

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОЖНОГО ПОКРОВА ЧЕЛОВЕКА КАК ПРОЯВЛЕНИЕ АДАПТАЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Л.А. Гребенюк<sup>1</sup>, А.В. Грязных<sup>2</sup>, Р.В. Кучин<sup>2</sup>, Д.А. Корюкин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, г. Курган, Россия,

<sup>2</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия,

<sup>3</sup>Курганский государственный университет, г. Курган, Россия

**Цель работы** состояла в изучении растяжимости, акустической анизотропии и структуры кожного покрова нижней конечности в условиях пролонгированного растяжения при врожденном ее укорочении и у спортсменов – высококвалифицированных борцов греко-римского стиля. **Материал и методы.** Обследованы пациенты с врожденным укорочением нижней конечности (1-я группа) в возрасте 7–35 лет; высококвалифицированные спортсмены – борцы-единоборцы (2-я группа) и их сверстники-неспортсмены (3-я группа). Оценивали величину растяжимости и толщину кожи голени в процессе distraction и после завершения лечения. В указанных группах определяли влияние положения конечности в пространстве на характер акустической анизотропии кожи с помощью акустического анализатора ASA, неинвазивно изучали структуру кожи с помощью ультрасонографии. **Результаты.** Установлена возрастная зависимость показателя растяжимости кожи пораженной голени: до начала distraction в 1-й группе 12–14 лет параметр был максимальным, составив 2,1 %. После завершения лечения наибольшее его значение выявлено у пациентов 7–8 лет. Влияние distraction приводило к закономерному снижению растяжимости. В группе подростков к 45-му дню distraction растяжимость уменьшалась в 11,1 раза, составив  $0,02 \pm 0,01$  %, а у взрослых к 60-му дню distraction достигала  $0,10 \pm 0,06$  %. Аппроксимация этого параметра в коже голени в зависимости от возраста описывается полиномиальным уравнением, а после уравнивания длины конечности – уравнением линейной зависимости. По данным ультрасонографии, толщина кожи удлинненной голени достоверно возрастала во все периоды лечения. Превышение толщины кожи нижней конечности наблюдалось у спортсменов-борцов относительно показателя в группе неспортсменов. Обнаружена трансформация акустической анизотропии в коже удлинняемой голени при изменении положения конечности в пространстве. **Заключение.** Механическое воздействие (distraction) и физический стресс (регулярные спортивные тренировки) вызывают структурную и функциональную адаптацию кожи нижней конечности, а изменение положения конечности в пространстве – трансформацию акустической анизотропии.

**Ключевые слова:** кожа, адаптация, растяжимость, акустическая анизотропия, укорочение конечности, удлинение по Илизарову, спортсмены-борцы, структура кожи.

**Введение.** Современный мультидисциплинарный подход в исследовании кожного покрова позволил выявить достаточно широкий спектр его важных функций, определяющий не только локальные реакции, но и участие в системном реагировании в процессе жизнедеятельности человека. Общеизвестна защитная роль кожи как интерфейса между окружающей средой и телом человека, обеспечивающей предохранение от неконтролируемого испарения и потери воды [7]. Трансэпидермальная потеря воды и средняя температура кожи очень чувствительны к климатическим особенностям и температуре окружающей сре-

ды [17]. Кожа является защитным барьером от проникновения инфекции, имеет водно-липидную мантию. В диссипации энергии ударов тела и конечностей участвуют сетчатый слой и гиподерма. Кожный покров – один из органов иммунологической защиты организма человека [2]. В коже как защитном барьере представлены все типы клеток, способные осуществлять широкий спектр иммунных реакций. Отмечается участие в барьерной функции как первой линии защиты рогового слоя эпителия кожи [18].

При изучении *in vivo* рядом авторов установлена важная взаимосвязь механических

свойств кожи и водопроницаемости эпидермиса в сохранении ее барьерной функции [14]. После физической нагрузки у спортсменов увеличивается рН поверхности и содержание липидов в поверхностных слоях кожи, наблюдается гипергидратация рогового слоя эпидермиса [10]. Сообщается о распространении метициллин-устойчивых штаммов золотистого стафилококка у спортсменов различных видов спорта [12, 15, 16]. Этот вид инфекции опасен своей высокой контагиозностью и приводит к высокой заболеваемости у спортсменов. Частота заболеваемости указанной инфекцией у борцов в США за период 2016–2017 гг. была наиболее высокой и достигала 100,0 на 10 000 [3].

Экстремальные климатические условия негативно влияют на кожу [5]. Низкие влажность и температуры ведут к снижению ее барьерной функции и повышению риска повреждений и обморожений. Кожный покров обладает эволюционно сложившимися биомеханическими упруго-эластическими свойствами. Известно, что биомеханические свойства кожи различаются у людей разного возраста, этнической и гендерной принадлежности, зависят от топографических особенностей, отличаются у здоровых и страдающих некоторыми видами патологии людей [4].

Ряд исследователей предлагают рассматривать кожный покров как единую иерархически устроенную многослойную систему – композицию из различных слоев, механическое и структурное взаимодействие между которыми по мере старения становится неустойчивым [8, 9]. В результате инволютивных структурных изменений упруго-эластические свойства кожи снижаются, что визуально выражается в появлении морщин. Актуальным остается изучение реактивности кожи различных участков человека на механические воздействия – растяжение, давление и сжатие. Наиболее частой проблемой в практической медицине является оценка способности кожи к растяжению, т. е. ее пластических возможностей, и профилактика пролежней при некоторых заболеваниях. Удаление патологически измененных образований (опухолей), некротизированных участков у травматологических больных, проведение пластических операций в косметологии предполагают прогнозирование резерва кожи к растяжению для успешного закрытия образовавшегося кожного дефекта.

**Цель работы** состояла в изучении акустической анизотропии, растяжимости и структурных изменений кожного покрова нижней конечности в условиях пролонгированного дозированного растяжения при врожденном ее укорочении и у спортсменов – высококвалифицированных борцов греко-римского стиля.

**Организация и методы исследования.** Обследовано три группы людей. В первую группу вошли пациенты с врожденным укорочением нижней конечности, которым уравнивали длину голени по методу Илизарова ( $n = 65$ ) в возрасте от 7 до 35 лет. Тестирование проводили до начала удлинения, в периоде фиксации и в сроки 12–24 мес. после завершения лечения. Вторую группу составили спортсмены – высококвалифицированные борцы греко-римского стиля в возрасте  $21,3 \pm 2,8$  года ( $n = 9$ ), в третью группу вошли их сверстники-неспортсмены в возрасте  $22,5 \pm 1,3$  ( $n = 8$ ), ведущие малоподвижный образ жизни.

Прижизненное изучение акустической анизотропии кожного покрова нижней конечности изучали с помощью акустического анализатора кожи – ASA-4 (производства Москва – Белград). Датчик анализатора располагали параллельно, перпендикулярно и диагонально относительно продольной оси конечности. Определяли скорость распространения поверхностной сдвиговой волны (ПСВ). Диапазон скоростей ПСВ – 15–300 м/с [1, 6].

Растяжимость кожи (или относительную деформацию) оценивали с помощью устройства для изучения деформационных свойств кожи человека (разработка РИЦ ВТО им. акад. Г.А. Илизарова). Структуру кожного покрова изучали с помощью ультразвукового сканера с линейным датчиком с частотой 7,5 МГц (Siemens). Определяли толщину кожи (мм). Обследуемые находились в положении лежа на спине, коленные суставы были разогнуты.

**Результаты исследования и обсуждение.** Изучение показателя растяжимости кожного покрова голени в группе пациентов с укорочением нижней конечности в различные периоды удлинения выявило следующую динамику (табл. 1).

Анализ динамики показателя растяжимости кожи пораженной голени в группе пациентов с укорочением нижней конечности выявил максимальные его значения до начала distraction (см. табл. 1). В обеих возрастных группах 15–16 лет и 17–35 лет указанный па-

Таблица 1

Table 1

Влияние пролонгированной distraction на растяжимость кожи голени в группе пациентов,  $M \pm m$  (%)  
Effect of prolonged distraction on shin skin elasticity in people with inborn limb shortening,  $M \pm m$  (%)

Возраст, лет Age, years	Исх. (in.)	Д - 7 (D - 7)	Д - 14 (D - 14)	Д - 21 (D - 21)	Д - 31 (D - 31)	Д - 45 (D - 45)	Д - 60 (D - 60)
<b>15-16, n = 12, больн. / affected</b>	<b>1,11 ± 0,24</b>	<b>0,52 ± 0,26*</b>	<b>0,80 ± 0,10*</b>	<b>0,77 ± 0,12*</b>	<b>0,75 ± 0,05*</b>	<b>0,02 ± 0,01*</b>	<b>0,10 ± 0,05*</b>
15-16, n = 12, инт. / intact	0,77 ± 0,13	1,07 ± 0,70	1,08 ± 0,33	1,13 ± 0,07	1,43 ± 0,88	1,2 ± 0,50	0,55 ± 0,08
<b>17-35, n = 12, больн. / affected</b>	<b>1,56 ± 0,12</b>	<b>0,73 ± 0,28*</b>	<b>0,55 ± 0,15*</b>	<b>0,55 ± 0,20*</b>	<b>0,45 ± 0,05*</b>	<b>0,33 ± 0,12*</b>	<b>0,10 ± 0,06*</b>
17-35, n = 12, инт. / intact	0,71 ± 0,11	0,93 ± 0,48	0,83 ± 0,38	1,0 ± 0,50	0,88 ± 0,33	1,07 ± 0,70	0,55 ± 0,12

Примечание. Статистическая значимость различий \* –  $p < 0,05$ ; исх. – исходный показатель растяжимости (%); Д - 7, Д - 60 – срок distraction (дни).

Note. Statistical significance of differences \* –  $p < 0,05$ ; in. – initial index of elasticity (%); D - 7, D - 60 – distraction period (days).

Таблица 2

Table 2

Возрастная зависимость растяжимости кожного покрова голени  
до удлинения и после завершения лечения,  $M \pm m$  (%).

Age-related dependence of lower limb skin elasticity before lengthening and after treatment,  $M \pm m$  (%)

Возраст, лет Age, years	Период лечения	7-8	10-11	12-14	15-16	17-35	Уравнения аппроксимации Approximation equation
n = 65	Period of treatm.	n = 7	n = 22	n = 12	n = 12	n = 12	
<b>Больн. / Affected</b>	<b>Исх. In.</b>	<b>1,48 ± 0,29</b>	<b>1,75 ± 0,29</b>	<b>2,1 ± 1,28</b>	<b>1,11 ± 0,24</b>	<b>1,56 ± 0,12</b>	$y = -0,07x^2 \pm$ $0,372x \pm 1,254$ $R^2 = 0,1734$
Инт. / Intact	Исх. In.	0,75 ± 0,15	1,11 ± 0,11	0,98 ± 0,29	0,77 ± 0,13	0,71 ± 0,11	$y = -0,0657x^2 \pm$ $0,3523x \pm 0,53$ $R^2 = 0,6534$
<b>Больн. / Affected</b>	<b>18 мес. 18 months</b>	<b>1,4 ± 0,1</b>	<b>1,09 ± 0,13</b>	<b>0,88 ± 0,11</b>	<b>0,55 ± 0,12</b>	<b>0,5 ± 0,13</b>	$y = -0,234x \pm$ $1,586$ $R^2 = 0,9645$
Инт. / Intact	18 мес. 18 months	1,8 ± 0,28	1,41 ± 0,19	0,78 ± 0,21	1,0 ± 0,17	0,78 ± 0,14	$y = -0,445x \pm$ $2,729$ $R^2 = 0,9645$

раметр составил  $1,11 \pm 0,24$  и  $1,56 \pm 0,12$  % соответственно. При этом растяжимость кожи интактного сегмента была достоверно ниже ( $p < 0,05$ ). Так, в старшей возрастной группе показатель растяжимости кожи оказался более чем в два раза ниже, чем на укороченной голени. По мере дозированного уравнивания длины сегментов по методу Илизарова происходило закономерное снижение растяжимости кожи удлиняемой голени. В группе подростков ее минимальные показатели достигали к 45-му дню тракции, разница относительно исходных показателей составила 11,1 раза (см. табл. 1). В группе взрослых растяжимость кожи оперированного сегмента снизилась в 15,6 раза по сравнению с началь-

ным периодом при завершении периода distraction. Это свидетельствует о выраженной реакции кожи на механический стресс – дозированное растяжение и ее переход в напряженно-деформированное растяжение.

Исследование кожного покрова в первой группе обследованных выявило возрастную зависимость параметров растяжимости в различные периоды наблюдения (табл. 2).

До лечения прослеживается полиномиальная зависимость параметров растяжимости кожи голени. Наибольший параметр растяжимости кожи укороченной голени выявлен у пациентов 12–14 лет, что объясняется продолжающимся отставанием в росте пораженного сегмента даже в пубертатном периоде.

## Восстановительная и спортивная медицина

После завершения лечения у пациентов 7–8 лет растяжимость была максимальной по сравнению с другими возрастными группами (см. табл. 2). Это связано с более высоким пластическим резервом кожного покрова у пациентов 7–8 лет. После уравнивания длины конечностей наблюдается линейная зависимость указанного параметра кожи от возраста как пораженной, так и интактной голени. Результаты изучения влияния возрастного фактора на состояние кожи нередко противоречивы, особенно относительно микроциркуляции и толщины кожи. J.M. Waller, H.I. Maibach (2005) отмечают уменьшение кровотока в коже с возрастом, особенно в местах, подверженных воздействию окружающей среды; pH кожи, по их мнению, изменяется мало даже при достижении возраста 70 лет [19].

Помимо изучения функциональных свойств кожного покрова нами прижизненно были изучены особенности его структуры (табл. 3, 4).

По данным ультразвукографии, толщина кожи подверженной растяжению голени у па-

циентов разного возраста до лечения колебалась от  $1,89 \pm 0,11$  до  $2,05 \pm 0,14$  мм (см. табл. 3). Так, у больных в возрасте 5–8 лет в процессе distraction изучаемый показатель кожи удлиняемой голени увеличился на 24,9 %, а у пациентов 10–14 лет – на 7,8%. У взрослых прирост толщины кожи при distraction составил 21,1 % (см. табл. 3). После прекращения растяжения толщина кожи удлиненной голени, по данным ультразвукографии, превышала исходный показатель у пациентов 5–8 лет на 32,7 %, пациентов 10–14 лет – на 17,3 %, а у взрослых – на 21,1 %. Это свидетельствует об адаптационных структурных перестройках и изменениях растяжимости кожи при воздействии дозированной тракции сегмента как о проявлении эффекта Илизарова. Структурные перестройки происходят во всех слоях кожи – эпидермисе, дерме и гиподерме. Утолщение кожного покрова удлиненной голени по сравнению с исходным уровнем сохранялось у пациентов всех возрастных групп и после лечения. Структурной основой таких адап-

Таблица 3  
Table 3

Толщина кожи укороченной голени в процессе удлинения по данным ультразвукографии ( $M \pm m$ , мм)  
Ultrasonography data on skin thickness in the shortened leg during lengthening ( $M \pm m$ , mm)

Возраст, лет Age, years	n	Толщина кожи / Skin thickness			
		До операции Before surgical intervention	Дистракция Distraction	Фиксация Fixation	Период лечения 1–3 года In 1–3 years after treatment
5–8	7	$1,89 \pm 0,11$	$2,36 \pm 0,2^*$	$2,81 \pm 0,24^*$	–
10–14	18	$2,05 \pm 0,14$	$2,21 \pm 0,22^*$	$2,48 \pm 0,12^*$	$2,17 \pm 0,18$
15–16	10	$1,94 \pm 0,1$	$2,31 \pm 0,12^*$	$2,56 \pm 0,16^*$	$2,52 \pm 0,12^*$
17–35	11	$1,95 \pm 0,14$	$2,67 \pm 0,14^*$	$2,47 \pm 0,16^*$	$2,52 \pm 0,02^*$

Примечание. \* – статистическая значимость различий по критерию Манна–Уитни по сравнению с исходными показателями  $p \leq 0,05$ ;  $M \pm m$

Note. \* – statistical significance of differences according to Mann–Whitney test compared to initial values  $p \leq 0.05$ ;  $M \pm m$

Таблица 4  
Table 4

Толщина кожного покрова нижней конечности у неспортсменов и борцов греко-римского стиля по данным прижизненного неинвазивного тестирования,  $M \pm m$  (мм)  
Non-invasive test data on lower limb skin thickness in non-athletes and wrestlers,  $M \pm m$  (mm)

	Возраст, лет Age, years	n	Бедро / Hip		Голень / Shin	
Неспорт. / Non-athletes	$22,5 \pm 1,3$	8	$1,75 \pm 0,14$	(1,29;2,21)	$1,15 \pm 0,03$	(1,06;1,24)
Медиана / Median			1,75	(1,5;2,0)	1,15	(1,1;1,2)
Спортсмен. / Athlete	$21,3 \pm 2,8$	9	$2,03 \pm 0,13$	(1,7;2,35)	$1,58 \pm 0,05^*$	(1,46;1,7)
Медиана / Median			2,05	(1,7;2,2)	1,55	(1,5;1,6)

Примечание.  $M \pm m$  – среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка; \* – статистическая значимость различий по критерию Манна–Уитни  $p < 0,05$ .

Note.  $M \pm m$  – mean value  $\pm$  mean squared error; \* – statistical significance of differences according to Mann–Whitney test  $p \leq 0.05$ .

тивных реакций на механический стресс является модификация спиралевидности коллагена, переориентация коллагеновых и эластических волокон, а также активизация процессов фибрилlogenеза [1].

Сопоставительный анализ структурных параметров кожи конечности в других группах с помощью ультразвуковой визуализации показал, что люди, занимающиеся силовыми видами спорта, имеют определенные морфологические особенности кожи относительно параметров у лиц контрольной группы – неспортсменов (см. табл. 4).

Выявлено статистически значимое превышение толщины кожного покрова голени у спортсменов-борцов ( $n = 9$ ,  $p < 0,05$ ) по сравнению с контрольной группой сверстников-неспортсменов ( $n = 8$ ). Для кожи бедра прослеживается тенденция к превышению показателя толщины в группе спортсменов ( $p > 0,05$ ). Обнаруженные различия свидетельствуют о связи структурных изменений кожи конечности с долговременными адаптационными влияниями, происходящими вследствие регулярных физических тренировок. M.J. Mueller, K.S. Maluf (2002) предложили «теорию физического стресса» (Physical Stress

Theory), в соответствии с которой изменения относительного уровня физического напряжения вызывают предсказуемый адаптивный ответ во всех биологических тканях [13]. При высоком уровне физического стресса в коже повышаются содержание коллагена, диаметр коллагеновых волокон, толщина кожи и ее прочность.

С целью изучения влияния пространственного фактора – положения конечности при изменении угла в коленном суставе – были проведены функциональные пробы (табл. 5, 6). С этой целью тестировали механо-акустические свойства кожи голени как чувствительные характеристики состояния ткани и позволяющие оценивать анизотропные свойства кожи [1, 6] (см. табл. 5, 6).

Показатель скорости распространения ПСВ (Cx и Cz) в коже удлинённой голени на этапе фиксации достоверно выше относительно исходных показателей ( $p < 0,01$ ). Это касается параметров ПСВ как в разогнутом, так и в согнутом положении в коленном суставе. Наиболее выраженная трансформация акустической анизотропии в коже поражённой голени наблюдалась до начала distraction. Коэффициент анизотропии с уровня 0,98

Таблица 5  
Table 5

**Акустическая анизотропия в кожном покрове голени в группе с укорочением голени при сгибании в коленном суставе,  $M \pm m$  (м/с)**  
**Shin skin acoustic anisotropy during knee bending in people with leg shortening,  $M \pm m$  (m/s)**

Разгибание в коленном суставе / Knee unbending							
Период / Period	n	Больная голень Affected shin			Интактная голень Healthy shin		
		Cx	Cz	z/x	Cx	Cz	z/x
До лечения / Before treatment	15	75,7 ± 2,8	74,1 ± 3,1	<b>0,98</b>	76,2 ± 3,3	80,9 ± 4,4	<b>1,1</b>
Фиксация / Fixation	8	92,5 ± 3,5*	97,4 ± 3,6*	<b>1,05</b>	82,8 ± 1,9	73,7 ± 3,2	<b>0,9</b>
12 мес. п. л. 12 months after treatment	14	73,6 ± 3	75,8 ± 3	<b>1,03</b>	75,1 ± 2,0	75,0 ± 3,7	<b>1,0</b>
24 мес. п. л. 24 months after treatment	10	76,8 ± 2,4	81,8 ± 4,3	<b>1,07</b>	74,3 ± 4,7	77,5 ± 4,5	<b>1,0</b>
Сгибание в коленном суставе / Knee bending							
До лечения / Before treatment	15	69,8 ± 2,3	90,5 ± 2,6	<b>1,3</b>	69,9 ± 2,7	85,5 ± 3,6	<b>1,2</b>
Фиксация / Fixation	8	96,8 ± 7,1*	106 ± 9,38*	<b>1,1</b>	75,3 ± 3,79	77,2 ± 4,7	<b>1,0</b>
12 мес. п. л. 12 months after treatment	14	73,1 ± 3,9	86,6 ± 2,9	<b>1,2</b>	69,8 ± 2,6	85,4 ± 3,6	<b>1,2</b>
24 мес. п. л. 24 months after treatment	10	68,4 ± 2,7	80,9 ± 5,1	<b>1,2</b>	74,3 ± 2,5	91,4 ± 6,6	<b>1,2</b>

Примечание: коэффициент z/x – соотношение скорости ПАВ в продольном и поперечном направлении; Cx и Cz – скорость ПАВ в поперечном и продольном направлении соответственно; \* – статистическая значимость различий по критерию Манна–Уитни  $p < 0,01$ .

Note: z/x coefficient is a speed ratio of a surface acoustic wave in the longitudinal and transverse direction; Cx and Cz is a speed of a surface acoustic wave in the longitudinal and transverse direction respectively; \* – statistical significance of differences according to Mann–Whitney test  $p \leq 0.01$ .

Влияние положения конечности на механо-акустическую анизотропию кожи голени у борцов-единоборцев высокой квалификации,  $M \pm m$  (м/с).  
Effect of limb position on shin skin acoustic anisotropy in highly-skilled wrestlers,  $M \pm m$  (m/s)

Возраст 18–22 года Age 18–22, n = 10	Разгибание в колен. суставе Knee unbending			Сгибание в коленном суставе Knee bending		
	Cx	Cz	z/x	Cx	Cz	z/x
<b>Правая голень / Right shin</b>	85,8 ± 3,2	97,2 ± 3,5	<b>1,13</b>	80,61 ± 3,08	94,06 ± 4,81	<b>1,17</b>
Станд. откл. / Standard deviation	9,6	10,6		9,24	14,44	
<b>Левая голень / Left shin</b>	88,4 ± 4,7	99,0 ± 3,9	<b>1,12</b>	86,06 ± 4,32	90,89 ± 5,73	<b>1,06</b>
Станд. откл. / Standard deviation	14,0	11,7		12,97	17,18	

Примечание: коэффициент z/x – соотношение скорости ПАВ в продольном и поперечном направлении; Cx и Cz – скорость ПАВ в поперечном и продольном направлении соответственно.

Note: z/x coefficient is a speed ratio of a surface acoustic wave in the longitudinal and transverse direction; Cx and Cz is a speed of a surface acoustic wave in the longitudinal and transverse direction respectively.

до проведения пробы возрастал до 1,3 при сгибании в коленном суставе. Прослеживаются однонаправленные изменения – возрастание коэффициента механо-акустической анизотропии в коже удлинённой и интактной голени при сравнении до и после лечения. При изменении положения конечности распрямляются имеющиеся в коже запасные складки, переориентируются пучки коллагеновой вязи и др. Описанная нами трансформация акустической анизотропии в коже **укороченной голени** при сгибании в суставе до начала distraction свидетельствует о ее высоких пластических резервах ткани (см. табл. 5). Об изменении поверхностного натяжения кожи конечности при сгибании в локтевом суставе описано в работе [11], в которой определяли поверхностное натяжение кожи и выявили уменьшение толщины эпидермального слоя.

При проведении функциональной пробы со сгибанием в коленном суставе в группе борцов-единоборцев существенных изменений коэффициента анизотропии не наблюдалось (см. табл. 6).

У этой же группы спортсменов обнаружено превышение толщины кожи нижней конечности по сравнению с показателем в контрольной группе, что связано с адаптивными структурными изменениями в результате

многолетних регулярных тренирующих воздействий – физического стресса. В литературе отмечается другая физиологическая особенность функционирования кожного покрова у спортсменов – нарушение кожного барьера, которую авторы связывают с большими физическими нагрузками, сопровождающимися увеличением потоотделения [10].

**Заключение.** Таким образом, в нашем исследовании выявлена возрастная зависимость показателей толщины и растяжимости кожи врожденно-укороченной голени в условиях влияния механического стресса – пролонгированного растяжения. Структурной основой таких адаптивных реакций на механический стресс является модификация спиральности коллагена, переориентация коллагеновых и эластических волокон, а также активизация процессов фибрилlogenеза.

Превышение толщины кожного покрова бедра и голени в группе спортсменов относительно показателей у неспортсменов свидетельствует о структурной адаптации ткани в ответ на регулярный физический стресс. Пластические свойства кожи нижней конечности укороченной голени до воздействия distraction связаны с высокими резервными возможностями ткани, выявленными при выполнении функциональной пространственной пробы.

#### Литература / References

1. Шевцов В.И., Гребенюк Л.А., Попков А.В., Гребенюк Е.Б. Динамика акустических свойств покровных тканей и содержание гидроксипролина при оперативном лечении врожденных аномалий конечностей. Вестник РАМН. 2009. № 6. С. 37–42. [Shevtsov V.I., Grebenyuk L.A., Popkov A.V., Grebenyuk E.B. [Dynamics of the Acoustic Properties of Integumentary Tissues and the Content of Hydroxyproline in the Surgical Treatment of Congenital Anomalies of the Limbs]. *Vestnik RAMN* [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences], 2009, no. 6, pp. 37–42. (in Russ.)]
2. Bird J.A., Sánchez-Borges M., Ansotegui I.J., Ebisawa M., Ortega Martell J.A. Skin

as an Immune Organ and Clinical Applications of Skin-Based Immunotherapy. *World Allergy Organ J*, 2018, vol. 11 (1), 38 p. DOI: 10.1186/s40413-018-0215-2. eCollection 2018

3. Braun T., Kahanov L. Community-Associated Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* Infection Rates and Management among Student-Athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 2018, vol. 50 (9), pp. 1802–1809. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001649

4. Dąbrowska A.K., Spano F., Derler S., Adlhart C., Spencer N.D., Rossi R.M. The Relationship Between Skin Function, Barrier Properties, and Body-Dependent Factors. *Skin Res Technol*, 2018, vol. 24 (2), pp. 165–174. DOI: 10.1111/srt.12424. Epub 2017 Oct 23

5. Engebretsen K.A., Johansen J.D., Kezic S., Linneberg A., Thyssen J.P. The Effect of Environmental Humidity and Temperature on Skin Barrier Function and Dermatitis. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2016, vol. 30 (2), pp. 223–249. DOI: 10.1111/jdv.13301. Epub 2015 Oct 8

6. Grebenyuk L.A., Grebenyuk E.B. Express Diagnosis of Mechano-Biological Limb Skin Condition During Prolonged Dosed Stretching in Orthopedics. In book: *Biomechanics and Biomaterials in Orthopedics* (Editors: Poitout, Dominique G. (Ed.). – 2nd edition. Springer-Verlag-London, 2016, pp. 241–251. DOI: 10.1007/978-1-84882-664-9\_21

7. Kalra A., Lowe A., Jumaily A.A.I. An Overview of Factors Affecting the Skin's Young's Modulus. *J Aging Sci*, 2016, vol. 4 (2), 156 p. DOI: 10.4172/2329-8847.1000156

8. Kruglikov I.L., Scherer P.E. Skin Aging as a Mechanical Phenomenon: The Main Weak Links. *Nutr Healthy Aging*, 2018, vol. 4 (4), pp. 291–307. DOI: 10.3233/NHA-170037

9. Kruglikov I.L., Scherer P.E. General Theory of Skin Reinforcement. *PLoS One*, 2017, vol. 12 (8), e0182865. DOI: 10.1371/journal.pone.0182865. eCollection 2017.

10. Luebbberding S., Kolbe L., Kerscher M. Influence of Sportive Activity on Skin Barrier Function: a Quantitative Evaluation of 60 Athletes. *Int J Dermatol*, 2013, vol. 52 (6), pp. 745–749. DOI: 10.1111/j.1365-4632.2012.05852.x. Epub 2013 Mar 14.

11. Maiti R., Gerhardt L.C., Lee Z.S. et al. In Vivo Measurement of Skin Surface Strain and Sub-Surface Layer Deformation Induced by Natural Tissue Stretching. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2016, vol. 62, pp. 556–569. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2016.05.035. Epub 2016 Jun 5.

12. Many P.S. Preventing Community-Associated Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* Among Student Athletes. *J Sch Nurs*, 2008, vol. 24 (6), pp. 370–378. DOI: 10.1177/1059840508326448

13. Mueller M.J., Maluf K.S. Tissue Adaptation to Physical Stress: A Proposed “Physical Stress Theory” to Guide Physical Therapist Practice, Education, and Research. *Physical Therapy*, 2002, vol. 82, iss. 4, pp. 383–403. DOI: 10.1093/ptj/82.4.383

14. Pedersen L., Jemec G.B. Mechanical Properties and Barrier Function of Healthy Human Skin. *Acta Derm Venereol*, 2006, vol. 86(4), pp. 308–311. DOI: 10.2340/00015555-0080

15. Redziniak D.E., Diduch D.R., Turman K. et al. Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* (MRSA) in the Athlete. *Int J Sports Med*, 2009, vol. 30 (8), pp. 557–562. DOI: 10.1055/s-0029-1214382. Epub 2009 May 25.

16. Shah N., Cain G., Naji O., Goff J. Skin Infections in Athletes: Treating the Patient, Protecting the Team. *J Fam Pract*, 2013, vol. 62 (6), pp. 284–291.

17. Singh B., Maibach H. Climate and Skin Function: an Overview. *Skin Res Technol*, 2013, vol. 19 (3), pp. 207–212. DOI: 10.1111/srt.12043. Epub 2013 Mar 25.

18. Svoboda M., Bílková Z., Muthný T. Could Tight Junctions Regulate the Barrier Function of the Aged Skin? *J Dermatol Sci*, 2016, vol. 81(3), pp. 147–152. DOI: 10.1016/j.jdermsci.2015.11.009. Epub 2015 Nov 28.

19. Waller J.M., Maibach H.I. Age and Skin Structure and Function, a Quantitative Approach (I): Blood Flow, pH, Thickness, and Ultrasound Echogenicity. *Skin Res Technol*, 2005, vol. 11 (4), pp. 221–235. DOI: 10.1111/j.0909-725X.2005.00151.x

**Гребенюк Людмила Александровна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гнойной остеологии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова. 640014, г. Курган, ул. Марии Ульяновой, 6. E-mail: gla2000@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0812-8861.

**Грязных Андрей Витальевич**, доктор биологических наук, профессор кафедры теории и методики физического воспитания, Югорский государственный университет. 628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16. E-mail: anvit-2004@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0727-9529.

**Кучин Роман Викторович**, кандидат биологических наук, проректор по учебной работе, доцент теории и методики физического воспитания, Югорский государственный университет. 628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16. E-mail: r\_kuchin@ugrasu.ru, ORCID: 0000-0002-5478-4846.

**Корюкин Дмитрий Анатольевич**, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физической культуры и спорта, Курганский государственный университет. 640020, г. Курган, ул. Советская, 63, стр. 4. E-mail: krjukin.dimn@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7815-5676.

*Поступила в редакцию 7 апреля 2019 г.*

---

DOI: 10.14529/hsm190215

### PHYSIOLOGICAL ASPECTS OF SKIN COVER AS ADAPTATION IN RESPONSE TO VARIOUS FACTORS

L.A. Grebenyuk<sup>1</sup>, gla2000@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0812-8861,

A.V. Griaznykh<sup>2</sup>, anvit-2004@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0727-9529,

R.V. Kuchin<sup>2</sup>, r\_kuchin@ugrasu.ru, ORCID: 0000-0002-5478-4846,

D.A. Koryukin<sup>3</sup>, krjukin.dimn@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7815-5676

<sup>1</sup>Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology & Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation,

<sup>2</sup>Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation,

<sup>3</sup>Kurgan State University, Kurgan, Russian Federation

**Aim.** The article deals with the study of lower limb skin elasticity, acoustic anisotropy, and structure in response to its prolonged stretching in people with inborn limb shortening and highly-skilled Greco-Roman wrestlers. **Materials and methods.** The study involved people with inborn limb shortening aged 7–35 years (1<sup>st</sup> group), highly skilled Greco-Roman wrestlers (2<sup>nd</sup> group), and their peers not engaged in the sport (3<sup>rd</sup> group). We assessed the elasticity and thickness of shin skin during distraction and after treatment. The effect of leg position on the acoustic anisotropy of the skin was studied by using the ASA acoustic analyser. Skin structure was studied non-invasively by using medical ultrasound. **Results.** We established age-related dependency of skin elasticity in the affected shin: before distraction, this parameter achieved its maximum of 2.1 % in the first group in participants aged 12–14 years. After treatment maximum values were revealed in participants aged 7–8 years. Distraction resulted in the expected decrease in elasticity. In the group of teenagers, elasticity decreased by 11.1 times by the 45<sup>th</sup> day of distraction and was equal  $0.02 \pm 0.01$  %. In adults, distraction was equal  $0.10 \pm 0.06$  % by the 60<sup>th</sup> day. The approximation of this parameter for shin skin depending on age is described by a polynomial equation and, after equalizing the length of the lower limbs, by a linear equation. According to medical ultrasound data, skin thickness in the lengthened shin increased significantly at all stages of treatment. The increase in skin thickness was registered in wrestlers compared to non-athletes. **Conclusion.** Mechanical impact (distraction) and physical stress (regular sports activity) provoke the structural and functional adaptation of lower limb skin. Position change results in the transformation of acoustic anisotropy.

**Keywords:** skin, adaptation, elasticity, anisotropy, lower limb shortening, Ilizarov leg lengthening, wrestlers, skin structure.

*Received 7 April 2019*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Физиологические аспекты кожного покрова человека как проявление адаптации под влиянием различных факторов / Л.А. Гребенюк, А.В. Грязных, Р.В. Кучин, Д.А. Корюкин // Человек. Спорт. Медицина. – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 117–124. DOI: 10.14529/hsm190215

#### FOR CITATION

Grebenyuk L.A., Griaznykh A.V., Kuchin R.V., Koryukin D.A. Physiological Aspects of Skin Cover as Adaptation in Response to Various Factors. *Human. Sport. Medicine*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 117–124. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm190215