

АНТРОПОЛОГИЯ

<https://doi.org/10.20874/2071-0437-2022-57-2-9>

Бужилова А.П.^{a, *}, Колясникова А.С.^b

^a МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, ул. Моховая, 11, Москва, 125009

^b МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, 119234
E-mail: albu_pa@mail.ru (Бужилова А.П.); kas181994@yandex.ru (Колясникова А.С.)

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ЛОБНОГО ВНУТРЕННЕГО ГИПЕРОСТОЗА ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ЧЕРЕПОВ

*Представлены результаты анализа 145 снимков КТ черепов из краниологических серий НИИ и Музея антропологии МГУ и 50 снимков КТ черепов израильских бедуинов из обменного фонда Института. Было обнаружено девять случаев лобного внутреннего гиперостоза (*hyperostosis frontalis interna*, HFI) и разработаны методические рекомендации по обнаружению и дифференцировке HFI по данным компьютерной томографии.*

Ключевые слова: *hyperostosis frontalis interna, HFI, палеоантропология, компьютерная томография, палеопатология, метаболические нарушения.*

Введение

Лобный внутренний гиперостоз (*hyperostosis frontalis interna*, HFI) — это патологическое состояние, характеризующееся локальным утолщением внутренней пластинки лобной кости, которое часто является случайной находкой при клинических исследованиях пациентов методами рентгенографии и компьютерной томографии [Waldron, 2009]. HFI может проявляться в виде изолированных узелков, островковых костных разрастаний или непрерывного утолщения внутренней поверхности лобной кости вследствие «слияния» островковых разрастаний [Ruhli et al., 2004].

М. Перу [Perou, 1964] предположил, что в основе патологического процесса лежит гормональный дисбаланс из-за врожденных патологий или возрастного ухудшения функционирования эндокринной системы. М. Каламе и Ф. Морель подчеркивали, что нарушение функционирования гипоталамо-гипофизарной системы играет важную роль в появлении и развитии лобного внутреннего гиперостоза. Было отмечено, что симптомы, сопровождающие HFI, схожи с симптомами гипоталамо-гипофизарных расстройств (ожирение, гипогонадизм, нарушение метаболизма глюкозы) [Calame, 1951; Morel, 1930]. Л. Рихтер первым предположил связь HFI со снижением уровня эстрадиола у женщин по достижении пременопаузального периода [Richter, 1939]. Кроме того, дефект ассоциируют с некоторыми врожденными патологиями, такими как гипогонадизм и атрофия яичек у мужчин [Murczyński, 1952].

В настоящее время спектр обсуждаемых причин HFI значительно шире. Отмечено, что у пациентов с лобным внутренним гиперостозом повышен уровень щелочной фосфатазы, что среди прочих признаков является индикатором заболеваний костной ткани [Gegick et al., 1973]. Подтверждается, что случаи HFI нередко фиксируются у близких родственников [Knies, Le Fever, 1941; Temtamy, McKusick, 1978; Rosatti, 1972; Watrous et al., 1993]. Различными исследователями подчеркивается связь между возникновением HFI и нарушениями обмена веществ, такими как дисфункция метаболизма глюкозы (сахарный диабет 2-го типа) [Armélagos, Chrisman, 1988], нарушениями функции гипоталамуса, где располагаются центры голода и насыщения [Ruhli et al., 2004]. Х. Мэй с соавт. [May et al. 2011] отметили, что в течение последнего столетия наблюдается значительное увеличение частоты встречаемости HFI, в особенности у женской части населения развитых стран. Вероятной причиной является изменение традиционной диеты, применение гормональной терапии и более позднее начало репродуктивного возраста у женщин. Тем не менее исследователи чаще всего ассоциируют формирование лобного

* Corresponding author.

внутреннего гиперостоза с нарушениями, вызванными естественным изменением гормонального фона в период менопаузы у женщин [Hershkovitz et al. 1999].

В палеопатологии/палеоантропологии этот признак используется как индикатор нарушений общего обмена веществ, в контексте с другими источниками — для анализа биологического родства и реконструкции специфической диеты с завышенной долей жиров и углеводов. Традиционно лобный внутренний гиперостоз оценивается на черепе визуально. Исследователь, подсвечивая внутреннюю поверхность лобной кости через большое затылочное отверстие, оценивает наличие изменений на внутренней пластинке черепа. К настоящему времени для масштабного сравнительного анализа пригодно достаточное число палеоантропологических исследований с широким географическим охватом благодаря фиксации признака по стандартной методике, основанной на визуальном морфологическом анализе [Бужилова и др., 2005; Перерва, 2015; Lazer, 1996; Hershkovitz et al., 1999; Hajdu et al., 2009; Raikos et al., 2011; Szeniczey et al., 2019].

Методика фиксации признака на основе морфологических критериев была предложена в работе И. Гершковича с соавторами по результатам анализа остеологических коллекций населения США начала XX в. [Hershkovitz et al., 1999]. Согласно предложенной методике NFI делится на четыре типа. Тип А: изолированные приподнятые единичные костные наросты, односторонние или двусторонние, размером до 10 мм. Тип В: узелковые костные островки без четких границ, слегка приподнятые на поверхности лобной кости (до 25 %). Тип С: более интенсивные наросты с неравномерным утолщением внутренней пластинки лобной кости (до 50 %); Тип D: непрерывный костный нарост, охватывающий более 50 % лобной кости.

Морфологический метод достаточно точный и удобный для определения лобного внутреннего гиперостоза, однако у него существуют некоторые ограничения. При работе с черепом необходимо осматривать внутреннюю поверхность лобной кости с источником света, последующая фотофиксация признака затруднительна, так как ее необходимо сделать через большое затылочное отверстие. Сложность представляет и дифференцировка увиденных новообразований, так как в некоторых случаях подтверждение диагноза требует применения дополнительных методов. Другой способ морфологической оценки внутренней поверхности лобной кости возможен при аутопсии. Он позволяет напрямую осмотреть внутреннюю поверхность лобной кости и прилежащие ткани. Есть возможность взять биопсию на гистологическое исследование, биохимические и генетические анализы, а также оценить состояние других органов и систем. Этот подход используется исключительно при исследованиях современного населения.

С появлением методов радиологии лобный гиперостоз стал анализироваться более системно, благодаря доступности этого метода. Например, А. Вестерн и Дж. Беквалач исследовали 123 рентгенограммы черепов жителей Европы XVIII–XXI вв., признак был обнаружен у женщин в возрастных группах *Maturus* (13,6 %) и *Senilis* (25,6 %) [Western, Bekvalac, 2017]. Однако у этого метода есть очевидные ограничения в дифференцированной оценке признака, поскольку на рентгенографическом снимке обычно видны лишь поздние стадии NFI (см., напр.: [Бужилова, Колясникова, 2021]).

Появление метода компьютерной томографии расширило возможности дифференциальной оценки состояния костей черепа. Существует ряд работ, в которых метод КТ использовался как единственный способ диагностики NFI. Например, Х. Мэй с соавторами изучали снимки компьютерной томографии современного населения Хайфы (Израиль), среди 768 индивидов лобный внутренний гиперостоз был выявлен у 24 % женщин и 4 % мужчин [May et al., 2010]. В другой работе Х. Мэй с соавторами было исследовано женское население Израиля: проанализированы КТ-снимки 394 пациентов из Хайфы. Лобный внутренний гиперостоз обнаружен у 21,7 % женщин возраста до 50 лет и 65,6 % женщин 65–85 лет [May et al., 2011]. Для оценки степени развития лобного внутреннего гиперостоза по КТ-снимкам Х. Мэй с соавторами адаптировали четырехуровневую схему И. Гершковича с соавторами, традиционно используемую в морфологическом анализе [May et al., 2010].

В исследовании Х. Мэй с соавторами не была приведена оценка состояния костной структуры и вовлеченности ее отдельных элементов в патологический процесс. Отметим, что для адекватной идентификации и дифференциации лобного внутреннего гиперостоза на снимках компьютерной томографии необходимо учитывать особенности патологической структуры при NFI и процесс формирования дефекта кости. В 1964 г. М. Перу определил диффузный гиперостоз черепа (который включает NFI) как двустороннюю, диспластическую, медленную, часто ограниченную и доброкачественную, иногда прогрессирующую и агрессивную, пролиферацию кости, которая затрагивает главным образом внутреннюю пластинку черепа, с участием или без

участия диплоэ, наиболее часто встречаемого на лобной кости [Perou, 1964]. В исследовании И. Гершковича с соавторами HFI был определен как процесс, который, по-видимому, задействует как внутреннюю пластинку, так и диплоидное пространство. Существует несколько теорий, объясняющих морфогенез HFI. Например, М. Перу предполагал, что термины «рост» и «отложение» могут применяться к этому феномену одновременно, так как не был уверен, растет ли новообразованная кость из внутренней пластинки или откладывается на ней [Perou, 1964]. Позже он утверждал, что могут иметь место оба процесса. По данным И. Гершковича с соавторами ясно, что типы HFI представляют собой последовательные стадии одного процесса. Этот процесс может остановиться на любой стадии и стать стабильным, либо отступить и исчезнуть со временем, либо продолжать расти [Hershkovitz et al., 1999].

В исследовании были сопоставлены три модели морфогенеза лобного внутреннего гиперостоза: «американская», «европейская» и «глобальная» [Hershkovitz et al., 1999]. «Американская» модель, предложенная С. Муром, описывает HFI как процесс, который запускает пролиферацию губчатой кости, увеличивая диплоидный объем, толкая его внутрь черепа [Moore, 1955]. На внешнюю пластинку это не влияет из-за ее большей толщины и устойчивости. «Европейская» модель, предложенная Ф. Тевозом, представляет HFI как процесс, который происходит исключительно в твердой мозговой оболочке и запускается увеличением интрадуральной сосудистой сети [Thevoz, 1966]. «Глобальная» модель получила такое название благодаря международному авторскому коллективу во главе с И. Гершковичем [Hershkovitz et al., 1999]; она описывает четырехэтапный процесс, который начинается, когда остеобласты провоцируют дезорганизованный рост костной ткани, приводящий к «диплоизации» внутренней пластинки лобной кости (в пластинке нарушается плотность структуры за счет образования множественных пор) (стадия А). По данным микрокомпьютерной томографии, ее плотность достоверно снижается при сопоставлении с показателями плотности наружной пластинки лобной кости [Bracanovic et al., 2016]. На следующем этапе ранней стадии лобный внутренний гиперостоз представляет собой наслоения, образованные твердой мозговой оболочкой на участках диплоизации внутренней пластинки (стадия В). На стадии С многочисленные кровеносные сосуды из твердой мозговой оболочки проникают в костные наслоения, приводя к разрастанию костной ткани. Со временем наросты внутренней пластинки склеротизируются, а новообразованная кость подвергается реорганизации с многочисленными большими и нерегулярными полостями (по-видимому, имитация синусов). На этом этапе также могут появляться каверны. Эти расширенные полости поддерживают приподнятую эндокраниальную пластинку, которая макроскопически распознается как разрастание, называемое HFI. На заключительной стадии D внутренняя пластинка полностью исчезает, реорганизованная кость расширяется по направлению к внутренней поверхности и полости черепа. Согласно этой модели, ни внешняя пластинка, ни диплоэ не участвуют напрямую в образовании дефекта [Hershkovitz et al., 1999].

С появлением метода микрокомпьютерной томографии появилась возможность более детально оценить микроархитектуру и гистологическое строение костных наростов при HFI. В исследовании Д. Брачанович с соавт. [Bracanovic et al., 2016] представлены результаты микрокомпьютерной томографии образцов костной ткани, полученных при аутопсии пациенток с лобным внутренним гиперостозом. Исследователи сравнили микроструктуру патологических участков лобной кости женщин с HFI (20 женщин возраста 69.9 ± 11.1) с костной тканью здоровых женщин (14 женщин возраста 74.1 ± 9.7). Было отмечено, что, по сравнению с контрольной группой, у женщин с HFI значительно увеличен объем и плотность диплоэ, за счет утолщения костных балок и уменьшения межтрабекулярных промежутков. Внутренняя пластинка лобной кости у женщин с HFI относительно более порозная. Таким образом, были найдены достоверные различия как архитектуры диплоэ, так и внутренней пластинки лобной кости при HFI по сравнению со здоровой тканью. Полученные данные существенно дополнили «глобальную» модель, подтвердив и детализировав процесс формирования признаков HFI во внутренней пластинке кости черепа, а также описав изменения диплоэ.

Помимо исследования внутренней структуры кости методом микрокомпьютерной томографии, более традиционная и доступная для исследователей рентгеновская компьютерная томография становится востребованной, так как значительно увеличивает потенциал работы антрополога. Компьютерная томография позволяет проанализировать большой объем материала и не требует последующего непосредственного контакта с краниологическими коллекциями. Такой подход дает ряд преимуществ: 1) он не требует повреждения ценных краниологических ма-

териалов при гистологическом анализе внутренних структур кости; 2) наличие виртуальных коллекций снимков КТ позволяет упростить доступ исследователей к коллекциям, так как снимает необходимость непосредственного ее анализа в музее. В результате палеоантропологи создают обширные компьютерные базы данных и обменные фонды, которые существенно расширяют источниковую базу для решения различных антропологических задач. Целью нашей работы было разработать методику обнаружения и дифференциации лобного внутреннего гиперостоза на снимках компьютерной томографии черепа из фондов НИИ и Музея антропологии МГУ.

Материалы и методы

Всего в работе исследовано 998 черепов из фондов НИИ и Музея антропологии МГУ [Алексеева и др., 1986]. Из них проанализировано 195 снимков КТ половозрелых индивидуумов различного пола и возраста: 145 снимков КТ черепов из краниологических серий НИИ и Музея антропологии МГУ и 50 снимков КТ черепов израильских бедуинов из обменного фонда Института (с университетом Тель-Авива, Израиль) (табл. 1).

Таблица 1

Численность индивидов в исследованных краниологических сериях

Table 1

Number of the studied craniological series

Остеологическая коллекция (Osteological collection)	Численность обследованной серии	Численность изученных КТ
1. Вовниги-I, II. Солонянский р-н, Днепропетровская обл., лево- и правобережье Днепра. И.Я. Рудинский. 1949, 1952 г. Экспедиция ИА АН СССР. Мезолит/неолит	72	25
2. Васильевка. Синельниковский р-н, Днепропетровская обл. А.Д. Столяр. 1953 г. Экспедиция ИА АН СССР. Мезолит/неолит	20	12
3. Михайловка. Михайловско-Гавриловский м-к Ново-Воронцовский р-н, Херсонская обл. Е.Ф. Сымонович, Т.С. Кондукторова, 1958 г. Никопольско-Гавриловская экспедиция ИА АН УССР, Южно-Русская экспедиция ИИМК АН СССР. VI-IV вв. до н.э.	5	1
4. Неаполь-Скифский. Симферополь, Крымская обл.; Н.И. Веселовский, 1888-1891 гг. Симферопольский музей, П.Н. Шульц, 1946-1949 гг., Тавро-скифская экспедиция ИИМК АН СССР, Э.А. Сымонович, Т.С. Кондукторова, 1956-1958 гг., экспедиция Музея изобраз. искусств, ИИМК АН СССР, НИИА МГУ. III в. до н.э. — III в. н.э., скифы	120	3
5. Беляус. Черноморский р-н, Крымская обл., О.Д. Дашевская, Т.С. Кондукторова, 1971, 1974, 1975 гг., Донзувальская экспедиция ИА АН СССР и НИИА МГУ. I в. до н.э. — I в. н.э., поздние скифы	70	1
6. Гинчи. Советский р-н, Дагестанская АССР. А.Г.Гаджиев, М.Гаджиев. 1951-1961 гг. Дагестанская горная экспедиция, Дагест. фил. АН СССР. Середина II тыс. до н.э.	29	13
7. Волошское. Днепропетровский р-н., Днепропетровская обл., ур. Скеля. В.Н.Даниленко. 1952-1953 гг. ИА АН СССР. Ранняя бронза	3	3
8. Кобань. Гизельдонский р-н, Осетия. А.М.Россова, Б.А. Куфтин. 1926-1929 гг. ГИА. XVI-XVIII вв. Осетины	176	38
9. Бутский м-к. Пензенская губерния, д. Морозовка, А.Е. Алихова, 1928 г., антропол. компл. экспедиция ГИА 1 МГУ. Мордва-мокша, XVI-XVIII вв.	35	1
10. Новая Пырма. Кочуровский р-н, Мордовская АССР, М.С. Акимова. 1951 г. НИИА МГУ. Мордва-эрзя, современная эпоха	78	4
11. Дагары, Горемыка, р. Томпа, Сев. Прибайкалье. Эвенки, современная эпоха	25	11
12. Обдорск, р. Обь. Д.Т. Янович, 1909 г. Ханты, современная эпоха	291	11
13. Сосьва и Сычва, левый приток Оби, Щеку-Пауля, Нижний Тагил. Н.Л. Гондатти, 1886 г. Манси, современная эпоха	66	14
14. Бедуины, Израиль	—	50
15. Монголы, сборная коллекция, современная эпоха	5	5
16. Японцы, сборная коллекция, современная эпоха	3	3
Всего (totally)	998	195

В исследовании использована рентгеновская компьютерная томография на оборудовании фирмы Siemens, которая характеризуется возможностью различать мелкие и низкоконтрастные детали изображения. Для визуализации и работы с КТ-снимками использовалась программа Amira 2020.1. Программа позволяет оценить внутреннюю структуру визуализированного объекта в различных плоскостях (2D изображения), построить 3D-модель черепа для оценки внешней и внутренней поверхности кости, а также проводить необходимые измерения объекта как снаружи, так и внутри.

В результате был сформирован алгоритм работы с изображениями КТ для распознавания и дифференциации лобного внутреннего гиперостоза. Предлагаемая процедура может быть использована в любом компьютерном приложении для работы с КТ-изображениями, которое позволяет оценить объект в двух форматах визуализации (2D и 3D).

Методические аспекты дифференциации лобного внутреннего гиперостоза...

Первый этап может быть применен, если исследователь работает только с электронной базой данных и не имеет возможности оценить сохранность черепа и зубов для традиционного палеоантропологического анализа. На этом этапе используется 3D-визуализация черепа. В качестве примера приведем 3D-модель из коллекции КТ снимков черепов бедуинов, которая позволяет оценить сохранность черепа, пол и биологический возраст в широких пределах, а также травму в области лобной кости (рис. 1). Если на поверхности лобной кости исследователь обнаруживает последствия травм или другие патологии, то это обязательно надо учитывать в последующей дифференциальной диагностике внутренних дефектов лобной кости.

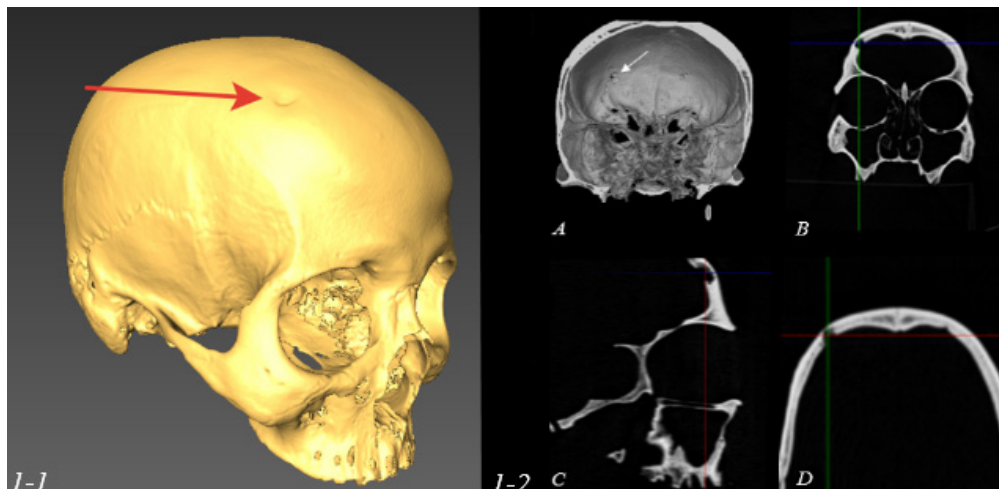


Рис. 1. 1-1. 3D-модель черепа. КТ-коллекция израильских бедуинов (BLZ-16, женщина, Adultus). Стрелкой указана вдавленная травма лобной кости. 1-2. Визуализация внутренней поверхности лобной кости на 3D-и 2D-моделях черепа. КТ-коллекция израильских бедуинов (BLZ-04, мужчина, Adultus):

A — 3D-модель черепа, фронтальный разрез. Стрелкой указан объемный дефект внутренней пластинки лобной кости, который на 2D-срезах во всех представленных проекциях является полостью (на проекциях дефект обозначен пересечением навигационных линий); *B* — 2D-срез изображения во фронтальной плоскости; *C* — 2D-срез изображения в сагиттальной плоскости; *D* — 2D-срез изображения в аксиальной (горизонтальной) плоскости.

Fig. 1. 1-1. 3D skull model. Israeli Bedouin CT-collection (BLZ-16, female, Adultus). A traumatic injury of a frontal bone is indicated. 1-2. Visualization of the inner surface of the frontal bone on 3D and 2D skull models.

Israeli Bedouin CT collection (BLZ-04, male, Adultus):

A — 3D model of the skull, frontal section. A defect of the inner surface of the frontal bone, which is a cavity on the 2D sections in all pre-sented sections (on the projections the defect is indicated by the intersection of navigation lines) is indicated;

B — 2D slice of the image in the frontal section; *C* — 2D image slice in the sagittal section; *D* — 2D slice of the image in the axial (horizontal) section.

На построенной 3D-модели есть возможность делать виртуальные срезы в различных плоскостях. Это позволяет оценить внутреннюю поверхность кости в нужных для исследователя отделах черепа, и в частности, что важно для задач нашего исследования, — лобной кости. Помимо структуры пластинок черепа на таком срезе можно увидеть дефекты внутренней поверхности, которые на последующем этапе исследуются послойно в 2D-визуализации объекта. На примере среза 3D-модели лобной кости черепа во фронтальной плоскости можно продемонстрировать различные варианты дефектов (рис. 1, 1-2, *A*). Обратим внимание, что на этом этапе обнаруженные дефекты не описываются, а только фиксируются, так как нередко 3D-модели не дают возможности адекватно дифференцировать выпуклости и впадины костной пластинки (рис. 1, 1-2, *B-D*).

Второй этап исследования направлен на верификацию, дифференциацию и описание обнаруженных дефектов в области лобной кости. Для этого необходимо построить 2D-модели для послойного исследования дефектов в различных анатомических плоскостях с опорой на аксиальную (горизонтальную) проекцию. Это позволяет уточнить локализацию дефекта, оценить его размер и структуру для последующей дифференциальной диагностики. Напомним, что нередко выявленные на 3D-модели объемные дефекты кости дифференцируются в 2D как полости вследствие нарушения целостности нижней пластинки и диплоэ (рис. 1, 1-2, *B-D*).

В другом случае, при обширных (сливающихся) на поздних стадиях дефектах лобного внутреннего гиперостоза, также бывает сложно на 3D-модели дифференцировать патологию. Прицельно HFI просматривается в виртуальном срезе во фронтальной плоскости при фиксации

нарушений костной структуры лобной кости (рис. 2, А). Далее при анализе 2D-срезов фиксируются и описываются все очевидные изменения структуры внутренней пластинки и диплоэ для последующей дифференциальной диагностики (рис. 2, В–D).

Данный этап может быть использован исследователем, анализирующим краниологический материал классическим морфологическим методом (когда наличие дефектов на эндокрахе фиксируется визуально), а верификация и дифференциальная диагностика проводится с помощью метода КТ.

Третий этап исследования направлен на проведение дифференциальной диагностики выявленных нарушений нормальной морфологии. В отличие от рентгенограмм, компьютерная томография позволяет достоверно отличить НФИ от других костных разрастаний на эндокрахе.

Травма — наиболее часто встречающееся изменение лобной кости. Следы заживления вдавленных переломов черепа на 3D-проекции эндокраха могут выглядеть как наросты при лобном внутреннем гиперостозе. Чтобы верно дифференцировать травму лобной кости и гиперостоз, достаточно осмотреть наружную пластинку лобной кости в месте фиксации дефекта на эндокрахе. При НФИ внешняя пластинка никогда не задействована, а при травме на ней могут остаться следы заживления.

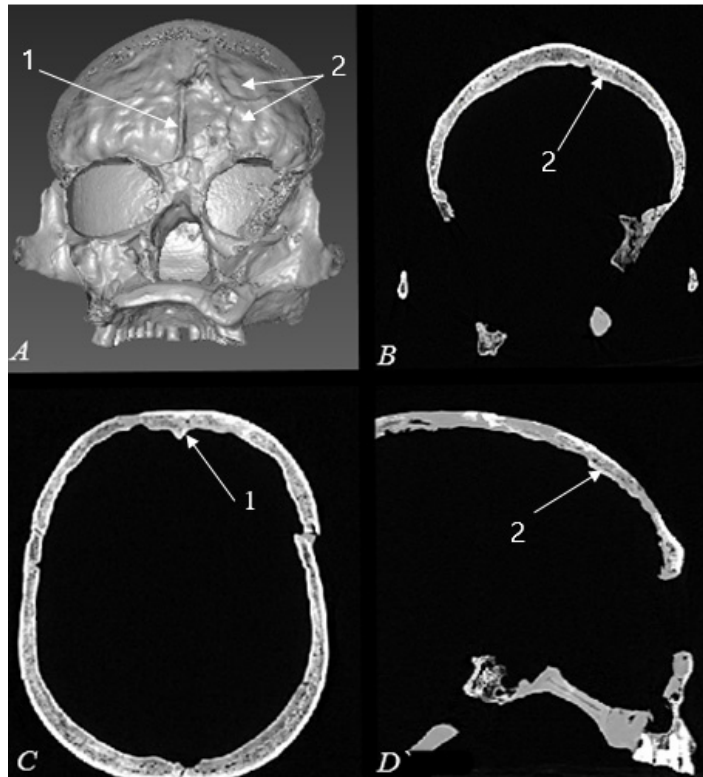


Рис. 2. Компьютерная томография черепа из серии Неаполь-Скифский (№ 10779, мужчина, Senilis):

А — 3D-модель черепа (срез во фронтальной плоскости); В — 2D-срез изображения во фронтальной плоскости; С — 2D-срез изображения в аксиальной (горизонтальной) плоскости; D — 2D-срез изображения в сагиттальной плоскости. Стрелками указаны сагиттальный синус (цифра 1) и возможные дефекты — неравномерные наросты (цифра 2).

Fig. 2. Computed tomography of the skull from the Neapolis-Scythian series (№ 10779, male, Senilis):

A — 3D model of the skull (slice in the frontal section); B — 2D slice in the frontal section; C — 2D slice in the axial (horizontal) section; D — 2D slice in the sagittal section. The arrows indicate the sagittal sinus (number 1) and possible defects — irregular growths (number 2).

Помимо травмы, важно отличать НФИ от очаговых образований черепа, таких как менингиома и кальцинированные субдуральные гематомы, а также диффузных изменений, вызванных акромегалией, болезнью Педжета и фиброзной дисплазией. Первое, что помогает дифференцировать лобный внутренний гиперостоз, — особенности его расположения: НФИ — двусторонний процесс, располагается на внутренней поверхности лобной кости, никогда не выходит за пределы борозды средней менингеальной артерии и не заходит в область сагиттального синуса. В отличие от НФИ, менингиома это одиночный процесс, который может располагаться в любой области черепа. Диффузные изменения не имеют четких границ и поражают все кости че-

репа. При акромегалии увеличивается объем диплоического пространства, а также утолщаются наружная и внутренняя пластинки костей черепа. При фиброзной дисплазии объем диплоэ увеличивается, а наружная и внутренняя пластинки черепа утончаются. При начальной стадии болезни Педжета, за счет лизиса остеонов, в костной ткани появляются зоны просветления. Позднее формируется грубая трабекулярная перестройка и, на последней стадии, — очаги склеротизированной ткани. Таким образом, при болезни Педжета на КТ можно отметить: зоны очаговой деминерализации костей — крупные, четко ограниченные литические поражения; перестройку костной ткани по типу «хлопьев ваты» или «кочков шерсти» за счет смешанного литическо-склеротического поражения, с формированием трабекулярной ноздреватой структуры; вздутие диплоэ; симптом «берета» (на боковой проекции отмечается увеличение лобной кости с нависанием мозгового черепа над лицевыми костями).

Помимо патологий, НФИ нужно дифференцировать с посмертными артефактами (посторонними объектами, попавшими в полость черепа вследствие тафономических процессов), которые отчетливо фиксируются на КТ-снимках, а также с механическими посмертными дефектами внутренней поверхности лобной кости. В отличие от артефактов, деформации при лобном внутреннем гиперостозе непрерывно связаны с внутренней пластинкой лобной кости и не имеют очевидных включений. Для того чтобы верно дифференцировать дефект, нужно просматривать снимки «срез за срезом», анализируя плотность и локализацию обнаруженных дефектов. На рис. 3 изображен пример дифференциации посмертных артефактов, зафиксированных на 3D-модели в области лобной кости с последующей его верификацией по плотности структуры и локализации на эндокране в аксиальной плоскости 2D-среза.

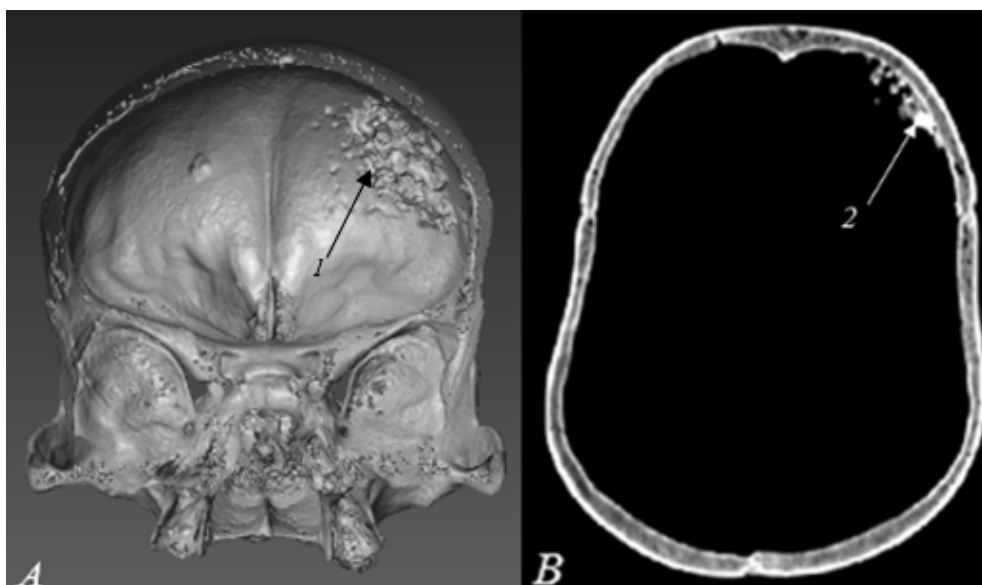


Рис. 3. Дифференциация посмертного дефекта лобной кости черепа израильского бедуина (BBS-22, женщина, Adultus):

A — 3D-модель. Фиксируется объем, напоминающий по локализации дефект НФИ (стрелка, цифра 1);
B — 2D-срез в аксиальной плоскости. Отчетливо фиксируются разные по плотности посмертные артефакты, сконцентрированные внутри черепа на левой стороне лобной кости (стрелка, цифра 2).

Fig. 3. Distinguishing of the postmortem frontal bone defect in the skull of an Israeli Bedouin (BBS-22, female, Adultus):

A — 3D model. A structure located in a typical HFI place on a frontal bone (arrow, number 1); *B* — 2D slice in the axial section. Different density postmortem artifacts concentrated inside the skull on the left side of the frontal bone are clearly recorded (arrow, number 2).

Таким образом, в ходе дифференциальной диагностики необходимо обращать внимание на несколько определяющих НФИ критериев:

1) расположение и границы — дефект ограничен лобной костью и никогда не выходит за пределы борозды средней менингеальной артерии, которая служит условной границей, отделяющей лобную кость от височной и теменной; никогда не заходит в область сагиттального синуса;

2) симметрия — на ранних стадиях А и В костные поражения обычно асимметричны; на поздних стадиях С и D дефекты обычно располагаются симметрично (по обе стороны от сагиттального синуса);

3) форма дефекта — ранние стадии дифференцируются по форме дефекта хуже, обычно это единичные наросты, округлой или куполообразно-грибовидной формы; на поздних — костные выступы имеют форму вытянутых и параллельных друг другу гребней, ориентированных перпендикулярно срединной сагиттальной линии;

4) особенности костной структуры — формирование уплотнения слоя диплоз и порозности слоя внутренней пластинки в зоне дефекта зависит от стадии HFI. Чем позднее стадия, тем ярче выражены нарушения нормальной внутренней структуры.

Результаты и обсуждение

При анализе исследованного материала (краниологического и КТ-снимков) в 7 сериях из 15 было обнаружено 9 черепов с признаками лобного внутреннего гиперостоза, из них 5 мужских и 4 женских (табл. 2). Признаки HFI имели 4 индивидуума в возрасте Adultus, у них зафиксированы все стадии процесса (от А до С); 2 индивидуума в возрасте Maturus, у них — стадии В и С; 3 индивидуума в возрасте Senilis, у них — стадии В и С. Больше всего зафиксировано случаев со стадией С — 6 индивидуумов (2 женщины и 4 мужчин), 2 случая со стадией В (мужчина и женщина) и 1 случай со стадией А (женщина).

Таблица 2

Лобный внутренний гиперостоз (HFI) в исследованных сериях

Table 2

Cases of HFI in examined skulls

№	Название серии (Craniological series)	Номер черепа (Number of a skull)	Пол (sex)	Возраст (age)	Тип HFI (HFI type)
1	Неаполь-Скифский	10788	жен	Adultus	HFI A
2	Беляус	КО 319-27/1	муж	Adultus	HFI B
3	Бутский могильник (мордва-мокша)	63	жен	Senilis	HFI B
4	Обдорск (ханты)	7195	муж	Adultus	HFI C
5	Вовниги	9487	жен	Adultus	HFI C
6	Неаполь-Скифский	10760	муж	Maturus	HFI C
7	Михайловка	10365	муж	Maturus	HFI C
8	Неаполь-Скифский	10779	муж	Senilis	HFI C
9	Сосьва и Сычва (манси)	4377	жен	Senilis	HFI C

Таким образом, только в половине серий из разных хронологических периодов был обнаружен HFI. Мы не зафиксировали традиционного превалирования этого признака в женской части. В изученной рандомизированной (случайной) выборке не обнаружено положительной корреляции степени развития HFI с возрастом (обычно отмечается, что поздние стадии HFI встречаются чаще у индивидуумов зрелого возраста). Более того, поздние стадии (в нашем исследовании тип С) зафиксированы преимущественно у мужчин, а не у женщин, что тоже входит в противоречие с известными литературными данными [Перерва, 2015; Бужилова, Колясникова, 2021].

Рассмотрим основные результаты, связанные с верификацией признаков HFI методом КТ.

Тип А. Был выявлен в единичном случае в серии Неаполь-Скифский (№ 10788, женщина, Adultus). При макроскопическом анализе на внутренней поверхности лобной кости был обнаружен округлой формы костный бугорок, справа от сагиттального синуса, диаметром около 10 мм. При проведении дифференциальной диагностики с применением КТ на снимках отмечено локальное уплотнение диплоз лобной кости овальной формы за счет «выпячивания» нижней части в полость черепа (рис. 4). При просмотре снимков по срезам дефект на всем протяжении непрерывен, связан с уплотнением диплоз, образующим округлую форму дефекта. В этой области отсутствуют какие-либо включения.

Обнаруженный дефект по структуре, локализации и форме похож на тип А HFI. Его необходимо дифференцировать с остеомой, последствиями травмы, кальцинированной субдуральной гематомой и менингиомой. Типичное место образования остеом — синусы лобной и верхнечелюстной кости, а также решетчатый лабиринт. Наиболее часто остеомы встречаются в пазухах лобной кости — около 80 %. Вероятно, это связано с тем, что остеома формируется на стыке эмбрионального хряща решетчатой кости и мембраны лобной кости [Осипенко и др., 2014]. Для дифференцировки лобного внутреннего гиперостоза с остеомой по снимкам компьютерной томографии необходимо обратить внимание на локализацию дефекта. Остеома всегда имеет

Методические аспекты дифференциации лобного внутреннего гиперостоза...

связь с синусом лобной кости или решетчатым лабиринтом, также она может заходить на поверхность сагиттального синуса. На снимках КТ остеома визуализируется как гомогенная, плотная, белого цвета, компактная масса, чаще всего округлая либо с неправильными закругленными краями. И наконец, определяющий критерий — диплоэ не участвует в образовании остеомы. Все эти особенности отсутствуют при описании исследованного случая. Таким образом, обнаруженный дефект не может ассоциироваться с остеомой.

При макроморфологическом анализе черепа отмечено, что наружная пластинка в этой области не задействована в патологическом процессе. Следовательно, можно предположить, что это не результат травмы кости. Однако чтобы отличить НФИ от кальцинированных новообразований, таких как субдуральная гематома (нередко последствие тупых травм головы), необходимо просмотреть дефект по срезам. При лобном внутреннем гиперостозе нарост на лобной кости непрерывен и можно четко отследить его связь с диплоэ и изменением внутренней пластинки. Кальцинаты чаще всего гетерогенны, располагаются над поверхностью внутренней пластинки черепа, в процессе кальцинации не задействовано диплоэ. Следует отказаться и от диагноза менигиомы, которая диффузно поражает кости черепа. Таким образом, обнаруженный дефект можно оценить как раннюю стадию НФИ.

Тип В. В серии было обнаружено 2 черепа с признаками, которые ассоциируются с НФИ по типу В: мужчина в возрасте Adultus (Беляус, КО 319-27/1) и женщина в возрасте Senilis (Пензенская губерния, № 63). Оба случая демонстрируют на лобной кости дефекты, сходные с описанным выше случаем лобного гиперостоза по типу А в серии Неаполь-Скифский (№ 10788, женщина, Adultus), но захватывают относительно этого случая больший по площади объем кости (рис. 4, 4-2). Поскольку структура и характер ранних стадий НФИ были дифференцированы выше, отметим лишь, что дефект по типу В дифференцируется от типа А по объему занимаемой поверхности лобной кости — он больше, чем в случае типа А, но занимает менее 25 % [Hershkovitz et al., 1999].

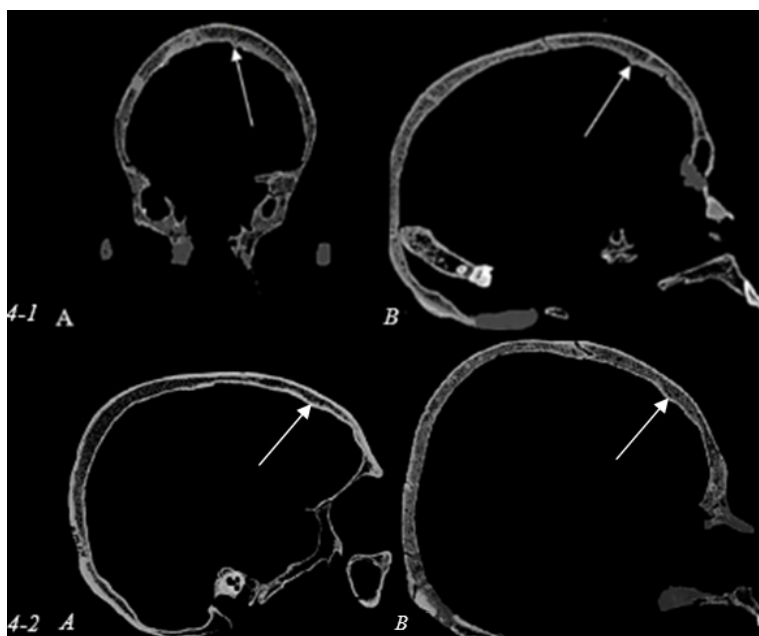


Рис. 4. 4-1. Компьютерная томография черепа из серии Неаполь-Скифский (№ 10788, женщина, Adultus).

Стрелками указан дефект внутренней пластинки лобной кости. НФИ по типу А:

А — 2D-срез изображения во фронтальной плоскости; В — 2D-срез изображения в сагиттальной плоскости.

4-2. Срезы КТ в сагиттальной плоскости черепов, НФИ по типу В. Стрелками указана локализация дефекта:

А — череп из серии Бутский могильник, Пензенская губерния (№ 63, женщина, Senilis);

В — череп из серии Беляус (КО 319 27/1, мужчина, Adultus).

Fig. 4. 4-1. Computed tomography of the skull from the Naples-Scythian series (№ 10788, female, Adultus).

The arrows indicate a defect in the inner surface of the frontal bone. HFI A:

A — 2D slice of the image in the frontal section; B — 2D image slice in the sagittal section.

4-2. CT slices in the sagittal section of skulls, HFI B. Arrows indicate localization of the defect:

A — Skull from the series of Butskiy cemetery, Penza Gubernia (№ 63, female, Senilis);

B — Skull from the Belyaus series (КО 319 27/1, male, Adultus).

Тип С. При анализе коллекций обнаружено 6 черепов с признаками, которые ассоциируются с НФИ по типу С (2 женских и 4 мужских). Отмечено равномерное распределение случаев по возрасту (2 Adultus, 2 Maturus и 2 Senilis) (табл. 2).

На снимках компьютерной томографии лобный внутренний гиперостоз по типу С лучше всего дифференцируется на 2D-срезах при методичном послойном «пролистывании» обнаруженного дефекта. В целом у всех индивидуумов фиксируются симметричные узловатые нерегулярные утолщения диплоэ и внутренней пластинки, занимающие в целом более 50 % поверхности лобной кости. Во всех случаях мы отметили активную вовлеченность в патологический процесс диплоэ, когда фиксируется реорганизация нормальной костной структуры в зоне дефекта (рис. 5-А). На рис. 5 на трехмерной модели видна область диффузного распределения узловатых утолщений у молодой женщины.

В дифференциальную диагностику помимо вероятной поздней стадии НФИ надо включить такие патологии, как акромегалия, фиброзная дисплазия и болезнь Педжета. Основным критерием дифференцировки в данном случае будет распространенность поражения на эндокроне. Необходимо осмотреть череп целиком, и, если дефект выходит за пределы лобной кости, можно с уверенностью исключить НФИ. Важно отметить, что в этих случаях мы фиксируем, что дефект двусторонний, не заходит в область сагиттального синуса, ограничен лобной костью и не распространяется на другие кости черепа. Все выявленные особенности указывают на позднюю стадию НФИ.

Кроме того, в пользу диагноза НФИ говорит и морфология патологических изменений. Мы отказываемся от диагноза акромегалии, так как при этой патологии утолщается как слой диплоэ, так и наружная пластинка черепа, в нашем же случае отмечаются изменения диплоэ и внутренней пластинки. Также следует исключить диагнозы фиброзной дисплазии (утолщается слой диплоэ, а наружная и внутренняя пластинки истончены) и болезнь Педжета. При болезни Педжета на КТ будет визуализироваться заметное увеличение слоя диплоэ с неравномерно распределенными очагами просветления и затемнения на протяжении всего свода черепа, тогда как при НФИ изменение диплоэ действует лишь лобную кость. Кроме того, при НФИ диплоэ уплотняется вблизи внутренней пластинки в области дефекта, формируя светлую окантовку, которую лучше всего видно на срезах в аксиальной плоскости. Внутренняя пластинка на поздних стадиях становится порозной и разреженной. Таким образом, в обнаруженных нами случаях представлены все критерии стадии С лобного внутреннего гиперостоза.

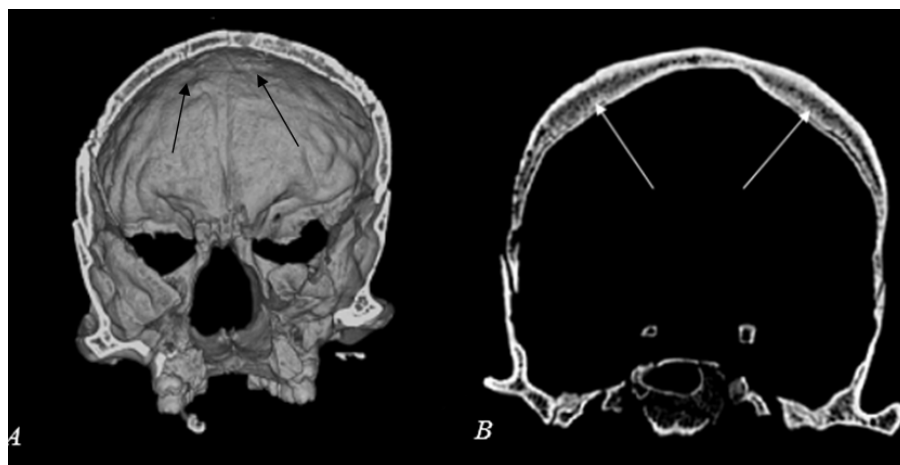


Рис. 5. Компьютерная томография черепа из неолитической серии Вовниги (№ 9487, женщина, Adultus):

А — компьютерная 3D-модель черепа; В — 2D-срез изображения во фронтальной плоскости.

Стрелками указаны области реорганизации диплоэ и внутренней пластинки. НФИ, тип С.

Fig. 5. Computed tomography of the skull from the Neolithic Vovnigi series (№ 9487, female, Adultus):

A — 3D model of the skull; B — 2D slice in the frontal section.

The arrows indicate areas of reorganization of the diploë and inner lamina. HFI C.

При анализе спектра причин НФИ важно фиксировать посттравматические и инфекционные последствия, вызывающие хронический воспалительный процесс твердой мозговой оболочки в области лобной кости. По литературным данным известны случаи посттравматического развития НФИ даже у индивидуумов детского возраста [Li et al., 2017]. В качестве примера возможного

влияния хронической инфекции рассмотрим дефекты на внутренней поверхности лобной кости женского черепа из серии Сосьва и Сычва (манси) с признаками третичного сифилиса (рис. 6D). При морфологическом анализе и по снимкам КТ были выявлены изменения рельефа внутренней поверхности лобной кости в виде неравномерных наростов по обеим сторонам от сагиттального синуса (рис. 6A). На этом фронтальном срезе видно, что возвышения строго располагаются по обеим сторонам от сагиттального синуса и не заходят на его поверхность. На снимках компьютерной томографии микроструктура дефектов лучше всего определяется на срезах в аксиальной и сагиттальной плоскостях (рис. 6B, C). На аксиальной плоскости уплотнение диплоэ отмечается по гиперинтенсивному сигналу вблизи внутренней пластинки лобной кости (рис. 6B). В сагиттальной — дефекты визуализируются как утолщенные площадки с «выпячиванием» контура нижней пластинки внутрь полости черепа (рис. 6C).

Стоит обратить внимание на то, что на 3D-модели изменения рельефа читаются невнятно, поэтому лишь 2D-проекции позволяют в ходе дифференциальной диагностики прийти к диагнозу НФИ по типу С. На внешней стороне черепа в зоне эдокраниального дефекта фиксируется проявление третичного сифилиса — типичное для заболевания гуммозное поражение, представленное глубоким дефектом лобной кости вблизи венечного шва (цифра 3, рис. 6B, D). По клиническим данным в ходе рентгеновского исследования известно, что третичный сифилис, значительно разрушая все слои костной структуры лобной кости, распространяется на костный мозг, вызывая остеомиелит [Рейнберг, 1964]. Такие значительные перестройки костной ткани с длительным воспалительным процессом влияют в целом на костную структуру лобной кости, что не исключает и развитие НФИ.

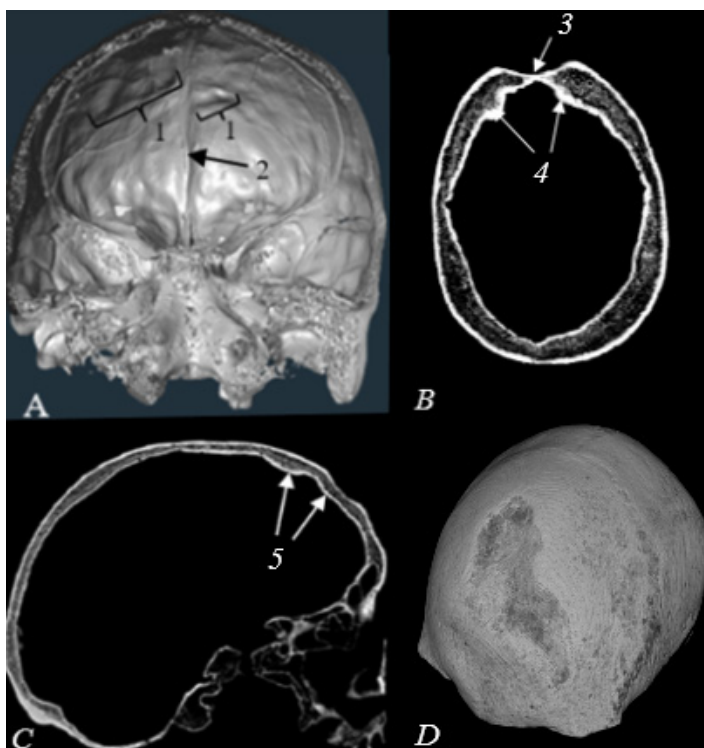


Рис. 6. Компьютерная томография черепа из серии Сосьва и Сычва, манси (№ 4377, женщина, Senilis):
 А — 3D-модель черепа, фронтальный срез. Скобками указана область и размеры поражения на лобной кости (1), стрелкой указан сагиттальный синус (2); В — 2D-срез изображения в аксиальной плоскости в месте сифилитической гуммы. Стрелками указаны края деструкции костной ткани (3) и увеличение плотности диплоэ в месте дефекта (4); С — 2D-срез изображения в сагиттальной плоскости. Стрелкой указано «выпячивание» диплоэ внутрь полости черепа (5);
 D — 3D-модель черепа с сифилитической гуммой на лобной кости.

Fig. 6. Computed tomography of the skull from the Sosieva and Sychva, Mansi series (№ 4377, female, Senilis):
 А — 3D model of the skull, frontal section. The brackets indicate the area and size of the lesion on the frontal bone (1), the arrow indicates the sagittal sinus (2); В — 2D image section in the axial plane at the site of syphilitic gumma. The arrows indicate the margins of bone destruction (3) and the increase in the density of the diploë in the defect site (4); С — 2D slice of the image in the sagittal section. The arrow indicates the “protrusion” of the diploë inside the cranium (5);
 D — 3D model of the skull with syphilitic gumma on the frontal bone.

Подводя итоги использования метода КТ в диагностике процессов лобного гиперостоза на ископаемом материале, отметим, что с учетом предложенных разными исследователями моделей развития дефекта на эндокроне лобной кости как на ранних (тип А и В), так и на поздних стадиях (в нашем исследовании только тип С) отчетливо зафиксированы только изменения диплоэ. Более детальный анализ патологической структуры этой части методом КТ дает возможность в будущем при накоплении статистически достоверного количества случаев построить диагностические критерии типов НFI с опорой на изменение диплоэ. Это особенно актуально при изучении фрагментированных ископаемых останков, когда в поле исследователя попадает далеко не полный по составу череп. Заметим, что лишь в некоторых случаях мы отмечали незначительную поротизацию компакты внутренней пластинки черепа, что значительно усложняет диагностику НFI с опорой на стандартную методику «глобальной» модели. Мы не исключаем, что это связано с техническими возможностями примененного метода. Очевидно, изменения нижней пластинки лучше всего фиксируются методами микро-КТ. Тем не менее необходимость использования КТ в дифференциальной диагностике НFI не снижается, так как именно этот метод позволяет избежать случаев гипердиагностики, в особенности при морфологическом визуальном анализе начальных стадий гиперостоза или черепов с посмертными артефактами, имитирующими данную патологию.

Заключение

Анализ коллекции снимков компьютерной томографии позволил вывести ряд практических рекомендаций для обнаружения, оценки и дифференциальной диагностики лобного внутреннего гиперостоза на снимках КТ. Важно оценить целостность черепа, состояние лобной кости и других костей черепа для исключения диффузных патологических изменений, сходных по характеру с НFI.

При обнаружении дефекта на эндокроне лобной кости следует обратить внимание на его локализацию, границы и распространенность. На 2D-срезах оценить состояние диплоэ и нижней пластинки лобной кости и сравнить его с остальными слоями в других отделах свода черепа. Оценку рельефа внутренней поверхности лобной кости необходимо проводить на 2D-срезах в различных проекциях.

Дифференцировать патологию нужно исходя из данных о локализации, распространенности, включенности других костных структур черепа, а также состоянии диплоэ и внутренней пластинки лобной кости. Следует обращать внимание на возраст индивидуума, поскольку НFI крайне редко встречается у подростков. При обнаружении такого случая необходимо провести более детальную диагностику, возможно, с применением дополнительных методов.

Данная методика будет полезна при сравнительном исследовании с применением морфологических и радиологических критериев, что позволит в будущем исключать сомнительные случаи при анализе патологии на палеоантропологическом материале. Кроме того, сопоставление современных клинических данных и археологических случаев методами КТ позволит оценить сходство и различия процессов образования НFI у древнего и современного населения.

Благодарности. Авторы приносят благодарность профессору Тель-Авивского университета И. Гершковичу (I. Hershkovitz) за предоставленную возможность исследовать коллекцию КТ краниологической серии бедуинов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № 075-10-2020-116 (грант № 13.1902.21.0023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Т.И., Ефимова С.Г., Эренбург Р.Б. Краниологические и остеологические коллекции Института и Музея антропологии МГУ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 224 с.
- Бужилова А.П. Homo Sapiens: История болезни. М.: Языки славянской культуры, 2005. 321 с.
- Бужилова А.П., Колясникова А.С. Hyperostosis frontalis interna в арктических группах по материалам современных краниологических коллекций // Вестник МГУ. Антропология. 2021. № 23 (2). С. 102–120. <https://doi.org/10.32521/2074-8132.2021.2.102-120>
- Осипенко Е.В., Карпищенко С.А., Сопко О.Н., Верещагина О.Е. Компьютерная томография в диагностике остеом околоносовых пазух // Лучевая диагностика и терапия. 2014. № 4 (5). С. 68–73.
- Перерва В.П. К вопросу о палеопатологических особенностях у сарматов 4–1 вв. до н.э. с территории Нижнего Поволжья и Нижнего Дона // Вестник Волгogr. гос. ун-та. Сер. 4, Ист. 2015. № 5 (35). <http://doi.org/10.15688/jvolsu4.2015.5.6>
- Рейнберг С.А. Рентгенодиагностика заболеваний костей и суставов. М.: Медицина, 1964. Т. 1. 532 с.
- Armelagos G.J., Chrisman O.D. Hyperostosis frontalis interna: a Nubian case // Am J Phys Anthropol. 1988. № 76 (1). P. 25–8. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330760103>. PMID: 3044135.

- Bracanovic D., Djonic D., Nikolic S., Milovanovic P., Rakocevic Z., Zivkovic V., Djuric M. 3D-Microarchitectural patterns of Hyperostosis frontalis interna: A micro-computed tomography study in aged women // J Anat. 2016. № 229 (5). P. 673–680. <https://doi.org/10.1111/joa.12506>. Epub 2016 Jun 9. PMID: 27279170; PMCID: PMC5055089.
- Calame M. L'hyperostose frontale interne (Hyperostosis frontalis interna). Rev Med Suisse Romande. 1951. № 71 (11). 748–50. PMID: 14912752.
- Gegick C.G., Danowski T.S., Khurana R.C., Vidalon C., Nolan S., Stephan T., Chae S., Wingard L. Hyperostosis frontalis interna and hyperphosphatasemia // Ann. Intern. Med. 1973. № 79. P. 71–75.
- Hajdu T., Fóthi E., Bernert Z., Molnár E., Lovász G., Kóvári I., Köhler K., Marcsik A. Appearance of hyperostosis frontalis interna in some osteoarcheological series from Hungary // Homo. 2009. № 60. P. 185–205.
- Hershkovitz I., Greenwald C., Rothschild B.M., Latimer B., Dutour O., et al. Hyperostosis frontalis interna: An anthropological perspective // Am. J. Phys. Anthropol. 1999. № 109. P. 303–325.
- Knies P.T., Le Fever H.E. Metabolic craniopathy: Hyperostosis frontalis interna // Ann. Intern. Med. 1941. № 14. P. 1858–1892.
- Lazer E. Revealing secrets of a lost city // Medical Journal of Australia. 1996. № 165 (11–12). P. 620–623. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1996.tb138666.x>
- May H., Peled N., Dar G., Hay O., Abbas J., Masharawi Y., Hershkovitz I. Identifying and classifying hyperostosis frontalis interna via computerized tomography // Anat Rec (Hoboken). 2010. № 293 (12). P. 2007–11. <https://doi.org/10.1002/ar.21274>. PMID: 21046669
- May H., Peled N., Dar G., Abbas J., Hershkovitz I. Hyperostosis frontalis interna: What does it tell us about our health? // Am. J. Hum. Biol. 2011. № 23. P. 392–397. <https://doi.org/10.1002/ajhb.21156>
- Moore S. *Hyperostosis Cranii*. Illinois, CC. Thomas, Springfield, 1955. 226 p.
- Morel F. *L'Hyperostose Frontale Interne*. Geneva: Chapalay and Mottier, 1929.
- Murczyński C. Rentgenologia kliniczna. Warszawa: PZWL. 1952.
- Perou M. Cranial hyperostosis. Springfield, IL: Charles C. Thomas, 1964. 157 p.
- Raikos A., Paraskevas G.K., Yusuf F., Kordali P., Meditskou S. et al. Etiopathogenesis of hyperostosis frontalis interna: A mystery still // Ann. Anat. 2011. № 193. P. 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2011.05.004>
- Richter L. Zur Hyperostose des Stirnbeins // Rontgenpraxis. 1939. № 11. P. 651–662.
- Rosatti P. Une famille atteinte d'hyperostose frontale interne (syndrome de Morgagni-Morel) a travers quatre generations successive // J. Genet. Hum. 1972. № 20. P. 207–252.
- Ruhli F.J., Boni T., Henneberg M. Hyperostosis frontalis interna: Archaeological evidence of possible micro-evolution of human sex steroids // Homo J Comp Hum Biol. 2004. № 55. P. 91–99.
- Szeniczey T., Marcsik A., Ács Z., Balassa T., Bernert Z., et al. Hyperostosis frontalis interna in ancient populations from the Carpathian Basin — A possible relationship between lifestyle and risk of development // Int J Paleopathol. 2019. № 24. P. 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.10.003>
- Temtamy S.A., McKusick V.A. The Genetics of Hand Malformations. N. Y.: Alan R. Liss New York, 1978. 301 p.
- Thevoz F. The dura mater and its vessels in the morphogenesis of hyperostosis frontalis interna // Ann. Anat. Pathol. (Paris). 1966. № 11 (2). P. 121–149.
- Waldron T. Paleopathology. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 279 p.
- Watrous A.C., Anton S.C., Plourde A.M. Hyperostosis frontalis interna in ancient Egyptians // Am J Phys Anthropol. 1993. № 16. P. 205.
- Western A.G., Bekvalac J.J. Hyperostosis frontalis interna in female historic skeletal populations: Age, sex hormones and the impact of industrialization // American Journal of Physical Anthropology. 2017. № 162 (3). P. 501–515. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23133>
- Yaxiong Li, Xin Wang, Yan Li. Hyperostosis Frontalis Interna in a Child With Severe Traumatic Brain Injury // Child neuro open. 2017. № 4. <https://doi.org/10.1177/2329048X17700556>.

Buzhilova A.P.^{a,*}, Kolyasnikova A.S.^b

^a Lomonosov Moscow State University, Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology
Mokhovaya st., 11, Moscow, 125009, Russian Federation

^b Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Anthropology
Leninskie Gory, 1(12), Moscow, 119234, Russian Federation
E-mail: albu_pa@mail.ru (Buzhilova A.P.); kas181994@yandex.ru (Kolyasnikova A.S.)

Methodological aspects of differentiation of *hyperostosis frontalis interna* based on computed tomography of the skulls

Hyperostosis frontalis interna (HFI) is a pathological condition characterized by bilateral thickening of the inner surface of the frontal bone. HFI is often an incidental finding during routine clinical examinations of patients by computed tomography. The etiology of the condition is currently unknown, but HFI commonly appears with a

* Corresponding author.

number of metabolic disorders and hormonal dysfunctions. According to studies, *hyperostosis frontalis interna* is more common in women than in men. Frequency of HFI is increasing in the modern population. In this study, 195 CT scans of mature individuals of various sex and ages were analyzed using the Amira 2020.1 software: 145 CT scans of skulls from the collections of the Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, Moscow State University and 50 CT scans of Israeli Bedouins from the Institute's exchange collection (with the University of Tel-Aviv, Israel). Nine cases of *hyperostosis frontalis interna* (5 in males and 4 in females) were found among the analyzed scans. A three-step algorithm for identifying HFI was generated, as well as criteria for distinguishing *hyperostosis frontalis interna* from other endocranial bony overgrowths. The integrity of the skull, the condition of the frontal bone and other skull bones should be evaluated to exclude diffuse pathological changes which are morphologically close to HFI. Also a researcher should pay attention to the localization of the growths, their boundaries and prevalence. The condition of the diploe and endocranial plate of the frontal bone should be evaluated and compared it with other layers in other bones of the skull on 2D slices. Evaluation of the relief of the internal surface of the frontal bone should be performed on 2D slices in different sections. The pathology should be distinguished using data of localization, prevalence, involvement of other bone structures of the skull, as well as the condition of the diploe and inner surface of the frontal bone. The method can be useful for a comparative study using morphological and radiological criteria, which will help to exclude doubtful cases during analyzing pathology on paleoanthropological material.

Keywords: *hyperostosis frontalis interna*, HFI, paleoanthropology, CT scan, palaeopathology, metabolic diseases.

Acknowledgements. The authors would like to thank Professor I. Hershkovitz of Tel Aviv University for the opportunity to examine the CT collection of the Bedouin craniological series.

Funding. This study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, system number 075-10-2020-116 (grant number 13.1902.21.0023).

REFERENCES

- Alexeeva, T.I., Yefimova, S.G., Erenbourg, R.B. (1986). *Craniological and osteological collections of the Institute and Museum of Anthropology, MSU*. Moscow, MSU Publ. (Rus.).
- Armelagos, G.J., & Chrisman, O.D. (1988). Hyperostosis frontalis interna: A Nubian case. *American Journal of Physical Anthropology*, 76(1), 25–28. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330760103>
- Bracanovic, D., Djonic, D., Nikolic, S., Milovanovic, P., Rakocevic, Z., Zivkovic, V., & Djuric, M. (2016). 3D-Microarchitectural patterns of Hyperostosis frontalis interna: A micro-computed tomography study in aged women. *Journal of Anatomy*, 229(5), 673–680. <https://doi.org/10.1111/joa.12506>
- Buzhilova, A.P., Kolyasnikova, A.S. (2021). Hyperostosis frontalis interna in Arctic groups according to craniology. *Moscow University Anthropology Bulletin (Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria XXIII. Antropologia)*, 2, 102–120. (Rus.). <https://doi.org/10.32521/2074-8132.2021.2.102-120>
- Buzhilova, A.P. (2005). *Homo sapiens: Disease history*. Moscow: Yazyki slavyanskoy kul'tury. (Rus.).
- Calame, M. (1951). L'hyperostose frontale interne (Hyperostosis frontalis interna). *Rev Med Suisse Romande*, 71(11), 748–50. PMID: 14912752.
- Gegick, C.G. (1973). Hyperostosis Frontalis Interna and Hyperphosphatasemia. *Annals of Internal Medicine*, 79(1), 71–75. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-79-1-71>
- Hajdu, T., Fóthi, E., Bernert, Z., Molnár, E., Lovász, G., Ko'vári, I., Köhler, K., & Marcsik, A. (2009). Appearance of hyperostosis frontalis interna in some osteoarcheological series from Hungary. *HOMO*, 60(3), 185–205. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2008.07.004>
- Hershkovitz, I., Greenwald, C., Rothschild, B.M., Latimer, B., Dutour, O., Jellema, L.M., & Wish-Baratz, S. (1999). Hyperostosis frontalis interna: An anthropological perspective. *American Journal of Physical Anthropology*, 109(3), 303–325.
- Knies, P.T., Le Fever, H.E. (1941). Metabolic craniopathy: Hyperostosis frontalis interna. (1941). *Annals of Internal Medicine*, 14(10), 1858–1892. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-14-10-1858>
- Lazer, E. (1996). Revealing secrets of a lost city. *Medical Journal of Australia*, 165(11–12), 620–623. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.1996.tb138666.x>
- May, H., Peled, N., Dar, G., Abbas, J., & Hershkovitz, I. (2011). Hyperostosis frontalis interna: What does it tell us about our health? *American Journal of Human Biology*, 23(3), 392–397. <https://doi.org/10.1002/ajhb.21156>
- May, H., Peled, N., Dar, G., Hay, O., Abbas, J., Masharawi, Y., & Hershkovitz, I. (2010). Identifying and classifying hyperostosis frontalis interna via computerized tomography. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, 293(12), 2007–2011. <https://doi.org/10.1002/ar.21274>
- Moore, S. (1955). *Hyperostosis Cranii*. Illinois, CC. Thomas, Springfield.
- Morel, F. (1929). *L'Hyperostose Frontale Interne*. Geneva: Chapalay and Mottier.
- Murczyński, C. (1952). *Rentgenologia kliniczna*. Warszawa: PZWL.
- Osipenko, E.B., Karpischenko, S.A., Sopko, O.N., Vereschagina, O.E. (2014). Computer tomography in the diagnosis of paranasal sinuses osteomas. *Luchevaya diagnostika i terapiya*, 4(5), 68–73. (Rus.).

Методические аспекты дифференциации лобного внутреннего гиперостоза...

- Pererva, E. (2015). On the Paleopathological Features of the Sarmatian Population of the Lower Volga and the Lower Don Regions in the 4th–1st Centuries B.C. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Serija 4, Istorija. Regionovedenie. Mezhdunarodnye Otnoshenija*, (5), 53–66. (Rus.). <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2015.5.6>
- Perou, M. (1964). *Cranial hyperostosis*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Raikos, A., Paraskevas, G. K., Yusuf, F., Kordali, P., Meditskou, S., Al-Haj, A., & Brand-Saberi, B. (2011). Etiopathogenesis of hyperostosis frontalis interna: A mystery still. *Annals of Anatomy — Anatomischer Anzeiger*, 193(5), 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2011.05.004>
- Reynberg S.A. (1964). *X-ray diagnosis of musculoskeletal disorders. Vol. 1*. 4th ed. Moscow: Meditsina Publ. (Rus.).
- Richter, L. (1939). Zur Hyperostose des Stirnbeins. *Rontgenpraxis*, (11), 651–662.
- Rosatti, P. (1972). Une famille atteinte d'hyperostose frontale interne (syndrome de Morgagni-Morel) a travers quatre generations successive. *J. Genet. Hum*, (20), 207–252.
- Rühli, F., Böni, T., & Henneberg, M. (2004). Hyperostosis frontalis interna: Archaeological evidence of possible microevolution of human sex steroids? *HOMO*, 55(1–2), 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2004.04.003>
- Szeniczey, T., Marcsik, A., ÁCs, Z., Balassa, T., Bernert, Z., Bakó, K., Czuppon, T., Endrődi, A., Évinger, S., Farkas, Z., Hlavenková, L., Hoppál, K., Kálmán Kiss, C., Kiss, K., Kocsis, K., Kovács, L. O., Kovács, P. F., Köhler, K., Költő, L., Hajdu, T. (2019). Hyperostosis frontalis interna in ancient populations from the Carpathian Basin — A possible relationship between lifestyle and risk of development. *International Journal of Paleopathology*, (24), 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.10.003>
- Temtamy, S.A., & McKusick, V.A. (1978). *The Genetics of Hand Malformations*. Wiley.
- Thevoz, F. (1966). The dura mater and its vessels in the morphogenesis of hyperostosis frontalis interna. *Ann. Anat. Pathol. (Paris)*, 11(2), 121–149.
- Waldron, T. (2009). *Paleopathology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Watrous, A.C., Anton, S.C., Plourde, A.M. (1993). Hyperostosis frontalis interna in ancient Egyptians. *Am J Phys Anthropol*, (16), 205.
- Western, A.G., & Bekvalac, J.J. (2016). Hyperostosis frontalis interna in female historic skeletal populations: Age, sex hormones and the impact of industrialization. *American Journal of Physical Anthropology*, 162(3), 501–515. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23133>
- Yaxiong, Li, Xin, Wang, Yan, Li (2017). Hyperostosis Frontalis Interna in a Child With Severe Traumatic Brain Injury. *Child Neurology Open*, (4), 2329048X1770055. <https://doi.org/10.1177/2329048x17700556>

Бужилова А.П., <https://orcid.org/0000-0001-6398-2177>

Колясникова А., <https://orcid.org/0000-0003-2278-5948>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Accepted: 03.03.2022

Article is published: 15.06.2022