева А.А. Традиционные и современные представления о кровоснабжении кожи // *Журн. фундам. мед. и биол.* – 2018. – № 2. – С. 34–44. [Ponomareva AA. Traditsionnyye i sovremennyye predstavleniya o krovosnabzhenii kozhi. *Zhurnal fundamental'noy meditsiny i biologii*. 2018;(2):34-44. (in Russ.)].
11. Голдсмит Л.А. Дерматология Фицпатрика в клинической практике. В 3 т. Т. 1. – 2-е изд., испр., перераб. и доп. – М.: Издательство Панфилова, 2016. – 1315 с. [Goldsmith L.A. Dermatologiya Fitzpatricka v klinicheskoy praktike. In 2 vols. Vol. 1. 2nd ed, corr, rev. and exp. Moscow, Izdatel'stvo Panfilova, 2016:1315. (in Russ.)].

12. Тихомирова И.А., Бабошина Н.В., Терехин С.С. Возможности метода лазерной доплеровской флоуметрии в оценке возрастных особенностей функционирования системы микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 80–86. [Tikhomirova IA, Baboshina NV, Terekhin SS. LDF method capabilities in the estimation of age-related features of the microcirculation system functioning. Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17(3):80–86. (in Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-3-80-86.
13. Burnei G, Gavrilu S, Vlad C, Georgescu I, Ghita RA, Dughilă C, Onilă A. Congenital scoliosis: an up-to-date. J Med Life. 2015;8(3):388–397.
14. Пантелеев А.А., Сажнев М.Л., Горбатюк Д.С. и др. Трехколонная остеотомия позвоночника при ревизионном вмешательстве у пациентки с врожденным ангулярным грудопоясничным кифосколиозом // Хир. позвоночника. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 30–38. [Panteleyev AA, Sazhnev ML, Gorbatyuk DS, Kazmin AI, Pereverzev VS, Kolesov SV. Three-column osteotomy of the spine during revision surgery in a patient with congenital angular thoracolumbar kyphoscoliosis. Russ J Spine Surg (Khirurgiya Pozvonochnika). 2018;15(3):30–38. (in Russ.)]. Doi: 10.14531/ss2018.3.30-38.
15. Рябых С.О., Мушкин А.Ю., Савин Д.М. Вертебральный синдром при последствиях спинно-мозговых грыж: особенности клиники и лечения // Хир. позвоночника. – 2018. – Т. 15, № 4. – С. 107–114. [Ryabikh SO, Mushkin AY, Savin DM. Vertebral syndrome in consequences of spina bifida: clinical features and treatment. Russ J Spine Surg (Khirurgiya Pozvonochnika). 2018;15(4):107–114. (in Russ.)]. Doi: 10.14531/ss2018.4.107-114.
16. Иванов А.Н., Лагутина Д.Д., Степанова Т.В. Особенности механизмов реализации дистантного стимулирующего эффекта аутотрансплантации кожного лоскута на перфузию микроциркуляторного русла в условиях локальных и системных нарушений // Вестн. трансплантол. и искусств. органов. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 123–132. [Ivanov AN, Lagutina DD, Stepanova TV. Characteristics of mechanisms of the distant stimulating effect of skin flap autograft on microvascular perfusion in local and systemic microcirculation disorders. Russ J Transplant Artificial Organs. 2020;22(4):123–132. (in Russ.)]. Doi: 10.15825/1995-1191-2020-4-123-132.
17. Basu PS, Elsebaie H, Noordeen MH. Congenital spinal deformity: a comprehensive assessment at presentation. Spine. 2002;27(20):2255–2259. Doi: 10.1097/00007632-200210150-00014.
18. Lonstein JE. Congenital spine deformities. Orthop Clin North Am. 1990;30:387–405.
19. Кадурина Т.И., Аббакумова Л.Н. Оценка степени тяжести недифференцированной дисплазии соединительной ткани у детей // Мед. Вестн. Сев. Кавк. – 2008. – Т. 10, № 2. – С. 15–20. [Kadurina TI, Abbakumova LN Estimation of the severity of the nondifferentiated connective tissue dysplasia in children. Med News North Caucasus. 2008;10(2):15–20. (in Russ.)].
20. Кардиология детского возраста : пособие для врачей / под ред. Р.Э. Мазо. – Минск: Беларусь, 1973. – 303 с. [Kardiologiya detskogo vozrasta / eds by Mazo RE. Minsk, Belarus, 1973:303. (in Russ.)].
21. Пигарева Ю.Н., Салмина А.Б., Карачева Ю.В. Особенности микроциркуляторного русла кожи: механизмы регуляции и современные методы исследования // Сиб. Мед. Обозрение. – 2013. – № 4. – С. 3–8. [Pigareva YuN, Salmina AB, Karacheva YuV. Osobennosti mikrocirkulyatornogo rusla kozhi: mexanizmy regulyatsii i sovremennyye metody issledovaniya. Sibirskoye meditsinskoye obozreniye. 2013;(4):3–8. (in Russ.)].
22. Логина А.В., Супильников А.А., Антипов Е.В. Обзор методов воздействия на микроциркуляцию кожи // Вестн. мед. института «РЕАВИЗ». – 2015. – № 3. – С. 57–61. [Logina AV, Supil'nikov AA, Antipov EV. Obzor metodov vozdeystviya na mikrotsirkulyatsiyu kozhi. Bull Med Institute 'REAVIZ'. 2015;(3):57–61. (in Russ.)].
23. Джуряев Д.Р. Изучение механизма заживления ишемических ран на модели уха кролика // Science and Education. – 2022. – Т. 3, № 12. – С. 204–211. [Dzhuraev DR. Izuchenije mekhanizma zazhivleniya ishemicheskikh ran na modeli ukha krolika. Science and Education. 2022;3(12):204–211. (in Russ.)].

Информация об авторах

Горбач Алина Павловна – аспирант научной лаборатории и клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова, г. Курган, Россия, e-mail: alinatomilova@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7788-2687, eLibrary SPIN: 6127-8754.

Шурова Елена Николаевна – д-р биол. наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и смежных дисциплин, ведущий научный сотрудник научной лаборатории клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова, г. Курган, Россия, e-mail: elena.shurova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0816-1004, Scopus Author ID: 6602428322, eLibrary SPIN: 6919-1265.

Горбач Елена Николаевна – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории морфологии, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г. А. Илизарова, г. Курган, Россия, e-mail: gorbach.e@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9516-7481, Scopus Author ID: 56107677500, eLibrary SPIN: 8110-2803.

Authors informatoon

Gorbach Alina P. – Postgraduate Student, Scientific Laboratory, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre of Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, e-mail: alinatomilova@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7788-2687, eLibrary SPIN: 6127-8754.

Shchurova Elena N. – Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Related Disciplines, Leading Research Associate, Scientific Laboratory, Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre of Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, e-mail: elena.shurova@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0816-1004, Scopus Author ID: 6602428322, eLibrary SPIN: 6919-1265.

Gorbach Elena N. – Cand. Sci. (Biol.) (PhD), Leading Research Associate, Laboratory of the Morphology, National Ilizarov Medical Research Centre of Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia, e-mail: gorbach.e@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9516-7481, Scopus Author ID: 56107677500, eLibrary SPIN: 8110-2803.