

## РЕНТГЕНО-МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ К ВЗАИМОСВЯЗИ ДЛИНЫ ФАЛАНГ С ДЛИНОЙ ПАЛЬЦЕВ КИСТИ ЧЕЛОВЕКА

Ермоленко А.С.

Ульяновский областной клинический центр специализированных видов медицинской помощи имени Е.М. Чучалова, Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия, e-mail: osteon@yandex.ru

## RONTGEN-MORPHOMETRIC DATA TO THE CORRELATION OF THE PHALANXES LENGTH WITH A LENGTH OF HUMAN HANDS FINGERS

Ermolenko AS

Chuchkalov Ulyanovsk Regional Clinical Centre of Specialized Kinds of Medical Care, Ulyanovsk State University, Ulyanovsk Russia, e-mail: osteon@yandex.ru

### Для цитирования:

Ермоленко А.С. Рентгено-морфометрические данные к взаимосвязи длины фаланг с длиной пальцев кисти человека // Морфологические ведомости. - 2020. - Том 28. - № 4. - С. 25-30. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28\(4\):489](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28(4):489)

### For the citation:

Ermolenko AS. Rontgen-morphometric data to the correlation of the phalanxes length with a length of human hands fingers. *Morfologicheskie Vedomosti – Morphological Newsletter*. 2020;28(4):25-30. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28\(4\):489](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2020.28(4):489)

**Резюме.** Данные об анатомической изменчивости фаланг и пальцев кисти необходимы для расширения биометрических баз данных в робототехнике, протезостроении и судебной медицине. Целью исследования явилось изучение рентгено-морфометрической изменчивости длины отдельных фаланг пальцев кисти их взаимосвязи с длиной пальцев. Методом морфометрии на 100 паспортизированных рентгенограммах кистей лиц второго зрелого возраста (50 мужчин и 50 женщин) определены длины отдельных фаланг и пальцев кистей, установлена корреляционная взаимосвязь между длиной фаланг и пальцев. Для выявления статистической взаимосвязи между количественными признаками использован параметрический коэффициент корреляции Пирсона. Оценка зависимости между количественными показателями проведена при помощи множественного регрессионного анализа. Классификация и группировка проводились при помощи кластерного анализа методом полной связи, мерой взаимосвязи служило Евклидово расстояние. Изменчивость длины фаланг и пальцев возрастает к локтевому краю. Рентгено-морфометрическая длина отдельных фаланг и пальцев характеризуется независимо от пола закономерными формулами изменчивости: длина проксимальных фаланг – III>IV>II>V>I, длина средних фаланг – III>IV>II>V, длина дистальных фаланг – I>IV>III>II>V, длина пальцев – III>IV>II>V>I. Степень зависимости длины пальцев от длины фаланг как у мужчин, так и женщин снижается в дистальном направлении в продольной оси и локтевому краю в поперечной оси кисти. В результате кластерного анализа установлена организация объектов исследования в зависимости от степени корреляций их длины: группы проксимальных фаланг II-IV и I, V пальцев, группы средних фаланг III-IV и II-V пальцев, дистальные фаланги и пальцы организованы несколько сложнее – группы III-IV, II, V пальцев и группа I пальца. Полученные данные могут использоваться при разработке инновационных анатомически обоснованных антропоморфных роботизированных манипуляторов, при антропологических реконструкциях, при идентификации в судебно-медицинской практике.

**Ключевые слова:** кисть, пальцы кисти, фаланги, длина фаланг, рентген-остеометрия, рентген-морфометрия

**Summary.** Data on the anatomical variability of the phalanges and fingers of the hand are needed to expand biometric databases in robotics, prosthetics, and forensic medicine. The aim of the study was to study the X-ray morphometric variability of the length of individual phalanges of the fingers of the hand, their relationship with the length of the fingers. By the method of morphometry, the lengths of individual phalanges and fingers of the hands were determined on 100 certified radiographs of the hands of persons of the second mature age (50 men and 50 women), and a correlation was established between the length of the phalanges and fingers. To identify the statistical relationship between quantitative characteristics, the parametric Pearson correlation coefficient was used. The relationship between quantitative indicators was assessed using multiple regression analysis. Classification and grouping were carried out using cluster analysis by the complete connection method, the Euclidean distance served as a measure of the relationship. The variability in the length of the phalanges and fingers increases towards the ulnar edge. The X-ray morphometric length of individual phalanges and fingers is characterized, regardless of gender, by regular formulas of variability: the length of the proximal phalanges is III>IV>II>V>I, the length of the middle phalanges is III>IV>II>V, the length of the distal phalanges is I>IV>III>II>V, finger length - III>IV>II>V>I. The degree of dependence of the length of the fingers on the length of the phalanges in both men and women decreases in the distal direction in the longitudinal axis and the ulnar edge in the transverse axis of the hand. As a result of cluster analysis, the organization of the objects of study was established depending on the degree of correlations of their length: groups of proximal phalanges of II-IV and I, V fingers, groups of middle phalanges of III-IV and II-V fingers, distal phalanges and fingers are organized somewhat more complexly - groups III -IV, II, V fingers and group I fingers. The data obtained can be used in the development of innovative anatomically grounded anthropomorphic robotic manipulators, in anthropological reconstructions, and in identification in forensic practice.

**Key words:** hand, fingers of hand, phalanges, length of phalanges, X-ray osteometry, X-ray morphometry

**Введение.** Скелет пальцев среди других звеньев скелета кисти человека занимает особое положение, обусловленное адаптивным характером трансформации в процессе филогенетических преобразований [1-3]. Размеры и форма, а также прецизионное манипулирование имеют важное значение для реализации кистью такой функции как захват, что сыграло решающую роль в эволюции приматов в целом, и вида *Homo sapiens*, в частности [4-5]. В отличие от большинства млекопитающих у человека, также, как и у приматов в хватательных движениях верхних конечностей главная роль принадлежит пальцам кисти [6]. Метамеризованный скелет кисти характеризуется возрастающим в дистальном направлении количеством костных элементов придавая структурно-функциональную завершенность верхним конечностям [7]. Визуальному восприятию кисти как высокоорганизованной части тела человека, с ее билатеральной симметрией, пятилучевой и полисегментарной архитектурой, способствуют определенные пропорции отдельных ее элементов [8]. С биомеханической точки зрения скелет кисти человека организован как структура с оптимальной полисегментарной рычаговой конструкцией, в основе которой лежат принципы устойчивости механизма захвата [9-10]. Функциональная приоритетность кистей определяет видовые пропорциональности фаланг пальцев, которые подчинены закону равенства суммы линейных размеров между сопряженными по функции звеньями [11-13].

**Цель исследования** - изучить рентгено-морфометрическую изменчивость длины фаланг и их взаимосвязи с длиной пальцев кисти у человека.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования явились паспортизированные рентгенограммы кистей 100 человек без аномалий развития, деформаций и костно-суставной патологии (50 мужчин и 50 женщин) из рентгеноанатомической базы данных кафедры анатомии человека Ульяновского государственного университета (Ульяновск, Россия). Средний возраст мужчин составлял  $46,3 \pm 1,1$  лет, средний возраст женщин  $49,2 \pm 0,9$  лет ( $M \pm m$ ). Морфометрия рентгенограмм включала измерение длины I-V пальцев (расстояние между центром суставной площадки проксимального эпифиза проксимальной фаланги и наиболее удаленной от него точкой на дистальном эпифизе дистальной фаланги) их длины фаланг (расстояние между центром суставной площадки проксимального эпифиза и наиболее удаленной от него точкой на дистальном эпифизе фаланги). Все измерения в ходе морфометрии проводились стандартизированным штангенциркулем с минимальным делением шкалы в 1 мм и с точностью 0,1 мм. Предварительно выполнена проверка типа распределения выборок и удаление аномальных значений. Описательная статистика включала определение средней арифметической, ее ошибки, экстремальных значений. Для оценки различий между двумя группами наблюдений использован t-критерий. Для оценки различий между тремя и более группами использован дисперсионный анализ с проверкой гипотезы о равенстве дисперсий. В случае выявления статистически значимых различий между группами при соответствующих значениях критерия Фишера, отклоняющих гипотезу о принадлежности выборок к одной и той же совокупности, проводился post-hoc анализ спецификации различий. Для выявления статистической взаимосвязи между количественными признаками использован параметрический коэффициент корреляции Пирсона. Оценка зависимости между количественными показателями проведена при помощи множественного регрессионного анализа. Классификация и группировка проводились при помощи кластерного анализа (методом полной связи, мера сходства – Евклидово расстояние).

**Результаты исследования и обсуждение.** Описательная статистика рентгено-морфометрических данных о длине отдельных фаланг и общей длине отдельных пальцев представлена в таблице 1. С учетом отсутствия статистически достоверных билатеральных различий длины между отдельными фалангами и пальцами ( $p > 0,05$ ) не зависимо от пола исходные данные для правых и левых кистей были объединены в одну группу. Показатели асимметрии и эксцесса находятся в интервалах от  $-0,41-0,39$  и до  $-0,78-0,32$ , соответственно. Половые различия анализируемых показателей, как и следовало ожидать, ярко выражены и статистически достоверны ( $t=5,88-16,65$ ,  $p < 0,05$ ). Полученные в ходе анализа значения

сопоставимы с данными, полученными некоторыми авторами при изучении длин фаланг и пальцев, однако диапазон полученных ими значений длины несколько уже, что обусловлено меньшей точностью метода прямой антропометрии по тыльной поверхности пальцев кисти, который они использовали [14]. Вариабельность длины как для отдельных фаланг, так и для пальцев, возрастает к локтевому краю, что обусловлено более поздней закладкой последних по сравнению с пястными костями в процессе онтогенеза кисти [15].

Таблица 1

**Значения рентгено-морфометрической длины фаланг и пальцев кисти в зависимости от пола в мм**

	Пальцы	Пол	N	M±m	Min÷Max	CV%	
Проксимальные фаланги	I	М	175	30,26±0,19	26,6–34	5,95	
		Ж	169	27,75±0,2	22,5–32,2	6,51	
	II	М	176	39,69±0,24	34,9–44,6	5,59	
		Ж	167	37,75±0,24	32,7–43,5	5,85	
	III	М	177	44,34±0,26	38,7–49	5,43	
		Ж	171	42,06±0,29	35,9–48,9	6,31	
	IV	М	177	41,57±0,23	36,15–45,75	5,17	
		Ж	166	39,45±0,27	33,5–45	6,12	
	V	М	178	32,64±0,22	28,2–36,75	6,27	
		Ж	167	29,87±0,22	24,6–35	6,64	
Средние фаланги	II	М	177	22,11±0,17	18,55–25,9	7,25	
		Ж	171	20,89±0,16	17,3–25	7,15	
	III	М	176	27,19±0,19	23,5–31,5	6,44	
		Ж	171	25,57±0,23	20,4–31	8,16	
	IV	М	174	26,08±0,18	22,35–29,5	6,33	
		Ж	170	24,96±0,21	20,7–29,9	7,62	
	V	М	173	18,24±0,16	14,85–22,4	8,23	
		Ж	168	16,93±0,13	14–20,1	6,83	
	Дистальные фаланги	I	М	172	22,28±0,17	19–26	7,01
			Ж	167	19,54±0,15	15,9–23,4	6,83
II		М	178	16,94±0,12	14,3–19,55	6,43	
		Ж	167	15,54±0,1	13,1–18	6,04	
III		М	178	17,81±0,13	14,85–20,55	6,52	
		Ж	170	16,33±0,14	13–19,3	7,84	
IV		М	173	18,22±0,12	15,5–21	6,29	
		Ж	171	16,8±0,12	13,8–19,5	6,86	
V		М	167	16,45±0,13	13,7–19	7,24	
		Ж	168	15,19±0,09	13,1–17,6	5,34	
Пальцы	I	М	147	54±0,21	46,81–59,98	4,74	
		Ж	151	48,68±0,21	42,4–54,93	5,38	
	II	М	145	79,23±0,25	72,14–86,96	3,87	
		Ж	151	75,49±0,32	65,79–83,88	5,17	
	III	М	144	89,74±0,27	80,78–99,15	3,59	
		Ж	150	85,22±0,41	71,47–96,27	5,96	
	IV	М	144	86,47±0,27	79,2–94,78	3,74	
		Ж	150	82,53±0,39	70,39–93,56	5,8	
	V	М	146	67,83±0,26	60,72–74,82	4,57	
		Ж	150	63,35±0,27	54,69–70,53	5,27	

При сравнении длин фаланг каждого пальца в отдельности для кистей мужчин (F=542, 2-1222,4, p<0,05) и женщин (F=315-1340,7, p<0,05) установлены следующие

закономерности: для проксимальных фаланг – III>IV>II>V>I, средних фаланг – III>IV>II>V, дистальных фаланг – I>IV>III>II>V. При сравнении длин каждого пальца в отдельности для кистей мужчин (F=3064, p<0,05) и женщин (F=2041,3, p<0,05) установлены следующие закономерности: III>IV>II>V>I, что соответствует пальцевой формуле высших приматов, как общего признака [1, 16].

По результатам анализа выявлено наличие ряда множественных, статистически высоко значимых различий в корреляционных матрицах показателей длины фаланг и пальцев кистей как у мужчин, так и женщин (табл. 2). У мужчин выявлена сильная корреляционная связь между длиной проксимальных фаланг и длиной I-V пальцами, между длиной средних и дистальных и соответствующих им пальцев выявлена умеренная корреляционная связь. В отличие от мужчин у женщин выявлена сильная корреляционная связь между длиной фаланг и длиной пальцев за исключением дистальных фаланг и V пальцев, для которых выявлена умеренная корреляционная связь. Такого рода половые различия в структурно-функциональной организации кисти, обусловленной конституциональными факторами, многими авторами прослежены в течение длительного периода онтогенеза [17-19].

Таблица 2

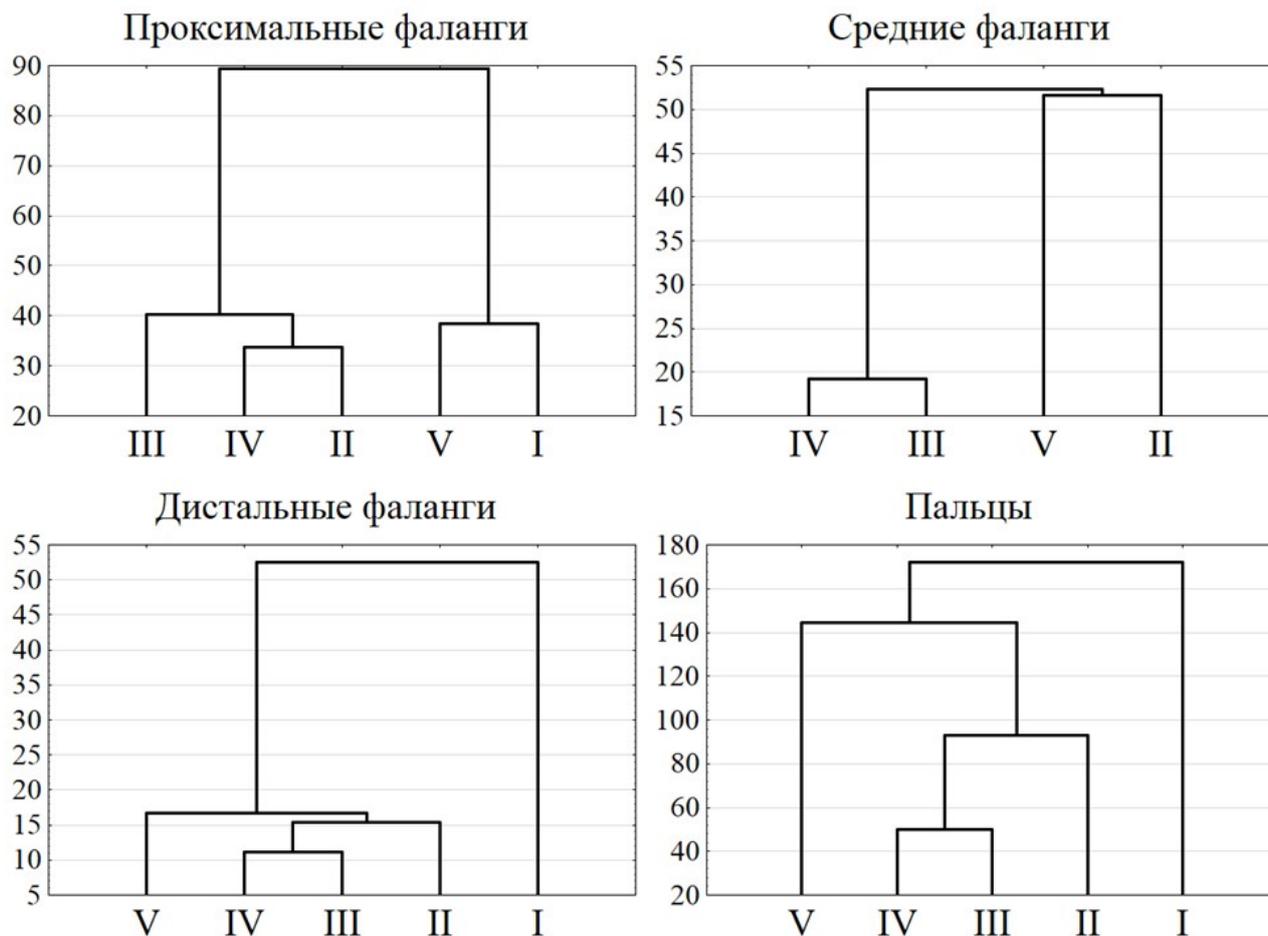
**Значения статистически значимых коэффициентов корреляции Пирсона (r) рентгено-морфометрических длин фаланг и пальцев кисти в зависимости от пола**

Фаланги	Пол	Пальцы				
		I	II	III	IV	V
Проксимальные	М	0,79	0,76	0,76	0,78	0,8
	Ж	0,9	0,94	0,91	0,96	0,95
Средние	М	-	0,66	0,7	0,72	0,64
	Ж	-	0,92	0,92	0,95	0,85
Дистальные	М	0,72	0,46	0,57	0,66	0,57
	Ж	0,83	0,77	0,77	0,85	0,69

Высокие значения коэффициентов корреляции между длиной пальцев и фаланг последних предполагают наличие линейной формы взаимосвязи изученных признаков. Взаимозависимость длины I пальца от длины отдельных фаланг имеет вид у мужчин  $P=1,22+1,02PF+0,99DF$  ( $PF_b=0,7$ ,  $DF_b=0,6$ ,  $p<0,05$ ) и у женщин  $P=1,38+PF+DF$  ( $PF_b=0,64$ ,  $DF_b=0,51$ ,  $p<0,05$ ), соответственно. Взаимозависимость длины II пальца от длины отдельных фаланг имеет вид у мужчин  $P=0,98PF+1,01CF+0,99DF$  ( $PF_b=0,69$ ,  $CF_b=0,5$ ,  $DF_b=0,32$ ,  $p<0,05$ ) и у женщин  $P=1,27+1,03PF+0,98CF+0,97DF$  ( $PF_b=0,54$ ,  $CF_b=0,34$ ,  $DF_b=0,22$ ,  $p<0,05$ ), соответственно. Взаимозависимость длины III пальца от длины отдельных фаланг имеет вид у мужчин  $P=0,99PF+1,03CF+0,97DF$  ( $PF_b=0,69$ ,  $CF_b=0,52$ ,  $DF_b=0,3$ ,  $p<0,05$ ) и у женщин  $P=1,62+0,99PF+1,02CF+0,98DF$  ( $PF_b=0,46$ ,  $CF_b=0,39$ ,  $DF_b=0,22$ ,  $p<0,05$ ), соответственно. Взаимозависимость длины IV пальца от длины отдельных фаланг имеет вид у мужчин  $P=1,56+0,96PF+CF+1,03DF$  ( $PF_b=0,61$ ,  $CF_b=0,47$ ,  $DF_b=0,34$ ,  $p<0,05$ ) и у женщин  $P=1,49+1,01PF+1,01CF+0,97DF$  ( $PF_b=0,48$ ,  $CF_b=0,37$ ,  $DF_b=0,21$ ,  $p<0,05$ ), соответственно. Взаимозависимость длины V пальца от длины отдельных фаланг имеет вид у мужчин  $P=1,01PF+1,02CF+1,01DF$  ( $PF_b=0,64$ ,  $CF_b=0,46$ ,  $DF_b=0,3$ ,  $p<0,05$ ) и у женщин  $P=1,2+PF+1,02CF+0,98DF$  ( $PF_b=0,59$ ,  $CF_b=0,34$ ,  $DF_b=0,21$ ,  $p<0,05$ ), соответственно. В ходе анализа установлено, что не зависимо от пола изменчивость длин фаланг как факторов, определяющих длину пальца, снижается в дистальном направлении в продольной оси и к локтевому краю в поперечной оси кисти. Полученные в результате регрессионного анализа математические модели свидетельствуют о высокой прогностической значимости рентгено-морфометрической длины отдельных фаланг пальцев кисти в контексте половой изменчивости и идентификации пола [20].

Структурная организация фаланг и пальцев кисти в зависимости от степени тесноты связи их длины представлена на рис. 1. Проксимальные фаланги организованы в три

кластера: первый кластер представлен наиболее взаимосвязанными по длине фалангами II и IV пальцев, которые на следующем уровне агломерации с фалангами III пальцев формирует второй кластер. Третий кластер представлен фалангами I и V пальцев. Средние фаланги организованы в два кластера, один из которых представлен фалангами III и IV пальцев, другой кластер представлен фалангами II и V пальцев. Для дистальных фаланг и пальцев кисти характерна более сложная организация, в которой наиболее взаимосвязанные дистальные фаланги и соответствующие им III и IV пальцы представляют первый кластер, который на следующем уровне агломерации с фалангами и соответствующими им II-ми пальцами представляет второй кластер, который в свою очередь с дистальными фалангами и соответствующими им V пальцами формирует третий кластер с последующей агломерацией с фалангами и соответствующими им I-ми пальцами.



**Рис. 1.** Результаты кластерного анализа взаимосвязей рентгено-морфометрической длины отдельных фаланг и пальцев кисти, не зависимо от пола методом полной связи (мера связи – Евклидово расстояние).

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенного исследования определена рентгено-морфометрическая изменчивость длины пальцев кисти человека их отдельных фаланг. Изменчивость длины как отдельных фаланг, так и пальцев возрастает от I пальца к V пальцу кисти. Рентгено-морфометрические длины фаланг и пальцев характеризуются независимо от пола закономерными формулами: длина проксимальных фаланг – III>IV>II>V>I, длина средних фаланг – III>IV>II>V, длина дистальных фаланг – I>IV>III>II>V, длина пальцев – III>IV>II>V>I. Степень взаимозависимости длины пальцев от длины отдельных фаланг как у мужчин, так и женщин снижается в дистальном направлении в продольной оси и к локтевому краю в поперечной оси кисти. Полученные данные могут использоваться при разработке инновационных анатомически обоснованных

антропоморфных роботизированных манипуляторов, при антропологических реконструкциях, при идентификации в судебно-медицинской практике.

**Автор заявляет об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования.**

## Литература

### References

1. Hrisanfova E. *Evolucionnaya morfologiya skeletal cheloveka*. Moskva: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1978.- 216s.
2. Wagner G, Chiu C. *The tetrapod limb: a hypothesis on its origin*. J. Exp. Zool. 2001;291(3):226-40. DOI: 10.1002/jez.1100.
3. Khayrullin RM, Fomina AV, Aynullova NK *Variabel'nost' znacheniy 2d:4d pal'tsevogo indeksa u dikikh i laboratornykh zhivotnykh*. Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 6-3. S. 611-618.
4. Fleagle J. *Primate Adaptation and Evolution*. 3rd ed. San Diego: Academic Press, 2013.- 464pp.
5. Marzke M, Marzke R. *Evolution of the human hand: approaches to acquiring, analyzing and interpreting the anatomical evidence*. J. Anat. 2000;197(1):121-40. DOI: 10.1046/j.1469-7580.2000.19710121.x.
6. Young R. *Evolution of the human hand: the role of throwing and clubbing* J Anat. 2003;202(1):165-74. DOI: 10.1046/j.1469-7580.2003.00144.x.
7. Napier J. *Hands*. Princeton: Princeton University Pres, 1993-. 200pp.
8. Shaparenko P, Luzheckij V. *Garmonicheskaya sorazmernost' chastej tela cheloveka i princip obobshchyonogo zolotog oshchekeniya*. Morfologiya. 1992;103(11-12):122-130.
9. Burton T, Vaidyanathan R, Burgess S, Turton A, Melhuish C. *Development of a parametric kinematic model of the human hand and a novel robotic exoskeleton*. IEEE Int. Conf. Rehabil. Robot. 2011;2011:5975344. DOI: 10.1109/ICORR.2011.5975344.
10. Slota G, Latash M, Zatsiorsky V. *Tangential finger forces use mechanical advantage during static grasping*. J. Appl. Biomech. 2012;28(1):78-84. DOI: 10.1123/jab.28.1.78.
11. Shaparenko P. *Princip proporcional'nosti v somatogeneze*. Vinnica, 1994.- 225s.
12. Khaïrullin R. *Segmental 2:4 digit ratio. unilateral, bilateral and hand-type differences in men*. HOMO - Journal of Comparative Human Biology. 2011. T. 62. № 6. С. 478-486.
13. Khayrullin RM, Filippova EN, Butov AA, Kasterina AV, Khayrullin FR, Zerkalova YuF. *Lineynye zavisimosti znacheniy pal'tsevogo (2d:4d) indeksa u lits muzhskogo pola*. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23: Antropologiya. 2011. № 2. S. 16-24.
14. Grigor'eva M, Anushkina E. *Rekonstrukciya dliny tela cheloveka po razmeram kisti*. Sudebno-medicinskaya ekspertiza. 2015;58(4):37-43. Doi: 10.17116/sudmed201558437-43.
15. Cihak R. *Ontogenesis of the skeleton and intrinsic muscles of the human hand and foot*. Berlin: Springer, 1972.- 194pp.
16. Danilova E. *Evoluciya ruki v svyazi s voprosami antropogeneza*. Kiev: Naukova Dumka, 1965.- 198s.
17. Khayrullin RM, Tikhonov DA, Mirin AA, Svitaylo MP. *Anatomo-antropologicheskie pokazateli fizicheskogo razvitiya i reproduktivnogo zdorov'ya yunoshey*. Morfologiya. 2009. T. 136. № 4. S. 146a.
18. Filippova EN, Khayrullin RM. *Individual'naya izmenchivost' morfometricheskikh parametrov pal'tsevykh dermatoglifov kisti*. Morfologiya. 2001. T. 120. № 4. S. 87-88.
19. Khayrullin RM. *Morfologicheskie tipy kisti v yunosheskom periode individual'nogo razvitiya*. Morfologicheskie vedomosti. 2001. № 1-2. S. 103-105.
20. Suvorov V. *Sudebno-medicinskoe opredelenie pola, dliny tela i prinadlezhnosti odnomu skeletu kostej verhnej konechnosti metodom matematicheskogo modelirovaniya*. Diss. kand. med. nauk. Barnaul, 1983.- 285s.

### Авторская справка

**Ермоленко Александр Сергеевич**, кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения, Ульяновский областной клинический центр специализированных видов медицинской помощи имени Е.М. Чучкалова, доцент кафедры анатомии человека, Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия; **e-mail: osteon@yandex.ru**