

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИЦЕВОГО ЧЕРЕПА КАК ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ КРАНИОМЕТРИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ

А.А. Евтеев

МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, Москва

Целью настоящего исследования было проведение анализа корреляционной структуры значительного числа измерительных признаков лицевого черепа, традиционных и малоизвестных, в поисках возможностей оптимизации программы краниометрических исследований. Для этого решались задачи выяснения потенциальной «работоспособности» неиспользуемых в настоящее время признаков и демонстрации «избыточности» некоторых признаков, в силу их высокой корреляции с другими. Материалом послужила выборка из 362 мужских черепов, представляющая различные краниологические варианты населения Земли. Черепы были измерены автором согласно программе, опубликованной ранее [Евтеев, 2010]. Всего анализировались 26 признаков стандартного бланка и 44 дополнительных признака. Использовались компонентный анализ и многомерное шкалирование. На первом этапе анализа была выявлена высокая степень корреляции всех признаков, описывающих выступание (профилировку) средней части лица и одновременно их низкая связь с большинством других признаков. Значительное своеобразие продемонстрировали показатели ширины лобных отростков верхнечелюстной кости и носовых костей. Корреляционное поле анализа, проведенного после исключения этих признаков, менее структурировано, т.е. не выявляется групп признаков, тесно связанных между собой и слабо – с остальными размерами. Прослеживается ряд тенденций, в числе которых своеобразие признаков, описывающих размеры входа в глазницу, в частности, высоты лобного отростка верхней челюсти и размеров верхней части скулового отростка той же кости, сагиттальной длины верхнечелюстной кости, не связанной напрямую с ее высотой или шириной. Выявлены низкая корреляция размеров хоан и ширины неба с большинством других размеров, своеобразие высотных размеров нижней части грушевидного отверстия, не связанных напрямую с высотой лица, отличие тенденций изменчивости и корреляции верхней и нижней части носовых костей и зависимость высоты лица от высоты альвеолярного отростка. Анализ с привлечением признаков нейрокраниума подтвердил высокую степень автономности двух основных отделов черепа. Однако такие признаки, как ширина основания черепа и поперечный диаметр оказались значительно более связаны с размерами лицевого отдела, нежели другие признаки нейрокраниума. Приводятся практические рекомендации, основанные на результатах проведенных анализов.

Ключевые слова: краниология; краниометрия; лицевой череп; корреляционная структура

Введение

Результаты любого морфометрического анализа, вне зависимости от его задач, напрямую зависят от примененного набора признаков [Ярхо, 1934; Алексеев, 1969; Oxnard, O'Higgins, 2009]. При использовании недостаточного количества признаков упускаются из внимания важные морфологические особенности объектов, а при использовании избыточного количества нарушается принцип «экономности»: в анализ закладываются несколько признаков, отражающих, по сути, один и тот же морфологический феномен [Бунак, 1960, с. 131; Trinkaus, 2006]. Кроме того, обширный набор признаков затрудняет интерпретацию и анализ результатов. Одним из способов решения этих проблем является анализ корреляционной структуры признаков [Рогинский, 1954; Бунак, 1960; Звягин, 1986; Бахолдина, 2007; Macdonell, 1904; Pearson, Woo, 1935]. При изучении морфологии лицевого скелета, набор признаков (точек) формируется в разных работах согласно разным принципам, и поэтому существенно различается [Алексеев, Дебец, 1964; Howells, 1989; Franciscus, 1995; Sardi et al., 2006; von Cramon-Taubadel, 2009]. О наличии методических трудностей свидетельствуют непрекращающиеся поиски новых признаков, несмотря на существование множества не используемых «старых». В учебнике Рудольфа Мартина приведено несколько десятков размеров лицевого скелета, практически никогда не используемых на практике [Martin, 1928]. В 20–30-е гг. XX в. краниометрическая программа была дополнена признаками, характеризующими горизонтальную профилировку лица [Woo, Morant, 1934; Schreiner, 1940; Абиндер, 1960] и строение носовой полости [Pitkin, 1924; Charles, 1930]. Первые прочно вошли в арсенал краниометрических исследований, вторые оказались практически забыты. В 1970–1990 гг. к этому прибавилось еще значительное количество размеров – новых и «хорошо забытых старых», описываемых в литературе под новыми названиями или в несколько измененном виде [Балуева с соавт., 1988; Gill, 1984; Howells, 1989; Franciscus, 1995; Lahr, 1996]. В последние годы вышел целый ряд работ, ставящих своей целью, так или иначе, дополнить существующую измерительную программу лицевого скелета [Бахолдина, Ковылин, 2005; Бахолдина, 2007; Евтеев, 2010; Lockwood et al., 2004]. Тем удивительнее выглядит резкая редукция набора признаков в практике краниометрических исследований, что особенно ярко проявляется при кратком описании наблюдаемых морфологических вариантов. Интересно отметить, что многие из неизменно

используемых признаков – скуловая ширина, угол выступления носа, углы горизонтальной профилировки, продольные размеры лица от точки *basion* – подвергались резкой критике классиками отечественной и мировой краниологии [Бунак, 1960; Гусева, 1965; Звягин, 1986; Enlow, Hans, 2008], но это никак не сказалось на их «популярности». Возможно, одной из причин такой ситуации является недостаточная изученность корреляционной структуры измерительных признаков лицевого скелета человека.

Средняя величина и размах попарных коэффициентов корреляции 15–20 наиболее часто используемых размеров хорошо известны [Pearson, Woo, 1935; Рогинский, 1954; Бунак, 1960; Гусева, 1965; Звягин, 1986; Ефимова, 1991]. Однако приводимые в этих работах данные далеко не всегда принимаются во внимание. В частности, анализ взаимосвязи признаков показал, что зигомасиллярный угол характеризует, прежде всего, выступание на уровне точки *subspinale*, а индексы переносья и угол выступления носа выражают одну и ту же морфологическую особенность. Это значит, что одновременное включение их в анализ является избыточным [Бунак, 1960, с. 130–131]. Работы Г.Ф. Дебеца [Дебец, 1951], Н.А. Абиндера [Абиндер, 1960] и М.В. Гусевой [Гусева, 1965] подтверждают, что компоненты углов горизонтальной профилировки практически не связаны между собой, а величина самих углов зависит почти полностью от степени выступления срединной точки. Кроме этого, высока их корреляция между собой. Данных о корреляционных взаимосвязях большинства «редких» признаков лицевого скелета, и тем более их связи с традиционными размерами, в целом очень немного [Бахолдина, 2007; Carey, Steegmann, 1981].

Необходимо также отметить, что подсчет попарных коэффициентов корреляции в наборе признаков не дает полного представления об их общей корреляционной структуре, которая анализируется методами многомерной статистики [Бахолдина, 2007; Павлинов с соавт., 2008]. Наконец, в подавляющем большинстве работ связи признаков анализируются внутри отдельных выборок, тогда как самое беглое знакомство с опубликованными результатами показывает, что уровень связи одних и тех же размеров существенно отличается в разных группах [Бунак, 1960; Алексеев, 1969; Алексеева, 1973]. Подобные межгрупповые отличия могут объясняться сужением внутригрупповой изменчивости по одному или нескольким признакам, а также «историческими» корреляциями, связанными со сложным составом изучаемой популяции.

В настоящей работе проведен анализ корреляционной структуры значительного числа измерительных признаков медиальной части лицевого скелета: традиционных, практически забытых, а также нескольких, предложенных самим автором [Евтеев, 2010]. Своеобразие медиальной части лицевого скелета (модуль «nasal») отмечалась практически всеми исследователями, начиная с самых ранних работ [Moss, Young, 1960; Cheverud, 1982; Enlow, Hans, 2008]. Ее ростовые процессы находятся, по-видимому, под жестким генетическим контролем и в отличие от альвеолярного отростка и скуловой кости менее подвержены эпигенетическим воздействиям в индивидуальном развитии [Бунак, 1960; Sarnat, 1973; Enlow, Hans, 2008; Holton et al., 2010]. Вероятно, вследствие этого признаки этой структуры отличаются очень высокими группоразграничительными возможностями. С практической точки зрения, медиальная часть лицевого скелета отличается хорошей сохранностью в краниологических сериях, тогда как скуловые дуги и альвеолярный отросток часто бывают повреждены или отсутствуют. В настоящей статье основное внимание будет уделено анализу возможности оптимизации краниометрической программы на основе полученных данных о взаимосвязи между признаками. Для достижения этого решались две основные задачи: выяснение потенциальной «работоспособности» некоторых неиспользуемых сейчас признаков и демонстрация «избыточности» некоторых признаков, в силу их высокой корреляции с другими размерами. Во втором случае особое внимание уделялось признакам, прочно вошедшим в краниометрическую практику, но подвергавшимся серьезной критике: скуловой ширине, углу выступления носа, углом горизонтальной профилировки и др.

Материалы и методы исследования

Материал. Объектом анализа стала выборка из 362 мужских черепов, представляющих различные краниологические варианты трех больших рас. Использование смешанной выборки, включающей примерно в равном количестве представителей разнообразных краниологических вариантов, представляется оправданным для анализа общей корреляционной структуры признаков на видовом уровне. Этот подход является традиционным в краниологических исследованиях, особенно изучающих биологические закономерности из-

менчивости строения черепа человека [Бахолдина, 2007; Hennessy, Stringer, 2002; Roseman, Weaver, 2004; Badawi-Fayad, Cabanis, 2007; Maddux, 2011; Bastir, Rosas, 2013]. Состав использованной выборки приведен в табл. 1. В большинстве случаев определение пола производилось автором визуально на основании суммы диморфных морфологических признаков черепа [Алексеев, Дебец, 1964; White, Folkens, 2000]. Исключение составляют выборки североамериканских индейцев и норвежцев, где половая принадлежность документирована, серия из Калининграда, состоящая из солдат наполеоновской армии, и выборки из Козино, где пол определялся по всему скелету.

Набор признаков. В рамках данной статьи мы не излагаем принципы отбора признаков для анализа – они были описаны в опубликованной ранее статье [Евтеев, 2010]. Нумерация признаков полностью соответствует таковой в работе 2010 г., там же приведены их принятые названия и методика измерения. В тех случаях, когда признак под одним номером включает в себя хорду и проекционную высоту над ней, хорда обозначается дополнительно буквой «а», высота – «b» (например, 2-3a и 2-3b). Кроме этого, несколько признаков были введены дополнительно; первые три из них характеризуют сагиттальный размер верхнечелюстной кости:

- 6-1: расстояние от *nasomaxillare* до точки пересечения *sutura pterygopalatina* с крылом сошника
 - 6-2: *nasomaxillare – hormion*
 - 6-3: *conchale – S* (точка пересечения *sutura pterygopalatina* и *crista conchalis*)
 - 6-4: *nasospinale – alveolare* (высота альвеолярного отростка)
 - 6-5: проекционное расстояние от точки *maxillofrontale* до линии, соединяющей верхние края орбит.
- Размер 3-4 измерялся от точки *F*, а не от точки *zygoorbitale*.

Наряду с этим анализировалась значительная часть признаков стандартного краниометрического бланка [Алексеев, Дебец, 1964]. В работу не были включены размеры нижней челюсти, углы, измеряемые гониометром, размеры БЗО, а также признаки: 1a, 10, 12, 23a, 24, 25, 46, 47, 62, 63, 51a, 20, FC, размеры скуловой кости по Бу. Угол 75(1) высчитывался тригонометрически. Зигомаксиллярная ширина и высота точки *subspinale* над ней использовались в анализе как отдельные признаки (3-2a и 3-2b), наряду с зигомаксиллярным углом.

Таблица 1. Этнотерриториальный состав исследованных выборок

Наименование серии	N	Место хранения
Абхазы, Яшу-Аху	14	НИИ МА*
Армяне, Бингель Даг	15	НИИ МА
Буряты, Кяхтинский р-н	15	МАЭ**
Ибо (игбо), Юго-Восточная Нигерия	18	ННМ
Индейцы США и Канады	20	ННМ***
Ирани, иранская колония близ Самарканда	14	НИИ МА
Солдаты наполеоновской армии, Калининград	15	НИИ МА
Калмыки	15	НИИ МА
Китайцы, Северный Китай	18	11 – НИИ МА, 7 – ННМ
Корейцы	4	НИИ МА
Латыши, Лудза	15	НИИ МА
Малайцы и яванцы, Малайский архипелаг	13	НИИ МА
Монголы, Джунгария и Улан-Батор (Урга)	15	7 – НИИ МА, 8 – МАЭ
Негры различных племен, Англо-Египетский Судан	12	МАЭ
Норвежцы	18	ННМ
Осетины, Кобань	15	НИИ МА
Русские, с. Козино, Московская обл.	15	НИИ МА
Турки, Балканский п-ов	10	НИИ МА
Ульчи	15	6 – НИИ МА, 9 – МАЭ
Финны, Гельсингфорс	14	НИИ МА
Ханты, Обдорск	15	НИИ МА
Шапсуги	11	НИИ МА
Эвенки, сборная серия	15	6 – НИИ МА, 9 – МАЭ
Эскимосы, Наукан	15	НИИ МА
Якуты	15	2 – НИИ МА, 13 – МАЭ
Японцы	1	НИИ МА

Примечания. * – НИИ и Музей антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова. ** – Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого РАН. *** – Музей естествознания, Лондон (Natural History Museum)

В некоторые размеры вводилась поправка путем вычитания другого размера, в этом случае к номеру добавлялась буква «А»:

- 2-3аА = 2-3а минус симметрическая ширина
- 2-4аА = 2-4а минус 1-3а
- 3-1аА = 3-1а минус 4-3
- 3-2аА = 3-2а минус ширина грушевидного отверстия, 54
- 6-1А = 6-1 минус 2-1b.

Статистические методы. На первом этапе была подсчитана *корреляционная матрица* для всех признаков. Распределение многих признаков в нашей выборке, включая некоторые признаки «стандартной» программы, отличается от нормального, однако матрицы корреляций Пирсона и Спирмена связаны на уровне 0.99 (тест Мантеля), поэтому из практических соображений использовались первые. Производилось попарное (pairwise) исключение недостающих данных, минимальное число наблюдений – 177. При использовании метода «casewise» получалась очень сходная таблица, связанная с таблицей «pairwise» коэффициентом матричной корреляции, равным 0.99 ($p=0.0002$), поэтому использовалась последняя как включающая данные по значительно большему числу наблюдений. На основе корреляционной матрицы была подсчитана *матрица корреляционных дистанций* [Павлинов и др., 2008; Pearson, Woo, 1935], где каждый коэффициент корреляции представлен в виде $1-|R|$. Корреляционная матрица использовалась для факторного анализа методом главных компонент (далее ГК), ротация главных компонент не применялась. Матрица корреляционных дистанций использовалась для проведения многомерного шкалирования (далее МШ). Число измерений определялось согласно рекомендации В.Е. Дерябина [Дерябин, 2001] – минимальное из тех, при которых величина стресса не превышает уровня 0.1. Два этих метода существенно отличаются по своей математической сути и способу подсчета расстояний между единицами анализа. Поэтому представляется, что их результаты будут дополнять и независимо подтверждать друг друга. Разумеется, при столь значительном числе признаков не все тенденции их совместной вариации были ясно отражены в пространстве первых двух измерений многомерных анализов. Поэтому существенное значение придавалось непосредственному анализу корреляционной матрицы, который позволил в ряде случаев существенно прояснить картину связи между признаками. Все приводимые далее в тексте попарные коэффициенты корреляции достоверны при уровне значимости 0.01, если не

указывается иное. Автор готов предоставить исходную корреляционную матрицу всем заинтересованным коллегам.

Результаты исследования

Рассматривая данные проведенных анализов в целом, можно отметить, что признаки стандартного бланка распределяются не на всем пространстве корреляционного поля, т.о. среди признаков дополнительной программы немало таких, которые слабо связаны с «традиционными» и могут, потенциально, нести дополнительную информацию о строении лицевого скелета. Эта тенденция проявляется, в той или иной степени, на графиках всех анализов (рис. 1–3).

На *первом этапе* были проанализированы взаимосвязи 65 признаков (21 стандартной программы, и 44 дополнительных), относящихся только к лицевому скелету. МШ было проведено в 6 измерениях, с показателем стресса 0.093. На рис. 1а представлено распределение признаков в пространстве первых двух измерений. В анализе ГК первая компонента описывает 28.04% общей изменчивости, вторая – 12.76%, в сумме две первые ГК – 40.8% (рис. 1б). Нужно отметить высокую степень сходства результатов анализов, проведенных двумя различными по своим математическим принципам методами (сравн. рис. 1а и б).

Все *показатели выступления лица в медианной плоскости*, начиная от границы лобных костей (2-4b) и до высоты *subspinale* над зигомаксиллярными точками (3-2b), формируют единый кластер, отчетливо противопоставляющийся всем другим признакам (рис. 1а, б; эллипс 1). Например, коэффициент корреляции (далее – R) признаков 2-1b и 2-3b составляет 0.7, тогда как 2-1b и 5-1 лишь -0.33. Связи между отдельными признаками внутри этого кластера ярче проявляются на графике МШ (рис. 1а). Можно отметить, что максиллофронтальная и дакриальная высоты, а также и назомаллярный угол, на графике МШ занимают «промежуточное» положение между симотической высотой, с одной стороны, и выступанием лобного отростка (2-3b), с другой. Углы горизонтальной профилировки на первом графике (без учета знака корреляции (рис. 1а) явно объединяются с другими показателями выступления. На втором же графике (рис. 1б) они занимают диаметрально противоположное положение. То есть, они связаны с абсолютными значениями

меньшего из входящих в них размеров сильной отрицательной корреляцией, тогда как величина хорды играет значительно меньшую роль. Например, для зигомаксиллярного угла и выступания точки *subspinale* над хордой $R=-0.92$, тогда как этого же угла и образующей его хорды $R=0.55$. Очевидно своеобразие *симотической ширины*, которое также лучше проявляется на графике МШ (рис. 1а). *Ширина носовых костей* на уровне точки инфраназия (1-3а) тесно связана с симотической шириной ($R=0.82$).

Другой кластер признаков, отчетливо выделяющийся на обоих графиках (рис. 1а и б; эллипс 2) – *широтные размеры лобных отростков верхнечелюстной кости*, включающие (МС, DC, 2-3а) или не включающие (2-3аА, 2-4аА) в себя ширину носовых костей. На графике МШ (рис. 1а) все эти признаки формируют единое скопление. Для МС и DC $R=0.89$. На графике же ГК (рис. 1б) МС и DC, а также 2-3а, они близки друг к другу, как и к ширине носовых костей, тогда как ширина лобных отростков как таковых (2-3аА, 2-4аА) располагается в противоположном квадранте графика. МС и 2-4аА связаны корреляцией средней силы ($R=0.45$), однако они примерно в равной мере связаны с шириной носовых костей – 1-3а: $R=0.54$ и -0.51 , соответственно. Таким образом, ширина носовых костей и лобных отростков верхней челюсти не являются вполне независимыми друг от друга признаками. Графики анализов с привлечением размеров нейрокраниума (рис. 3а и б; описание анализов см. далее) показывают, что ширина лобных отростков на обоих уровнях связана с наименьшей шириной лба (для МС $R=0.48$). В то же время связь 2-4аА с этим размером нейрокраниума заметно ниже ($R=0.14$).

Еще одна группа признаков, занимающих своеобразное положение на рис. 1а и б – *показатели длины лицевого скелета в медианной и параллельных ей плоскостях*: 4-1, 6-1, 6-2, 6-3 и 4-3. Более ясно взаимосвязь этих признаков с другими видна на графике ГК (рис. 1б; эллипс 3): они занимают, по сути, промежуточное положение между показателями профилировки лицевого скелета и общими размерами верхнечелюстной кости, будучи по значениям ГК1 ближе к первым, а ГК2 – ко вторым. Это совершенно логично, учитывая то, что эти размеры включают в себя два несвязанных компонента – степень выступления средней части лица и размеры тела верхней челюсти. Кроме этого, эти размеры связаны с длиной основания черепа ($R=0.84$ и 0.68 для 4-1 и 6-2). Показательно относительное расположение размеров 6-1 и 6-1А (6-1 минус 2-1b). Первый

удобнее при измерении и не нуждается во внесении поправки. Связь этих двух признаков с длиной основания лица (40) также значительна ($R=0.56$ и 0.6 , соответственно). Однако 5-1 значительно меньше, чем 40, связан с длиной альвеолярной дуги (0.5 против 0.73), как и с длиной основания черепа (0.46 и 0.61), и, таким образом, лучше отражает размеры верхней челюсти как таковой.

Высотные размеры передней поверхности верхней челюсти – верхняя высота лица (48), высота носа (55) и размер 4-6 – связаны между собой сильными корреляционными связями (R более 0.8) и располагаются на всех графиках очень близко (рис. 2а, б; эллипс 2). При этом верхняя высота лица связана значительно более тесной связью с *высотой альвеолярного отростка* ($R=0.74$ против около 0.3 у других двух размеров). Таким образом, в верхнюю высоту лица вносят примерно равный вклад два относительно независимых компонента.

Продольные размеры носовых костей (1-6, 1-7, 1-8 и 1-10) скоррелированы между собой и, в целом, связаны с высотой носа, хотя и не полностью зависят от нее (рис. 2а, б; эллипс 2). Очевидны определенные отличия общей длины этих костей (1-6) и длины их дистального участка (1-10) с одной стороны, и длиной их верхней части (1-7 и 1-8) – с другой. Последние два размера меньше связаны с высотой носа и верхней высотой лица (R порядка $0.5-0.6$ против $0.65-0.75$ для двух других размеров), а также с шириной носовых костей ($0-0.1$, недостоверно, против $-0.4-0.5$).

Ширина грушевидного отверстия относительно слабо скоррелирована с другими размерами лицевого черепа (рис. 2а, б; эллипс 3). Весьма своеобразными признаками оказались также редко используемые *высотные размеры грушевидного отверстия*, 4-12 и 4-13, а также ширина между точками *pariale* (4-10). Они не связаны с общей высотой лица, а 4-12 – также с шириной грушевидного отверстия ($R=0.14$, недостоверно, против 0.51 для 4-13). Другой признак, демонстрирующий своеобразие по данным всех проведенных во всех анализах – это *расстояние между точками nasomaxillare* (1-1а), максимальная корреляция с размером 4-8, $R=0.48$.

Общие размеры орбиты и высота лобного отростка верхней челюсти, образующего ее медиальный край, не образуют единого кластера (рис. 2а, б; эллипс 4), что подчеркивает «неоднородность» глазницы как морфологической структуры. *Ширина орбиты* (51) не связана напрямую ни с тотальными размерами верхней челюсти, ни с наименьшей шириной лба или по-

перечным диаметром черепа (рис. 3). Максимальный коэффициент корреляции связывает этот признак с верхней шириной лица ($R=0.66$). *Высота орбиты* (52) также занимает особое положение в корреляционном поле. Важно подчеркнуть отсутствие сильной связи с высотой носа или верхней высотой лица ($R=0.55$ и 0.56 , соответственно). Высота лобного отростка 2-5 довольно слабо связана с высотой глазницы ($R=0.46$), также этот размер меньше связан с общей высотой лица ($R=0.48$).

Ширина задней части неба (4-5, между *palatamaxillare laterale*) является в значительной мере своеобразным признаком. Максимальный коэффициент корреляции связывает его с шириной альвеолярной дуги ($R=0.61$), а также с высотой хоан (4-15). Преимуществом по сравнению с размером 61 является то, что измерение 4-5 не связано с альвеолярным отростком. *Ширина и высота хоан* (4-14 и 4-15) никак не связаны друг с другом ($R=0.14$, недостоверно). Коэффициенты корреляции их с другими признаками в основном не превышают 0.45 .

На *третьем этапе* были проведены анализы, включающие 15 признаков стандартного бланка, относящихся к мозговому отделу, 18 – к лицевому, и 26 дополнительных размеров. Многомерное шкалирование было проведено в 7 измерениях, с показателем стресса 0.087 . В анализе главных компонент первая описывает 23.44% общей изменчивости, вторая – 11.53% , в сумме две первые ГК – 35% . Результаты представлены на рис. 3а и б. Оба графика в очередной раз подтверждают независимость ростовых процессов и изменчивости двух основных отделов черепа, размеры лицевого и мозгового черепа, за единичными исключениями, занимают непересекающиеся участки корреляционного поля. К отмеченным ранее тенденциям нужно прибавить своеобразное положение *ширины основания черепа* (11), которая гораздо сильнее интегрирована с размерами верхнечелюстной кости, чем с другими размерами нейрокраниума. Этому существуют вполне определенные объяснения с точки зрения эмбриологии. Нужно отметить, что *скуловая ширина* сильнее связана с шириной основания черепа ($R=0.86$), чем с зигомаксиллярной хордой ($R=0.61$). *Поперечный диаметр* мозговой коробки (8) также демонстрирует связь со структурами лицевого скелета, особенно явно выраженную на графике МШ (рис. 3а), которая, вероятно, объясняется «вкладом», который вносит в общую величину этого размера височная кость ($R=0.73$ с шириной основания черепа и 0.56 со скуловой шириной).

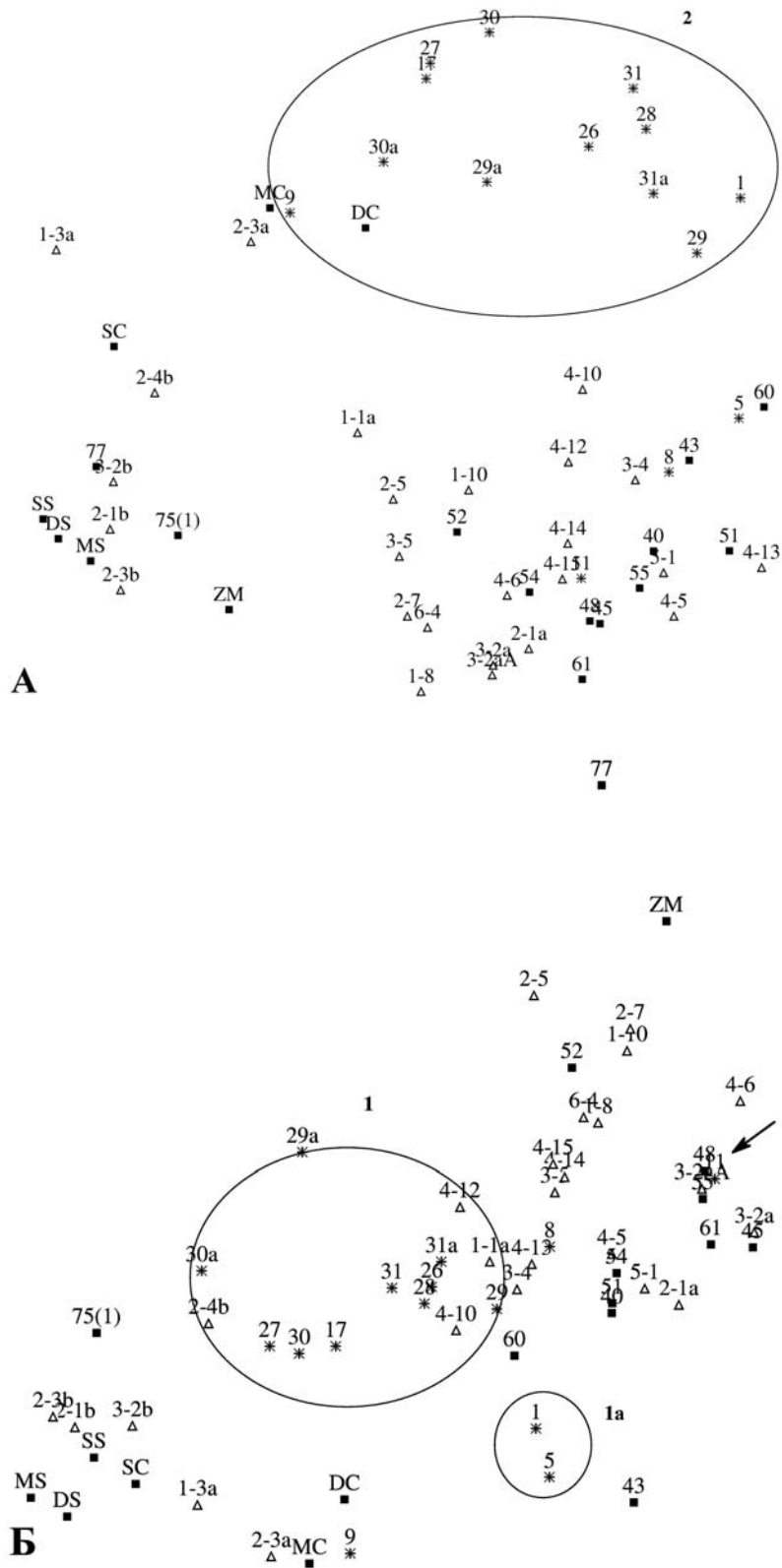


Рис. 3. Результаты третьего этапа анализа

Примечания. Квадратными значками обозначены признаки стандартного бланка, треугольниками – дополнительные признаки; а) – многомерное шкалирование; б) – анализ главных компонент

Обсуждение

Многочисленные признаки, характеризующие *выступление средней части лицевого скелета*, тесно связаны между собой и несут в целом одну и ту же морфологическую информацию, тем самым создавая проблему «избыточности» при многомерном анализе. Некоторые из них при этом не вполне удачны с методической точки зрения. Так, *углы горизонтальной профилировки* являются, по сути, индексами, включающими два несвязанных компонента. *Угол выступления носа* не поддается измерению на очень большом числе черепов. *Максиллофронтальная и дакриальная высоты* занимают «промежуточное» положение между показателями выступления носовых костей и медиального лицевого скелета в целом. Для характеристики горизонтальной профилировки можно измерять и использовать в анализе в исходном виде, не переводя в относительные величины или углы, небольшое число признаков: *симметрическую и зигомаксиллярную высоты, 2-1b, и 2-4b* в качестве дополнительного признака.

Симметрическая ширина в значительной мере связана с показателями профилировки средней части лицевого скелета, однако не полностью. Ширина носовых костей на уровне контакта с лобной костью (1-3a) тесно скоррелирована с симметрической шириной. Показатели *ширины лобных отростков верхнечелюстной кости* скоррелированы между собой, поэтому от сложной при измерении *дакриальной ширины* можно отказаться без существенной потери информации. Размеры лобных отростков в средней их части (2-3a) мало отличаются от *максиллофронтальной ширины*. Представляется полезным внесение в МС поправки на ширину носовых костей (1-3a) – такая поправка уменьшает связь признака с наименьшей шириной лба. Здесь вполне достаточным является измерение двух традиционных признаков: *симметрической и максиллофронтальной ширины, а также 1-3a* для внесения поправки.

Продольные размеры верхней челюсти, включая *длину основания лица (40)*, несут дополнительную информацию, но должны измеряться с поправкой на выступание средней части лицевого скелета. Как наиболее удобный методически, можно предложить размер 5-1. Для характеристики *широтных размеров тела верхнечелюстной кости* можно использовать *зигомаксиллярную хорду* за вычетом ширины носа (54) – в такой модификации этот признак меньше связан с *шириной основания черепа*, чем *скуловая ширина* ($R=0.58$ и 0.86 , соответственно), и меньше связан с 54, чем «полная» зигомаксиллярная хорда. Следует также использовать 2-1a, как признак, относительно слабо связанный с другими широтными

характеристиками. Размеры типа «*cheek height*» Хауэллса (в данном анализе – признаки 3-6, 3-7 и 5-2) тесно связаны с зигомаксиллярной и скуловой шириной. В отличие от этого, размеры *верхней части скулового отростка* (3-4 и 3-5) являются своеобразными признаками, не зависящими напрямую от размеров тела верхней челюсти.

Верхняя высота лица (48) по нашим данным примерно в равной мере зависит от высоты грушевидного отверстия (55 или 4-6), и от *высоты альвеолярного отростка*. Учитывая своеобразие альвеолярного отростка – его подверженность эпигенетическим влияниям, различный угол наклона и т.д., возможно, имеет смысл использовать в анализе отдельно *высоту носа* (55 или 4-6), и отдельно – *высоту альвеолярного отростка* как дополнительный признак. *Продольные (высотные) размеры носовых костей* практически не связаны с их шириной или степенью выступления, но в значительной мере связаны с высотой носа (55). Есть определенные отличия в изменчивости дистальной и проксимальной частей этих костей – последняя менее связана с общими высотными размерами лица. Методически удобнее измерять длину носовых костей по носовыхверхнечелюстному шву, можно использовать размеры 1-8 и 1-10 – в качестве дополнительного. Наряду с *шириной грушевидного отверстия (54)*, можно использовать его *высотные размеры*, которые не связаны с общей высотой лица или шириной носа. Методически предпочтительнее признак 4-12, так как определение точки *pariale* связано с большим субъективизмом. В качестве дополнительного может использоваться признак 1-1a (верхняя ширина грушевидного отверстия). По нашим данным подтверждается своеобразие морфологической информации, которую несут традиционные *размеры входа в орбиту, 51 и 52*. Непосредственный *высотный размер лобного отростка верхнечелюстной кости* может нести дополнительную информацию по сравнению с этими традиционными признаками. Можно предложить использование размера 2-5 и 2-6 в качестве дополнительного.

Подтверждается также своеобразие задней части висцерокраниума. Представляется, что использование *размеров хоан (4-14 и 4-15)* и *ширины неба (4-5)* в сравнительных краниометрических исследованиях может оказаться информативным, особенно учитывая недостаток информации о строении этой части лицевого скелета. В силу специфики альвеолярного отростка, предпочтительны измерения ширины неба не связанные с этой структурой (т.е. 4-5, а не 63). *Ширина основания черепа (11)*, судя по картине корреляционных связей этого признака, описывает скорее строение лицевого скелета. Поскольку форма и

размеры височной кости напрямую влияют и на поперечный диаметр мозгового черепа (8), последний также сильнее связан со строением лицевого скелета, чем другие признаки нейрокраниума. Все описанное выше кратко суммировано в табл. 2. Ее можно рассматривать просто как список признаков для дополнения стандартной краниометрической программы, а можно – как единый алгоритм для описания медиальной части лицевого скелета.

Библиография

- Абиндер Н.А. Трансверзальная уплощенность лицевого скелета // Труды ИЭ. Нов. сер. Т. 50. Антропологический сборник II. 1960. С. 153–178.
- Алексеев В.П. Происхождение народов Восточной Европы. М.: Наука. 2008. 323 с.
- Алексеев В.П., Дебец Г.Ф. Краниометрия. Методика антропологических исследований. М.: Наука, 1964. 128 с.
- Алексеева Т.И. Этногенез восточных славян по данным антропологии. М.: Изд-во Мос. ун-та, 1973. 330 с.
- Балуева Т.С., Веселовская Е.В., Лебединская Г.В., Пестряков А.П. Антропологические типы древнего населения на территории СССР. М.: Наука, 1988. 208 с.
- Бахолдина В.Ю., Ковылин В.А. Морфология параназальной области *Homo heidelbergensis*, *Homo neanderthalensis* и *Homo sapiens* // Научный альманах кафедры антропологии. Вып. 3. М., 2005. С. 172–199.
- Бахолдина В.Ю. Изменчивость и таксономическая структура признаков краниофациальной системы человека. М., 2007. 168 с.
- Бунак В.В. Лицевой скелет и факторы, определяющие вариации его строения // Труды ИЭ. Нов. сер. Т. 50. Антропологический сборник II. 1960. С. 84–152.
- Гусева И.С. Динамика хронологической изменчивости признаков профилированности орбитального и подносового отделов лицевого скелета // Вопр. антропол., 1965. Вып. 21. С. 65–84.
- Дебец Г. Ф. Антропологические исследования в Камчатской области // Труды ИЭ. М., 1951. Т. 17. 264 с.
- Ефимова С.Г. Палеоантропология Поволжья и Приуралья. М.: Из-во МГУ, 1991. 96 с.
- Звягин В.Н. Краниометрические комплексы и реконструкция черепа // Проблемы эволюционной морфологии человека и его рас. М., 1986. С. 84–92.
- Павлинов И.Я., Нанова О.Г., Лисовский А.А. Корреляционная структура щечных зубов песца (*Alopex lagopus*) // Зоологический журнал, 2008. Т. 7. № 7. С. 1–14.
- Рогинский Я.Я. Величина изменчивости измерительных признаков черепа и некоторые закономерности их корреляции у человека // Уч. Зап. МГУ, 1954. Вып. 166. С. 68–90.
- Ярхо А.И. О некоторых вопросах расового анализа // Антропологический журнал, 1934. № 3. С. 43–71.
- Badawi-Fayad J., Cabanis E.-A. Three-Dimensional Procrustes Analysis of Modern Human Craniofacial Form // Anat. Rec., 2007. Vol. 290. P. 268–276.
- Bastir M., Rosas A. Cranial Airways and the Integration Between the Inner and Outer Facial Skeleton in Humans // Am. J. Phys. Anthropol., 2013. Vol. 152. P. 287–293.
- Carey J.W., Steegmann A.T. Human nasal protrusion, latitude, and climate // Am. J. Phys. Anthropol., 1981. Vol. 56 (1. 3), P. 313–319.
- Cheverud J.M. Phenotypic, Genetic, and Environmental Morphological Integration in the Cranium // Evolution, 1982. Vol. 36. N 3. P. 499–516.
- Charles C.M. The *cavum nasi* of the American Negro // Am. J. Phys. Anthropol., 1930. Vol. 14. P. 177–253.
- Enlow D.H., Hans M.G. Essentials of facial growth. Second edition. Ann Arbor: Needham Press, 2008. 507 p.
- Franciscus R.G. Later Pleistocene Nasofacial Variation in Western Eurasia and Africa and Modern Human Origins. Ph.D. Thesis, University of New Mexico. 1995. 377 p.
- Gill G.W. A forensic test case for a new method of geographical race determination. // In: Human Identification: Case Studies in Forensic Anthropology / Eds. T.A. Rathbun and J.E. Buikstra. Springfield, 1984. P. 329–339.
- Hennessy R.J., Stringer C.B. Geometric Morphometric Study of the Regional Variation of Modern Human Craniofacial Form // Am. J. Phys. Anthropol., 2002. Vol. 117. P. 37–48.
- Holton N.E., Franciscus R.G., Nieves M.A., Marshall S.D., Reimer S.B., Southard T.E., Keller J.C., Maddux S.D. Sutural growth restriction and modern human facial evolution: an experimental study in a pig model // J. Anat., 2010. Vol. 216. P. 48–61.
- Howells W.W. Skull shapes and the map // Peabody Mus. Pap. Cambridge, 1989. Vol. 79. 189 p.
- Lahr M.M. The Evolution of Modern Human Cranial Diversity: A Study in Cranial Variation. Cambridge, 1996. 436 p.
- Lockwood C.A., Kimbel W.H., Lynch J.M. Morphometrics and hominoid phylogeny: support for the chimpanzee-human clade and differentiation among great ape subspecies // Proc. Natl. Acad. Sci. USA., 2004. Vol. 101. P. 4356–4360.
- Macdonell W.R. A study of the variation and correlation of the human skull with special reference to English crania // Biometrika, 1904. Vol. 3. P. 191–244.
- Maddux S.D. A quantitative assessment of infraorbital morphology in *Homo*: testing for character independence and evolutionary significance in the human midface. Ph.D. Thesis. University of Iowa, 2011. 366 p.
- Martin R. Lehrbuch der Anthropologie in Systematischer darstellung. 2 Bd. Kraniologie. Osteologie. Jena, 1928. 754 p.
- Moss M.L., Young R.W. A functional approach to craniology. Am. J. Phys. Anthropol. 1960. Vol. 18. P. 281–291.
- Oxnard C., O'Higgins P. Biology Clearly Needs Morphometrics. Does Morphometrics Need Biology? // Biological Theory: Integrating Development, Evolution and Cognition, 2009. Vol. 4(1). P. 84–97.
- Pearson K., Woo T.L. Further investigation of the morphometric characters of the individual bones of the human skull // Biometrika, 1935. Vol. 27. N 3–4. P. 424–465.
- Pitkin C.E. An Analytic Study of Nasal Form // Ann. Otol., Rhin. & Laryng., 1924. Vol. 33. P. 800–823.
- Roseman C.C., Weaver T.D. Multivariate Apportionment of Global Human Craniometric Diversity // Am. J. Phys. Anthropol., 2004. Vol. 125. P. 257–263.
- Sardi M.L., Novellino P.S., Pucciarelli H.M. Craniofacial Morphology in the Argentine Center-West: Consequences of the Transition to Food Production // Am. J. Phys. Anthropol., 2006. Vol. 130. P. 333–343.
- Sarnat B.G. Craniofacial biology: Animal surgical experimentation and clinical practice // Am. J. Phys. Anthropol., 1973. Vol. 38. P. 315–323.

Таблица 2. Программа описания медиальной части лицевого скелета, включающая дополнительные признаки

Носовые кости	
SC.	Симотическая ширина
SS.	Симотическая высота
1-3а (57(2) Март.).	Верхняя ширина носовых костей, расстояние между точками <i>infranasion</i>
1-8.	Верхняя длина носовых костей, расстояние от <i>infranasion</i> до точки на носоверхнечелюстном шве, от которой измеряется симотическая ширина (точка <i>C</i> – Евтеев, 2010); точка <i>C</i> намечается карандашом
1-10	Нижняя длина носовых костей, расстояние от точки <i>C</i> до точки <i>nasomaxillare</i>
Глазница и лобные отростки верхней челюсти	
51	Ширина орбиты
52	Высота орбиты
MC – 1-3а.	Максиллофронтальная ширина с поправкой: вычитается верхняя ширина носовых костей (1-3а или 57(2) Март.)
2-5	Высота лобного отростка верхней челюсти, расстояние от <i>maxillofrontale</i> до точки пересечения касательной к нижнему краю слезной ямки с краем орбиты, проводится параллельно лобно-слезному и лобно-решетчатому швам (точка <i>G</i> – Евтеев, 2010)
2-6	Высота нижней части лобного отростка верхней челюсти, расстояние от точки <i>G</i> до точки пересечения нижнего края орбиты и перпендикуляра из центра подглазничного отверстия (точка <i>F</i> – Евтеев, 2010)
Общие размеры верхнечелюстной кости	
2-1а	Расстояние между точками <i>F</i>
3-2а - 54	Зигомаксиллярная ширина минус ширина носа
3-4	Высота скулового отростка верхней челюсти 1, расстояние от точки <i>F</i> до точки пересечения скуловерхнечелюстного шва с линией, соединяющей точки <i>conchale</i> и <i>zygotemporale (inferior)</i> (точка <i>L</i> – Евтеев, 2010)
3-5	Высота скулового отростка верхней челюсти 2, расстояние от точки <i>L</i> до <i>zygomaxillare</i> передней
5-1	Сагитальная длина верхней челюсти, расстояние от точки на середине нижнего края <i>foramen infraorbitale</i> (как правило, наиболее глубокая точка на краю отверстия; точка <i>U</i> – Евтеев, 2010) до <i>spenomaxillare superior</i>
Выступление медиальной части лица	
2-4б.	Выступление лобных отростков верхней челюсти; высота <i>infranasion</i> над линией <i>maxillofrontale-maxillofrontale</i>
2-1б	Выступление краев грушевидного отверстия; высота <i>nasomaxillare</i> над линией <i>F-F</i>
3-2б	Высота <i>subspinale</i> над зигомаксиллярной хордой
Грушевидное отверстие	
1-1а	Верхняя ширина грушевидного отверстия, расстояние между точками <i>nasomaxillare</i>
55	Высота носа
4-6	Высота носа от <i>infranasion</i> , расстояние между точками <i>infranasion</i> и <i>nariale</i>
54	Ширина носа
4-12	Высота верхней части грушевидного отверстия, расстояние между точками <i>infranasion</i> и <i>conchale</i>
4-13	Высота нижней части грушевидного отверстия, расстояние между точками <i>conchale</i> и <i>nariale</i>
Хоаны и задняя часть неба	
4-5	Ширина неба, расстояние между точками <i>palatomaxillare laterale</i>
4-14 (59 Март.)	Высота хоан, расстояние между точками <i>hormion</i> и <i>staphylon</i>
4-15	Ширина хоан, расстояние между точками, лежащими на пересечении шва небной кости и крыловидного отростка с <i>crista conchalis</i> или линией, продолжающей ее направление (точка <i>S</i> – Евтеев, 2010)
Альвеолярный отросток	
<i>ns-alv</i>	Передняя высота альвеолярного отростка, расстояние между точками <i>nasospinale</i> и <i>alveolare</i>

Schreiner A. Certain projective depth and breadth measurements of the facial skeleton in man // *Biometrika*, 1940. Vol. 31. P. 272–286.
 Trinkaus E. Modern Human versus Neandertal Evolutionary Distinctiveness // *Curr. Anthropol.*, 2006. Vol. 47. P. 597–620.
 von Cramon-Taubadel N. Revisiting the homology hypothesis: the impact of phenotypic plasticity on the

reconstruction of human population history from craniometric data. // *J. Hum. Evol.*, 2009. Vol. 57. P. 179–190.
 White TD, Folkens PA. *Human osteology*. San Diego: Academic Press, 2000. 563 p.
 Woo T.L., Morant G.M. A Biometric Study of the “Flatness” of the Facial Skeleton in Man // *Biometrika*, 1934. Vol. 26. P. 196–250.

Контактная информация:

Евтеев Андрей Алексеевич: e-mail: evteandr@gmail.com.

THE ANALYSIS OF THE CORRELATION STRUCTURE OF MID-FACIAL DIMENSIONS AS THE BASIS FOR THE OPTIMIZATION OF THE CRANIOMETRIC PROGRAMM

Andrej Evteev

Lomonosov Moscow State University, Research Institute and Museum of Anthropology, Moscow

Objective. *Better knowledge of correlation structure of craniometric variables describing middle facial skeleton could potentially help to achieve parsimony in the set of measurements commonly used when studying this part of the skull. Thus by analyzing that structure we were aimed to:*

- *find potentially informative variables among those that are rarely used at present*
- *figure out what variables are redundant due to their high correlation with the others.*

Methods. *The sample comprises 362 male skulls representing many craniologically divergent populations from around the world. 44 additional variables were measured from each skull by the author according to previously published protocol [Evteev, 2010] as well as 26 variables of «standard» craniometric blank [Alexeev, Debets, 1964; Howells, 1989]. Two exploratory statistical methods we applied: PCA based on correlation matrix and non-metric MDS based on matrix of correlation distances among the variables.*

Results. *On the first stage of the analysis it has been shown that numerous measurements of mid-facial protrusion are strongly correlated among themselves while being distinct from all other variables. The same is true for measurements of breadth of either frontal process of the maxilla or the nasal bones. The analyses done after exclusion of those distinctive measurements revealed much less «structured» picture of inter-variable correlations, in other words there were no clusters of strongly intercorrelated measurements apparently falling out from the general scatter. Nevertheless there were also several interesting tendencies to point out:*

- *singularity of variables describing orbital contour including height of the frontal process of the maxilla and measurements of the zygomatic process of the same bone*
- *sagittal length of the maxilla is not fully correlated with neither its height nor its width*
- *height and width of the choanae as well as breadth of the palate are weakly correlated with most of other variables*
- *some measurements of the lower part of the piriform aperture possess their own tendencies of variation independent from total height or breadth of the aperture*
- *lower and upper parts of the nasal bones seem to be relatively «independent» from each other*
- *upper facial height (48 Mart.) is strongly correlated with alveolar process height which is known to be strongly epigenetically influenced.*

The last analysis which included a number of neurocranial measurements confirmed well-established “autonomy” of two main cranial regions. But two variables, biauricular breadth and maximum cranial breadth were found to be much stronger correlated with the maxilla’s measurements than all other neurocranial dimensions.

Conclusions. *Several practical recommendations based on the results of the analyses conducted are formulated. There are several “positive” points stating which from rarely used variables could have potentially been useful in providing additional data about mid-facial form if included in the craniometric program, and also «negative» ones – what measurements can be excluded from the program without losing important information.*

Keywords. *craniology; craniometry; viscerocranium; correlation structure*