

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 611.717.8/.9:611.061.1

doi:10.18499/2225-7357-2023-12-1-29-36

3.3.1 – анатомия человека



Геометрический морфометрический анализ форм морфологических типов кисти человека по данным рентгенографии

А. С. Ермоленко ✉

Ульяновский областной клинический центр специализированных видов медицинской помощи имени заслуженного врача России Е.М. Чучкалова, Ульяновск, Россия

Аннотация. В настоящее время у человека соотношение указательного и безымянного пальцев (2D:4D ratio) определяет морфологически тип кисти: тип 1 или радиальный (2D>4D), тип 2 или неопределенный (2D=4D), тип 3 или ульнарный (2D<4D). Однако, вышеуказанные различия не позволяют осуществить морфологическую верификацию формы кисти как объекта в целом. **Цель исследования** – изучить формы кисти в зависимости от ее морфологического типа по данным рентгенографии с помощью геометрических морфометрических методов. **Материал и методы.** Геометрическая морфометрия включала анализ конфигураций форм кистей, описываемых 20 ориентирами, расположенными на цифровых изображениях рентгенограмм (передне-задняя проекция) 50 правых кистей мужчин и 50 правых кистей женщин. Каждая кисть была классифицирована в зависимости от того был ли указательный палец длиннее, равен или короче безымянного пальца, путем визуальной оценки. **Результаты.** Выявлены различия между формами кистей в поперечном направлении, при этом кисти ульнарного типа (U) являются более широкими, в то время как, кисти радиального типа (R) – более узкие. Кисти неопределенной формы в отличие от двух других обладают более овальной формой. Средняя форма кисти варьировала в зависимости от морфологического типа. Наиболее выраженные преобразования формы в поперечном направлении обусловлены геометрией пястных костей, а в продольном – геометрией II, IV и V пальцев. Межгрупповые различия по ширине выявлены между группой кистей радиально (R)-неопределенного (N) типов и ульнарным (U) типом, а по длине – между группой кистей радиального (R)-ульнарного (U) типов и неопределенного (N) типа. Аллометрия формы кисти минимальна. **Заключение.** Результаты исследования демонстрируют возможности геометрической морфометрии для анализа форм кисти человека и их изменчивость в зависимости от морфологического типа.

Ключевые слова: кисть человека, форма; изменчивость формы; геометрическая морфометрия; рентгенография

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ермоленко А.С. Геометрический морфометрический анализ форм морфологических типов кисти человека по данным рентгенографии // Журнал анатомии и гистопатологии. 2023. Т. 12, №1. С. 29–36. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2023-12-1-29-36>

ORIGINAL ARTICLES

Original article

Geometric Morphometric Analysis of the Human Hand Morphology Based on X-ray Imaging

А. С. Ermolenko ✉

Honored Doctor of Russia E.M. Chuchkalov Ulyanovsk Regional Clinical Center for Specialized Types of Medical Care, Ulyanovsk, Russia

Abstract. Currently, in humans, the ratio of the index and ring fingers (2D:4D ratio) determines the morphological type of the hand: type 1 or radial (2D>4D), type 2 or neutral (2D=4D), type 3 or ulnar (2D<4D). However, the above differences do not allow for morphological verification of the hand shape as a whole. **The aim** of the study was to inspect the hand shapes depending on its morphology based on radiographical images with geometric morphometric methods. **Material and methods.** Geometric morphometry included an analysis of the right hand shape described by 20 landmarks located on digital radiographic images (anterior-posterior projection) in 50 males and 50 females. Each hand was classified according to whether the index finger was longer, equal to, or shorter than the ring finger by visual assessment. **Results.** The study revealed differences between the hand shapes in the transverse direction, namely, the hands of the ulnar type (U) were wider,

while the hands of the radial type (R) were narrower. The hands of neutral shape, unlike the other two types, were more oval in shape. In average, the hand shape depended on the morphological type. The most pronounced shape transformations were due to the geometry of the metacarpal bones in the transverse direction, and due to the geometry of the II, IV and V fingers in the longitudinal direction. Intergroup differences in width were revealed between the group of hands of radial (R)-neutral (N) types and ulnar (U) type, and in length between the group of hands of radial (R)-ulnar (U) types and neutral (N) type. The allometry of the hand shape was minimal.

Conclusion. The results of the study demonstrate the potentials of geometric morphometry for analysis of the human hand shapes and their variability depending on the morphological type.

Keywords: human hand, shape; shape variability; geometric morphometry; radiography

Conflict of interests: the author declares no conflict of interests.

For citation: Ermolenko A.S. Geometric morphometric analysis of the human hand morphology based on X-ray imaging. Journal of Anatomy and Histopathology. 2023. V. 12, №1. P. 29–36. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2023-12-1-29-36>

Введение

Критерием морфологического разнообразия кистей у человека служит соотношение длин указательного и безымянного пальцев относительно друг друга в продольной оси кисти (т.н. пальцевой индекс или digit ratio – $D2:D4$), которое определяет морфологический тип кисти. Впервые понятие и критерии морфологических типов кисти ввел А. Ecker (1875), который также описал их филогенетические, расовые и индивидуальные особенности [4]. Впоследствии М.В. Волоцкий (1935) предложил номенклатуру морфологических типов кисти: ульнарный тип ($D4 > D2$), радиальный тип ($D2 > D4$), неопределенный тип ($D2 = D4$) [2]. В 2008 году J. Robertson с соавт. предложили классификацию кистей в соответствии с тем, был ли указательный палец длиннее (тип 1), равен (тип 2) или короче безымянного пальца (тип 3), путем визуального сравнения контуров мягких тканей кончиков пальцев на рентгенограммах [8]. С типом кисти тесно взаимосвязаны ее внешние морфологические характеристики. Кисти ульнарного типа ($D4 > D2$) широкие и короткие, в то время как кисти радиального типа ($D2 > D4$) более узкие [5]. Оценка внешних различий кистей чаще всего основывалась на анализе соотношения длин указательного и безымянного пальцев [14]. Однако, вышеуказанные различия не давали объективных представлений об изменчивости кисти в контексте вариаций (изменчивость какого-либо морфологического признака у разных единиц изучаемой совокупности в один и тот же промежуток времени) формы последней [15].

В последнее время для оценки изменчивости форм биологических объектов применяется метод геометрической морфометрии, разработанный для устранения недостатков классических линейных, объемных или площадных методов морфометрии, результаты которых дают косвенное представление о геометрии изучаемого объекта или его части, что приводит к трудностям в интерпретации пространственных соотношений [1]. В геометрической морфометрии для исследования морфопространства объектов и оценки изменчивости формы используются ориентиры на основе 2D или 3D графических изображе-

ний, которые являются координатными точками, используемыми для представления формы (требуется несколько точек), и количественно определяются как Декартовы (т.е. x , y , z) координаты [3]. Аналитические возможности геометрической морфометрии позволяют сохранить полную информацию об относительной пространственной конфигурации ориентиров на протяжении всего анализа с использованием свойств пространства Кендалла [11].

В этом исследовании использовался метод геометрической морфометрии для оценки изменчивости формы кисти в зависимости от ее морфологического типа. Гипотеза состояла в том, что различия между морфологическими типами кисти проявляются не только в различном пальцевом индексе, но и в других морфологических аспектах, одним из которых является форма. Целью настоящего исследования явилось изучение формы кисти в зависимости от ее морфологического типа по данным рентгенографии с помощью геометрических морфометрических методов.

Материал и методы исследования

Объектом исследования явились цифровые изображения рентгенограмм кистей (прямая проекция, пальцы в положении приведения) 100 человек (50 мужчин и 50 женщин) из архива цифровых изображений отделения лучевой диагностики ГУЗ «Ульяновский областной клинический центр специализированных видов медицинской помощи им. заслуженного врача России Е.М. Чучкалова». Критериями включения в исследование являлись отсутствие на цифровых изображениях рентгенограмм кистей нарушения целостности костей, аномалий развития, деформаций и костно-суставной патологии. Средний возраст мужчин составил $46,3 \pm 1,1$ года, а женщин – $49,2 \pm 0,9$ года. Каждая кисть была классифицирована в зависимости от того, был ли указательный палец длиннее, равен или короче безымянного пальца, путем визуальной оценки расположения точек на бугристости дистальных фаланг соответствующих пальцев относительно друг друга (рис. 1). С целью минимизации ошибок все измерения выполнены одним исследователем.

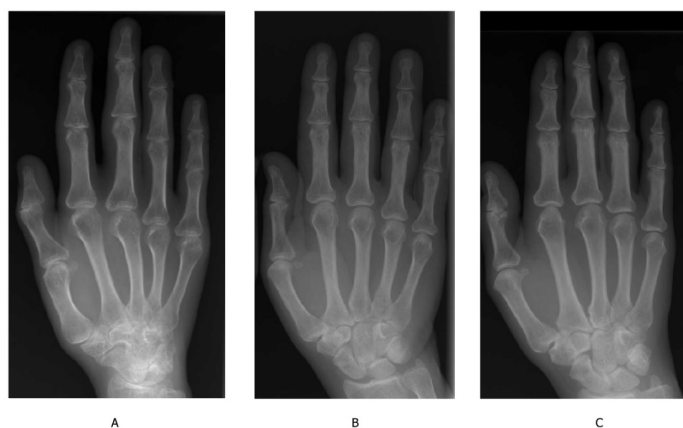


Рис. 1. Типы кистей на изображениях рентгенограмм: А – тип 1 или радиальный (R), В – тип 2 или неопределенный (N), С – тип 3 или ульнарный (U).
Fig. 1. Types of hands on radiographic images: A – type 1 or radial (R), B – type 2 or neutral (N), C – type 3 or ulnar (U).

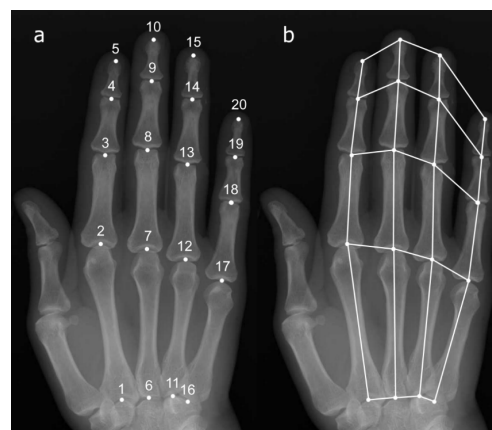


Рис. 2. Расположение (а) и каркасная схема (b) ориентиров.
Fig. 2. Location (a) and a framed structural diagram (b) of anatomical landmarks.

Таблица 1 / Table 1
Описание ориентиров
Description of landmarks

Ориент- тиры № п.п.	Определение
1.	Второй запястно-пястный сустав
2.	Пястно-фаланговый сустав II пальца
3.	Проксимальный межфаланговый сустав II пальца
4.	Дистальный межфаланговый сустав II пальца
5.	Кончик дистальной фаланги II пальца
6.	Третий запястно-пястный сустав
7.	Пястно-фаланговый сустав III пальца
8.	Проксимальный межфаланговый сустав III пальца
9.	Дистальный межфаланговый сустав III пальца
10.	Кончик дистальной фаланги III пальца
11.	Четвертый запястно-пястный сустав IV
12.	Пястно-фаланговый сустав IV пальца
13.	Проксимальный межфаланговый сустав IV пальца
14.	Дистальный межфаланговый сустав IV пальца
15.	Кончик дистальной фаланги IV пальца
16.	Пятый запястно-пястный сустав
17.	Пястно-фаланговый сустав V пальца
18.	Проксимальный межфаланговый сустав V пальца
19.	Дистальный межфаланговый сустав V пальца
20.	Кончик дистальной фаланги V пальца

На каждом цифровом изображении рентгенограммы кисти с использованием программного обеспечения tpsDig2 расположено 20 ори-

ентиров (рис. 2) [18]. В таблице 1 представлено описание ориентиров, размещенных на цифровых изображениях рентгенограмм кистей.

Геометрический морфометрический анализ был выполнен с использованием MorphoJ 1.07a [9]. После импорта файла с координатами ориентиров (.tps) выполнено Прокрустово выравнивание, которое представляет собой процедуру усреднения положения точек с использованием изометрического поворота каждого набора ориентиров для максимально возможного совмещения образуемых фигур. Это необходимо для определения оптимальной средней конфигурации ориентиров с целью исключения из последующего анализа данных, не имеющих отношения к форме кисти (изометрического размера, положения и ориентации в пространстве) [12]. Размер исследованных кистей выражался в виде центроидного размера (CS), который является наиболее распространенным показателем в геометрической морфометрии.

Для определения влияния размера на форму (аллометрия) была проведена многомерная регрессия с использованием размера центроида как независимой переменной и Прокрустова расстояния в качестве зависимой переменной формы [10]. Кроме того, был проведен тест на перестановку с использованием 10000 итераций для оценки значимости влияния размера на форму.

Для визуальной оценки общей изменчивости форм морфологических типов кисти в пространстве относительно друг друга был проведен анализ главных компонент (principal component analysis, PCA) с использованием ковариационных матриц вариации формы.

Для оценки значимости различий между формами кистей каждого морфологического типа был проведен анализ Procrustes ANOVA – метод количественной оценки

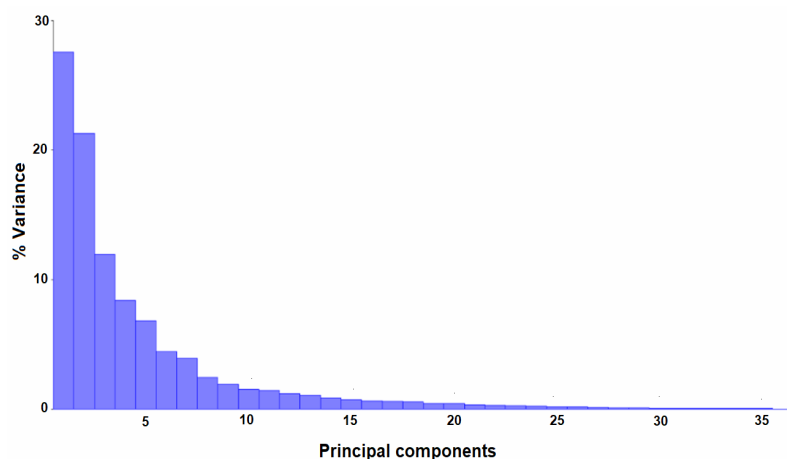


Рис. 3. Доля общей дисперсии формы кисти, объясненная каждой главной компонентой.
Fig. 3. Proportion of the total hand shape variance explained by each principal component.

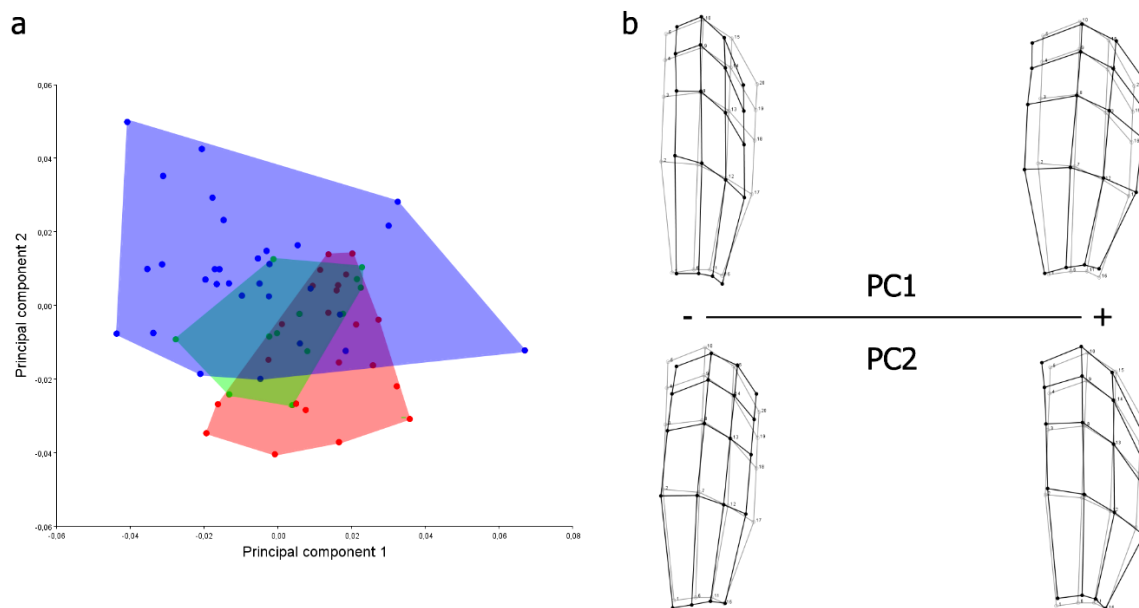


Рис. 4. Закономерности изменения конфигураций формы кисти в морфопространстве (а). Изменения формы кисти относительно средней конфигурации вдоль осей PC1 и PC2 (величина -0,1 и +0,1 для PC1 и PC2 соответственно) на основании данных ковариационных матриц прокрустовых координат (б).
Fig. 4. Patterns of transformations in hand shape configurations in morphospace (a). Transformations in hand shapes relative to the mean configuration along the PC1 and PC2 axes (values -0.1 and +0.1 for PC1 and PC2, respectively) based on Procrustean covariance matrix data (b).

относительных величин вариации изучаемых объектов при помощи прокрустовых расстояний (F-критерий Goodall).

Для оценки и визуализации особенностей, которые наилучшим образом позволяют различать форму каждого морфологического типа кисти был проведен канонический вариационный анализ (canonical variate analysis, CVA). CVA является в некотором смысле аналогом дискриминантных функций и рассматривает вариации между группами в системе координат, которая модифицирована таким образом, чтобы внутригрупповые вариации были изотропными. Для количественной оценки различий между формами морфологических типов кисти по результатам CVA использовано расстояние Mahalanobis (мера расстояния между векторами случайных величин).

Результаты и их обсуждение

В результате PCA конфигураций форм кистей, выровненных по Прокрусту, доля общей вариации формы была объяснена 34 главными компонентами (principal component, PC), из которых на первые две приходилось больше половины вариаций формы (PC1=32.4%; PC2=20,3%) (рис. 3). Остальные 32 PC были проигнорированы, поскольку они мало способствовали общей вариации, а их соответствующие особенности формы становились все более трудными для интерпретации с точки зрения морфологии.

Кисти радиального и ульнарного морфологических типов хорошо дифференцировались по первым двум PC, в то время как кисти неопределенного типа находились в области перекрытия между формами первых

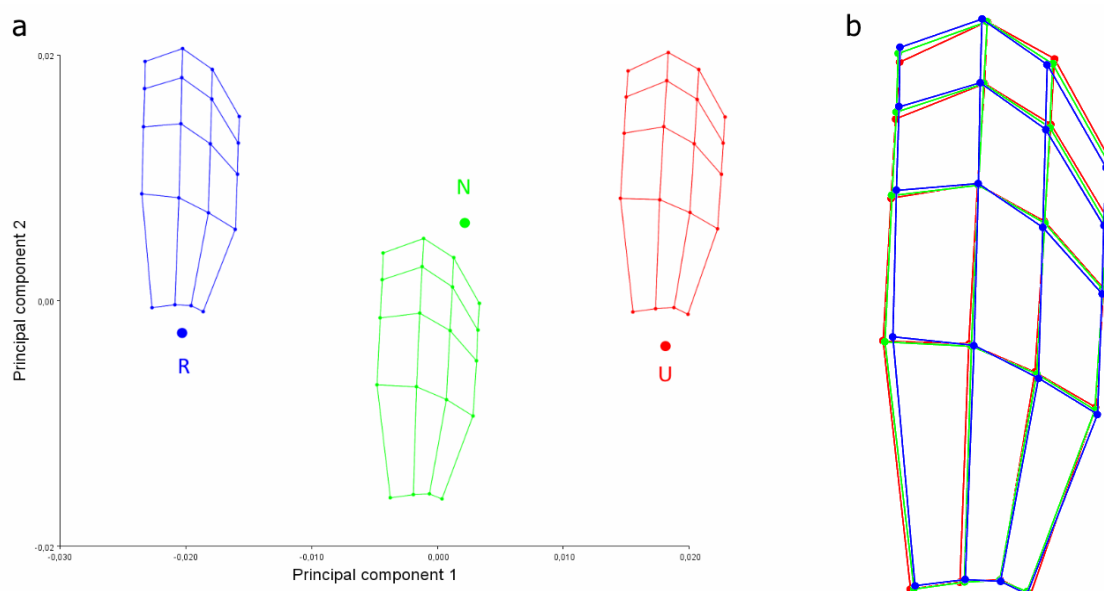


Рис. 5. Различия между усредненными формами кистей различных морфологических типов (а). Каркасное представление вариаций форм кистей (б) (эффект размера устранен).

Fig. 5. Differences between the average hand shapes of different morphological types (a). Framed structural representation of hand shape variations (b) (size effect eliminated).

Таблица 2 / Table 2

Оценки значимости между типами кисти по размеру и форме
Significance estimates between hand types by size and shape

Показатели	Эффект	SS	MS	df	F	p
CS	Тип кисти	68,3626	34,1813	2	0,6	0,6247
	Пол	776,189079	776,189079	1	13,64	0,0461
	Тип кисти+Пол	113,791142	56,895571	2	4,28	0,0167
	Остаточный	1250,022441	13,298111	94	—	—
Форма	Тип кисти	0,03068795	0,0004262216	72	3,97	<0,0001
	Пол	0,00751047	0,0002086241	36	1,95	0,0084
	Тип кисти+Пол	0,0077207	0,000107232	72	2,93	<0,0001
	Остаточный	0,12376601	0,0000365739	3384	—	—

Примечание: SS – сумма квадратов Прокурста; MS – средняя квадратов Прокурста; df – степени свободы; F – F-критерий Goodall.

Note: SS – Procrustes's sum of squares; MS – Procrustean mean of squares; df – degrees of freedom; F – Goodall F-test.

двух типов кистей (рис. 4а). Изменения вдоль PC1 связаны с деформацией морфопространства в поперечной оси кисти. Наибольшая трансформация относительно эталонной (усредненной) формы вдоль PC1 выявлялась для II пястной кости и фаланг II пальца (ориентиры 2–5), III пястной кости (ориентиры 6 и 7), IV пястной кости и фаланг IV пальца (ориентиры 11, 13–15), V пястной кости и фаланг V пальца (ориентиры 16–20). Деформация морфопространства вдоль PC1 характеризовалась сжатием в областях вышеуказанных ориентиров в случае радиального типа кисти (более низкие значения прокрустовых координат, PC1-), и растяжением – в случае ульнарного типа кисти (более высокие положительные значения прокрустовых координат, PC1+) (рис. 4б).

Изменения вдоль PC2 были связаны с деформацией морфопространства вдоль продольной оси кисти. Наибольшая трансформация относительно эталонной (усредненной) формы вдоль PC2 выявлялась для II пястной кости и фаланг II пальца (ориентиры 2–5),

III пястной кости и фаланг III пальца (ориентиры 6–12), V пястной кости и фаланг V пальца (ориентиры 16–20). Деформация морфопространства вдоль PC2 характеризовалась сжатием (относительным укорочением формы) в областях вышеуказанных ориентиров в случае ульнарного типа (более низкие значения прокрустовых координат, PC1-) и растяжением (относительным удлинением формы) в случае радиального типа (более высокие положительные значения прокрустовых координат, PC1+) кисти (рис. 4б).

Средняя форма кисти варьировала в зависимости от ее морфологического типа. При этом различия форм ульнарного и радиального типов кисти наблюдались вдоль оси PC1, а различия формы неопределенного типа по сравнению с формами ульнарного и радиального типов наблюдались вдоль оси PC2 (рис. 5).

ANOVA Procrustes демонстрировала значительные различия между типами кистей по форме не зависимо от пола, которые были подтверждены после выполнения теста

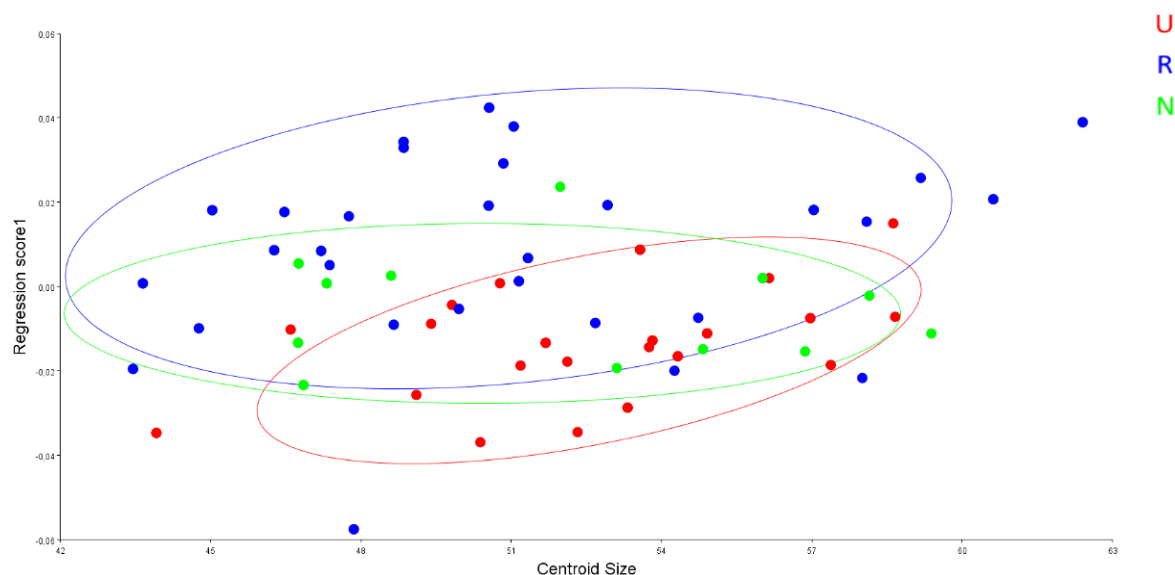


Рис. 7. Многомерная регрессия формы кисти в зависимости от центроидного размера.
Fig. 7. Multivariate regression of the hand shape depending on the centroid size.

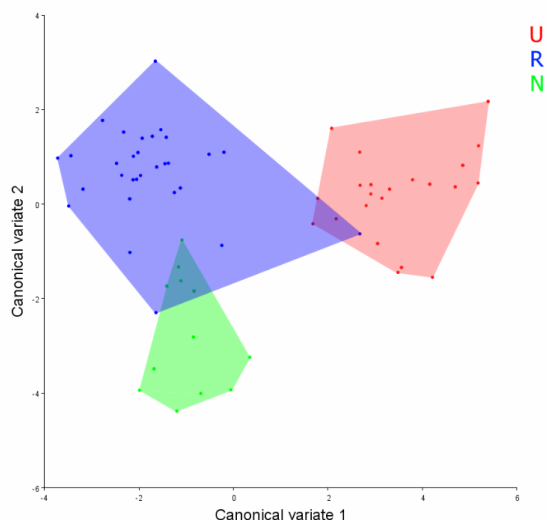


Рис. 6. График канонического вариационного анализа форм кистей.
Fig. 6. Diagram of variational canonical analysis of the hand shapes.

парных перестановок по расстояниям Прокруста между группами (табл. 2).

Результаты CVA демонстрировали различия между формами кистей всех трех типов по первым двум каноническим вариациям (canonical variate, CV) (рис. 6). На долю CV1 приходилось 80,5% вариаций формы, а долю CV2 – 19,5% соответственно. Первые две CV продемонстрировали полное разделение формы кистей всех трех морфологических типов. Наиболее выраженные различия выявлялись между кистями радиального (R) и ульнарного (U) (расстояние Mahalanobis = 5,3778, $p < 0,0001$), а также ульнарного (U) и неопределенного (N) (расстояние Mahalanobis = 5,3396, $p < 0,0001$) типов. Слабые различия выявлялись между кистями ради-

ального (R) и неопределенного (N) (расстояние Mahalanobis = 3,2984, $p < 0,0001$) типов.

Многомерная регрессия показала 4,94% аллометрии с выраженным значением перестановки 10000 ($p = 0,0001$), что указывает на преобладание неаффинных (не связанных с размером объекта) трансформаций форм морфологических типов кисти (рис. 7).

Большинство исследований формы кисти базируется на анализе ее продольных или поперечных размеров, полученных в результате прямых или не прямых (фотографии, отпечатки) измерений. В этом исследовании для сравнения и оценки формы кисти в зависимости от ее морфологического типа использованы геометрические морфометрические методы, которые в отличие от традиционной морфометрии позволяют не косвенно, а наглядно дать качественную и количественную оценку изменчивости формы кисти. Большая часть вариаций формы кисти обусловлена аффинными трансформациями, при которых кисть изменяется в целом (езде одинаково). Наблюдается однородное изменение геометрии как пясти, так и пальцев. Изменчивость аффинного компонента формы обусловлена, главным образом, размерами кисти – продольные размеры преобладают над поперечными и находятся в пропорциональной зависимости. Это утверждение согласуется с общей тенденцией у гоминид, у которых диафизарные размеры поперечного сечения в несущих вес элементах скелета увеличиваются с увеличением массы тела [6]. Эта взаимосвязь формы с размером известна как аллометрия [16, 17].

В отличие от аффинной трансформации, объясняющей меньшую часть вариаций формы кисти, неаффинная трансформация, рассматриваемая как изменение, последовательно затрагивающее несколько ориентиров,

меняющих свое положение одновременно, но неравномерно в разных направлениях, объясняют большую часть изменчивости формы кисти. Неаффинная трансформация, которая в меньшей степени связана с изменчивостью размера, контрастно представлена изменениями положения фаланг II, IV и V пальцев в пространстве. Локальные изменения, которые наблюдаются в пространственной ориентации фаланг отдельных пальцев, представляют собой отдельные единицы изменчивости формы кисти и обуславливают ее морфологический тип.

Интерпретируя результаты данного исследования, можно предположить, что аффинная трансформация во времени и пространстве обусловлена действием клеток в области апикального эктодермального гребня, расположенного на дистальном конце каждого пре-зупптивного зачатка верхней конечности, и действующего как главный сигнальный центр, обеспечивая правильную дифференцировку, развитие и рост конечности, в том числе и энхондральных зачатков пальцев [13, 19]. На следующих этапах онтогенеза влияние некоторых морфогенетических факторов, а также половых гормонов обуславливает неаффинную трансформацию в пространстве, связанную с положением в пространстве отдельных пястных костей и фаланг пальцев и как следствие формированием одного из трех морфологических типов кисти [7]. Вариации формы кисти, обусловленные геометрией крайних лучей (II, V пястных костей и соответствующих им пальцев), обусловлены гетерохронией, а также ульнарно-радиальной направленностью процессов развития и роста элементов лучей [20].

Заключение

Результаты проведенного исследования демонстрируют, что форма кисти человека заметно связана с ее морфологическим типом. Форму кистей неопределенного типа можно расценивать как усредненную между ульнарным и радиальным типами. Это первое исследование с использованием геометрических морфометрических методов для оценки соответствия между формой и морфологическим типом кисти по данным рентгенографии. Полученные результаты открывают новые возможности для изучения и оценки морфологического разнообразия кисти человека.

Список источников / References

1. Павлинов И.Я., Микешина Н.Г. Принципы и методы геометрической морфометрии. Журнал общей биологии. 2002;63(6):473–93. Pavlinov IYa, Mikesheina NG. Printsipy i metody geometricheskoi morfometrii. Journal Of General Biology. 2002;63(6):473–93. (In Russ.).
2. Синева И.М., Бахолдина В.Ю. Остеологические данные к проблеме антропологического изучения кисти человека. Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология. 2012;2:4–16. Sineva IM, Baholdina VYu. Osteological Data to the Anthropological Investigation of Human Hand. Lomonosov Journal Of Anthropology (Moscow University Anthropology Bulletin). 2012;2:4–16.
3. Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the “revolution.” Italian Journal of Zoology. 2004 Jan;71(1):5–16. doi: 10.1080/11250000409356545
4. Barrett CK, Case DT. Use of 2D:4D Digit Ratios to Determine Sex. Journal of Forensic Sciences. 2014 Feb 19;59(5):1315–20. doi: 10.1111/1556-4029.12450
5. Blincoe H. Significant types of hands related to distal extent of digits. The Anatomical Record. 1959 Mar;133(3):527–35. doi: 10.1002/ar.1091330306
6. Cooper KL. Developmental and Evolutionary Allometry of the Mammalian Limb Skeleton. Integrative and Comparative Biology. 2019 Jun 10;59(5):1356–68. doi: 10.1093/icb/icz082
7. Guéro S. Developmental biology of the upper limb. Hand Surgery and Rehabilitation. 2018 Oct;37(5):265–74. doi: 10.1016/j.hansur.2018.03.007
8. Kalichman L, Batsevich V, Kobylansky E. 2D:4D finger length ratio and radiographic hand osteoarthritis. Rheumatology International. 2017 Oct 20;38(5):865–70. doi: 10.1007/s00296-017-3831-1
9. Klingenberg CP, MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. Molecular Ecology Resources. 2010 Oct 5;11(2):353–7. doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
10. Klingenberg CP. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. Development Genes and Evolution. 2016 Apr 1;226(3):113–37. doi: 10.1007/s00427-016-0539-2
11. Klingenberg CP. Walking on Kendall's Shape Space: Understanding Shape Spaces and Their Coordinate Systems. Evolutionary Biology. 2020 Aug 18;47(4). doi: 10.1007/s11692-020-09513-x
12. Landi F, O'Higgins P. Applying Geometric Morphometrics to Digital Reconstruction and Anatomical Investigation. Advances in Experimental Medicine and Biology. 2019;1171:55–71. doi: 10.1007/978-3-030-24281-7_6
13. Lau K, Tao H, Liu H, Wen J, Sturgeon K, Sorfazlian N, et al. Anisotropic stress orients remodeling of mammalian limb bud ectoderm. Nature Cell Biology. 2015 Apr 20;17(5):569–79. doi: 10.1038/ncb3156
14. Manning JT, Fink B. Digit Ratio. Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science. 2018;1–12. doi: 10.1007/978-3-319-16999-6_3829-1
15. Neha. Sizing the Shape: Understanding Morphometrics. Journal of Clinical and Diagnostic Research. 2015;9:ZC21-6. doi: 10.7860/JCDR/2015/8971.5458
16. Outomuro D, Johansson F. A potential pitfall in studies of biological shape: Does size matter? Behmer S, editor. Journal of Animal Ecology. 2017 Sep 6;86(6):1447–57. doi: 10.1111/1365-2656.12732
17. Pélabon C, Firmat C, Bolstad GH, Voje KL, Houle D, Cassara J, et al. Evolution of morphological allometry. Annals of the New York Academy of

- Sciences. 2014 Jun 9;1320(1):58–75. doi: 10.1111/nyas.12470
18. Rohlf FJ. The tps series of software. Hystrix. It. J. Mamm. 2015;26(1):9–12. doi: 10.4404/hystrix-26.1-11264
19. Sheeba CJ, Andrade RP, Palmeirim I. Mechanisms of vertebrate embryo segmentation: Common themes in trunk and limb development. Seminars in Cell & Developmental Biology. 2016 Jan;49:125–34. doi: 10.1016/j.semcdb.2016.01.010
20. Tickle C. How the embryo makes a limb: determination, polarity and identity. Journal of Anatomy. 2015 Aug 7;227(4):418–30. doi: 10.1111/joa.12361

Информация об авторе

✉Ермоленко Александр Сергеевич – врач; Ульяновский областной клинический центр специализированных видов медицинской помощи имени заслуженного врача России Е.М. Чучкалова; ул. Крюкина, 28, Ульяновск, 432071, Россия; osteon@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2163-7911>

Information about the author

✉Aleksandr S. Ermolenko – doctor; Honored Doctor of Russia E.M. Chuchkalov Ulyanovsk Regional Clinical Center for Specialized Types of Medical Care; ul. Kryukina, 28, Ulyanovsk, 432071 Russia; osteon@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2163-7911>

Статья поступила в редакцию 11.12.2022; одобрена после рецензирования 1.03.2023; принята к публикации 20.03.2023.
Submitted 11.12.2022; Revised 1.03.2023; Accepted 20.03.2023.
