

На правах рукописи



**МАТЮШЕЧКИН
Сергей Викторович**

**ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА РОСТА И СИНОСТОЗИРОВАНИЯ
КОСТЕЙ ДИСТАЛЬНОГО ОТДЕЛА ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ В
СРАВНИТЕЛЬНО-ЭТНИЧЕСКОМ АСПЕКТЕ**

14.03.01 - Анатомия человека
(биологические науки)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Санкт-Петербург – 2022

Работа выполнена на кафедре морфологии и патологии Частного учреждения - образовательной организации высшего образования Университет РЕАВИЗ

Научный консультант:

доктор медицинских наук, профессор

Хайруллин Радик Магзинурович

Официальные оппоненты:

Година Елена Зиновьевна – доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова), Научно-исследовательский институт и музей антропологии, главный научный сотрудник

Абрамова Тамара Федоровна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр физической культуры и спорта» Министерства спорта Российской Федерации, лаборатория проблем комплексного сопровождения спортивной подготовки, заведующая лабораторией

Шведовченко Игорь Владимирович - доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А Альбрехта» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации, научный руководитель

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Защита диссертации состоится « 31 » мая 2022 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 208.087.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д.2)

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России (194223, г. Санкт – Петербург, проспект Мориса Тореза, д. 39) и на сайте ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России <http://gpmu.org>

Автореферат разослан «____» 2022 г.

**Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор медицинских наук, профессор**

Кульбах Ольга Станиславовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Географические вариации роста, морфологических и физиологических признаков организма человека достаточно велики, и то, что является референсной нормой для одного географического региона, для другого может рассматриваться как отклонение. Специфичность адаптации жителей отдельной этно-территориальной принадлежности, представляет собой определенный оптимум, сформировавшийся в ряду поколений. С фундаментальной, общебиологической точки зрения и разработанной рядом отечественных исследователей концепции адаптивных фенотипов, анализ закономерностей этно-территориальной анатомической изменчивости имеет существенное значение для понимания широты нормы биологической реакции разных человеческих популяций на воздействие факторов природной и социальной среды (Алексеева, 1989).

Адаптивные фенотипы формируются не только на определенной генетической основе и закрепленных наследственно структурно-функциональных реакциях, но и путем экзогенных воздействий в наиболее чувствительные к ним периоды раннего онтогенеза. В этом смысле можно допустить существование не только дефинитивных взрослых, но и детских адаптивных фенотипов, представляющих собой совокупность пластических ответных реакций, в результате которых впоследствии формируются те или иные адаптивные популяционные фенотипы взрослых людей. Высокая экологическая чувствительность свойственна на ранних этапах физическому развитию ребенка, которое может расцениваться как надежный и верифицированный во многих исследованиях показатель уровня здоровья детского населения (Баранов с соавт., 2013).

Важнейшим критерием оценки роста и физического развития детей и подростков, их соответствие возрастным закономерностям является скелетная зрелость (Туркина, Швырина, 2001). Отдельные стадии остеогенеза позволяют оценивать уровень биологической зрелости детей, и этот процесс наиболее объективно отражает процессы развития и роста всего организма в целом (Хисамутдинова, Комиссарова, 2020). С точки зрения адекватности и точности методологии и методов определения закономерностей скелетного созревания рентгенологические исследования развития скелета кисти и дистального отдела предплечья являются наиболее информативными (Хисамутдинова, Карелина, 2017).

Скелет кисти, являющийся высокоспециализированной и анатомически сложной частью опорно-двигательного аппарата человека, отражает как

эндогенные возрастные закономерности роста скелета, так и влияние экологических, манипуляционных, нутритивных, а впоследствии и социально-профессиональных факторов. Состояние скелета кости на отдельных этапах онтогенеза может интегрально отражать всю совокупность адаптационных формообразующих влияний на рост и развитие организма в целом (Мирзоев, 1987; Никитюк с соавт., 1973, 1978, 1979; Привес 1956, 1959; Синёва, Бахолдина, 2012, Хайруллин, 2001, 2009, 2011, 2013-2014; Крикун с соавт, 2014). Согласно экспертным оценкам из всех методов исследований скелета кости наиболее информативным остается рентгеновский (Rösing M. et al., 2007; Franklin et al., 2015).

Для формирования представления об адаптивных фенотипах, поиска надежных анатомических критериев, характеризующих их специфичность, а также установления факторов способствующих формированию детских адаптивных фенотипических групп, необходимо сравнивать, прежде всего, популяции с максимальным числом этно-территориальных различий. Группа таджикскогоaborигенного населения «вилояти» представлена смешанной группой жителей городов, оазисов и сельских поселений (Турсунов, 2018). Дети этой группы проживают в географической зоне субтропического континентального климата, питаются пищей преимущественно животного происхождения и подвержены значительной солнечной инсоляции, сочетающейся с достаточно высокой физической активностью. Дети индо-аравийской группы населения современного индийского мегаполиса Мумбаи, проживающие в условиях тропического муссонного климата, традиционно питаются в большей мере пищей растительного происхождения и имеют умеренную фосфорно-кальциевую недостаточность (Алексеева Т.И., 2004), 80-85% этих детей также страдают от дефицита витамина D, несмотря на достаточное количество солнечной инсоляции (Harinarayan et al., 2008, 2019, 2021).

Исследование физического развития и скелетного созревания таких значительно разнящихся этно-территориальных детских популяций имеет не только теоретическое, но и существенное научно-практическое прикладное значение. Российскую Федерацию, Республику Таджикистан и Республику Индия связывают многогранные и многолетние исторически сложившиеся связи. Таджикистан и Индия являются давними партнерами Российской Федерации, проводят совместную и плодотворную работу в рамках Шанхайской Организации Сотрудничества (ШОС). Подписано межправительственное соглашение о сотрудничестве в сфере здравоохранения для решения общих проблем, в том числе в сфере детского

здравоохранения (1995) ([URL:<https://nic.gov.ru/ru/docs/foreign/collaboration/bycountry>](https://nic.gov.ru/ru/docs/foreign/collaboration/bycountry)).

Последние десятилетия характеризуются значительным усилением миграционных процессов в нашей стране, что обуславливает необходимость создания и разработки биоинформационных баз данных для оценки уровня физического развития и роста детей-мигрантов, его мониторинга, разработки коррекционных программ, ранней диагностики и профилактики нарушений. Биоинформационные базы данных, основанные на инструментальных рентгено-остеометрических исследованиях, имеют важное значение для клиницистов, педиатров, травматологов и судебных медиков (Лагунова, 1981; Стерлин, Болгова, Быкова, 1994; Бикбаева, Алешкина, Николенко, 2015; Пиголкин, Черепов, Гончарова, Федулова, 2004). Они востребованы при проведении высокотехнологических операций остеосинтеза и эндопротезирования, ремоделирования, создания биомехатронных аналогов при дефектах развития и травматических поражениях. Эти данные позволяют точно устанавливать не только возраст, но и пол, расу, индивидуальные идентифицирующие параметры (Неклюдов, 1965, 1967; Попов, 1999; Щербаков, 2000; Пиголкин, Федулова, Гончарова, 2006; Звягин, Синева, 2007; Звягин, Замятина, 2008; Кильдюшов, 2020; Evaluation..., 1999; Khanpatch et al., 2011; Nemade et al., 2014; Hassan et al., 2016).

Таким образом, проблема исследования биологического содержания и структурной анатомической основы этно-территориальных различий детских популяций в русле концепции адаптивных фенотипов имеет как актуальную теоретическую, так и научно-практическое значимость.

Степень разработанности темы исследования

Разработка региональных стандартов физического развития детей, создание современной нормативной базы с учетом этнического состава населения, климатогеографических, социально-экономических условий, а также уклада жизни позволит оптимизировать профилактические осмотры детей (Баранов с соавт., 2013). Для оценки сложного динамического процесса роста детей и подростков использование региональных стандартов является более предпочтительным (Година, Хомякова, 2013).

У жителей Индии процесс появления центров окостенения костей кисти изучен слабо. Имеющиеся работы относятся к пренатальному и околонатальному периодам и выполнены в средней трети прошлого века, поэтому могут считаться устаревшими или ограничиваются изучением костей запястья, костей локтевого сустава (Basu, 1938; Basu et al., 1938; Garg, 1955; Hasan, 1963; Jit, 1957; Jit et al., 1968, 1971; Nemade et al., 2014). Для судебно-

медицинского идентификации личности необходимо устанавливать такие признаки, как возраст, пол, раса и рост, которые служат источником дополнительной информации, особенно при техногенных катастрофах, когда для экспертизы представлены отдельные останки (Khanpatch et al., 2011). В то же время, следует учитывать, что достоверность в установлении роста по размерам отдельных костей повышается, когда используются регрессионные уравнения, учитывающие региональные и этнические особенности (Chikhalkar et al., 2010). В Индии неграмотное население не осуществляет должным образом регистрацию рождения детей, поэтому установление их возраста является важной задачей для экспертов (Patel et al., 2011; Nemade et al., 2014). Однако следует отметить, что в современной литературе полностью отсутствуют данные о возможности установления возраста и длины тела детей и подростков Таджикистана и Западной Индии по линейным параметрам костей кисти.

Цель исследования

Установление закономерностей возрастной динамики рентгено-остеометрических параметров и синостозирования костей дистального отдела верхней конечности и ее половые различия у детей и подростков разной этно-территориальной принадлежности.

Задачи исследования:

1. Создать базу данных рентгено-остеометрических параметров и синостозирования костей дистального отдела верхней конечности детей и подростков Таджикистана и Западной Индии
2. Установить динамику изменений рентгено-остеометрических параметров трубчатых костей у детей и подростков от 6 до 17 лет разной этно-территориальной принадлежности
3. Определить особенности синостозирования костей дистального отдела верхней конечности детей и подростков в возрасте от 6 до 17 лет разной этно-территориальной принадлежности и оценить возможность использования полученных данных для прогноза их возраста
4. Выявить половые различия в возрастной динамике рентгено-остеометрических параметров и синостозирования трубчатых костей у детей и подростков от 6 до 17 лет в зависимости от этно-территориальной принадлежности

5. Оценить степень адаптации к воздействию внешних факторов по рентгено-остеометрическим показателям трубчатых костей кисти у детей и подростков в возрасте 6-17 лет разной этно-территориальной принадлежности

6. Разработать диагностические уравнения регрессии для определения пола, возраста и длины тела по рентгено-остеометрическим параметрам костей кисти и синостозированию дистального эпифиза лучевой кости детей и подростков 6 -17 лет разной этно-территориальной принадлежности.

Научная новизна исследования

Впервые на значительном по объему рентгено-остеометрическом материале (25501 измерение) в сравнительном этно-территориальном аспекте с использованием современных методов статистического анализа установлены значения и изучена динамика линейных параметров длины, ширины диафиза, костномозговой полости и толщины компактного вещества трубчатых костей кисти у детей и подростков обоего пола Таджикистана и Западной Индии (г. Мумбай) в возрасте 6-17 лет. Создана и зарегистрирована в государственном реестре база данных рентгено-остеометрических параметров трубчатых костей кисти детей и подростков изученных регионов. С помощью анализа размера эффекта по Коэну проведена сравнительная оценка возрастных пиков увеличения длины и ширины диафиза трубчатых костей кисти, а также впервые в сравнительном аспекте установлена степень корреляционной зависимости между линейными параметрами трубчатых костей кисти и возрастом детей Таджикистана и Западной Индии. Изучены в сравнительном аспекте сроки появления точек окостенения и динамика синостозирования костей дистального отдела верхней конечности у таджикских и индийских детей в возрасте 6-17 лет. Установлены этно-территориальные различия, сформировавшиеся под воздействием эндогенных (наследственных) факторов таджикских и индийских детей и подростков. Впервые описаны изменения линейных параметров толщины компактного вещества диафиза и ширины костно-мозговой полости у детей Таджикистана и г. Мумбай, характер которых обоснован экзогенными влияниями на растущий скелет жителей этих регионов. На основе остеометрических параметров трубчатых костей кисти, полученных для каждой исследованной нации, впервые разработаны регрессионные модели для прогноза пола, возраста, длины тела детей и подростков Таджикистана и Западной Индии. Впервые проанализированы и получены результаты, позволяющие прогнозировать возраст детей и подростков современных жителей

Таджикистана и Западной Индии по срокам завершения синостозирования костей дистального отдела верхних конечностей. Установлены половые и этнические различия регрессионной зависимости между стадией окостенения дистального эпифиза лучевой кости, длиной тела и возрастом обследованных.

Научно-практическая значимость результатов

Научно-практическая значимость исследования определяется установлением статистически доказанных географических вариаций остеометрических параметров трубчатых костей кисти детей Таджикистана и Западной Индии 6-17 летнего возраста взаимосвязанных и сформировавшихся под воздействием совокупности эндогенных и экзогенных этно-территориальных факторов. Особенности анатомической изменчивости морфологических параметров костей дистального отдела верхней конечности и ее специфика обусловлены воздействием существенных различий этно-территориальной принадлежности и социальных условий обследованных детей, характером питания, которые сформировались в ряду многих поколений коренного населения Таджикистана и Западной Индии. Установленные закономерности анатомической изменчивости линейных параметров и этапов оссификации костей кисти не выходят за рамки общебиологических границ половой и возрастной изменчивости, но имеют высокую специфичность в зависимости от этно-территориальной принадлежности детей. Выявленная специфичность этих закономерностей служит надежным маркером особенностей роста и развития скелета конечностей и всего организма. С учетом современных направлений миграционных потоков в РФ, полученные данные об изменчивости остеометрических параметров трубчатых костей кисти и возрасте появления точек окостенения, а также о динамике процесса оссификации могут быть использованы при разработке нормативных таблиц для оценки физического развития таджикских детей и подростков в педиатрии. Данные о возрасте синостозирования у детей разной этно-территориальной принадлежности позволяют снижать процент ошибок при диагностике переломов у детей и подростков. Разработанные регрессионные модели оценки возраста и длины тела с учетом пола и этнической принадлежности и имеющие высокие значения коэффициента детерминации, могут быть использованы при установлении личности. Полученные данные могут найти применение в медицинской и криминалистической практике в отношении диагностики

паспортного возраста и исключать соответствующие диагностические ошибки.

Методология и методы исследования

Фундаментальные работы отечественных ученых анатомов, антропологов и судебных медиков (Я.Я. Рогинского (1978), В.Н. Шевкуненко (1935), М.Г. Привеса (1956, 1959), Т.И. Алексеевой (1989), О.М. Павловского (1987), Б.А. Никитюка (1968, 1973, 1975, 1976, 1978); Е.З. Годиной (2002, 2009–2010), В.Н. Звягина (2007– 2008); Ю.И. Пиголкина с соавт. (2006)) явились теоретической и методической основой данного диссертационного исследования. Методология работы заключалась в том, чтобы опираясь на концепцию индивидуальной анатомической изменчивости, установить объективно существующий её этно-территориальный компонент. Основой методологической базы являлись исходные принципы: объективность, системность, конкретность исследования и логико-теоретическая оценка. Принцип объективности заключался в создании репрезентативной, однородной выборки (одна территория, однородный этнический состав, правая кисть). В ходе работы использован системный подход, суть которого состояла в оценке закономерностей этно-территориального компонента анатомической изменчивости, сформировавшегося под влиянием эндо- и экзогенных факторов. Установленные численные значения линейных параметров трубчатых костей кисти, а также оценка стадии окостенения в костях дистального отдела верхней конечности послужили основой определения эмпирических зависимостей. При решении поставленных задач были использованы общенаучные методы: качественное и количественное наблюдение, формализация и конкретизация, математико-статистический анализ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Возрастные закономерности процессов роста и синостозирования костей дистального отдела верхней конечности у детей и подростков в современных популяциях имеют выраженные этно-территориальные различия.

2. Этно-территориальные различия проявляются в рамках общебиологических закономерностей полового диморфизма и этапности созревания костного скелета и заключаются в специфиности гетерохронии и возрастной динамики роста костей дистального отдела верхней конечности и

синостозирования у детей и подростков разного пола сравниваемых популяций.

3. С учетом этно-территориальной специфики гетерохронии, возрастной динамики роста и полового диморфизма линейные параметры, возраст появления точек оссификации и синостозирование трубчатых костей кисти могут служить надежными предикторами в регрессионных моделях прогнозирования возраста и длины тела детей и подростков сравниваемых популяций.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 14.03.01 – анатомия человека (биологические науки), исследование строения, макро- и микротопографии органов, их отделов, различных структурных компонентов у человека (пункт 1), определение нормативов строения тела, его частей, органов, их компонентов (в условиях нормы) с учетом возрастно-половой и другой типологии (пункт 2), определение анатомических преобразований тела, его частей в онтогенезе. (пункт 4), выявление влияния формообразующих факторов (пол, конституция, профессия, этно-территориальные факторы и др.) строения человеческого тела (пункт 6).

Внедрение результатов исследования

Результаты исследования внедрены в учебный процесс на кафедре морфологии и патологии Частного учреждения - образовательной организации высшего образования Университет РЕАВИЗ, на кафедре клинической анатомии и оперативной хирургии имени профессора М.Г. Привеса ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», кафедре анатомии человека ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет», в практическую работу Ташкентского областного филиала Республиканского научно-практического центра судебно-медицинской экспертизы Министерства здравоохранения Республики Узбекистан.

Личный вклад соискателя

Автором осуществлено планирование исследования и его оформление, самостоятельно проведен сбор рентгенограмм и антропометрического материала в Таджикистане и г. Мумбаи. Диссертант выполнил самостоятельно рентгено-остеометрию, анкетирование, оценку стадии окостенения костей дистального отдела верхней конечности, статистическую обработку данных, описание полученных результатов, провел их теоретический анализ и подготовил основные положения и выводы диссертации.

Апробация работы

Основные результаты исследования, положения и выводы диссертации были доложены и обсуждены на Всероссийской научной конференции, посвященной 250-летию со дня рождения академика П.А. Загорского – первого заведующего кафедрой анатомии и физиологии Медико-хирургической академии (г. Санкт-Петербург, 2014); III Пленуме Правления Научного медицинского общества анатомов, гистологов и эмбриологов России (г. Санкт-Петербург, 2021); II Санкт-Петербургском симпозиуме по морфологии ребенка в рамках Российского национального конгресса «Здоровые дети - будущее страны» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.), Anatomical Society Virtual Summer Meeting (Glasgow, UK 2021); the 16th Congress of the European Association of Clinical Anatomy (EACA) with the XII Meeting of the International Symposium of Clinical and Applied Anatomy (Padova University, Italy, 2021).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 10 статей – в научных рецензируемых журналах, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, включая статью в журнале, индексированном в международной реферативной базе данных Scopus, и монографию. Получила регистрацию в Роспатенте (свидетельство о государственной регистрации № 2021621715) база данных «Рентгеноостеометрические значения некоторых линейных параметров трубчатых костей кисти у детей и подростков Таджикистана и Западной Индии».

Структура и объем диссертации

Диссертация объемом 391 лист компьютерного текста состоит из введения, 6 разделов главы обзор литературы, главы материалов и методов

исследования, разделов главы о результатах собственных исследований и их обсуждении, заключения, выводов, списка использованной литературы, включающего 447 источников (263 отечественной, 184 иностранной литературы), содержит 120 рисунков, 21 таблицу и приложение А. Приложение А к диссертации на 46 страницах компьютерного текста включает 46 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для сравнительного исследования послужили 690 рентгенограмм правой кисти детей и подростков обоего пола в возрасте 6-17 лет, проживающих в Канибадамском районе Республики Таджикистана и в столице штата Махараптра в Западной Индии (г. Мумбаи). Первая группа – дети и подростки Канибадамского района Республики Таджикистан представлена аборигенным таджикским населением «вилояти» – население городов и оазисов (Турсунов, 2018). Ошанин (1963) относил жителей Таджикистана к группе «расы средне-азиатского междуречья», то есть населению, проживающему между нижним и средним течением рек Амударьи и Сырдарьи. Рогинский с соавт. (1978) указывали на своеобразный антропологический тип таджиков, сформировавшийся в условиях географической изоляции. Вторая группа – это индийцы города Мумбаи, относящиеся к индоаравийской этнической группе. Город Мумбаи является одним из самых населенных городов мира, где в 2018 г., по данным ООН, насчитывалось 19980000 жителей ([URL: http://www.statdata.ru](http://www.statdata.ru)). Сравниваемые этнические группы проживают в разных климатических поясах с резко различающимися климатическими условиями. Канибадамский район Таджикистана расположен в географической зоне субтропического континентального климата, для которого характерны средняя температура января -3°C, июля +27°C, среднегодовое количество осадков 200-500 мм. Мумбаи – город, расположенный в тропическом муссонном климатическом поясе с жарким летом (с марта по начало июня) и сезоном муссонов (с июня до октября), где средняя температура января +23,8°C, июля +27,9°C, среднегодовое количество осадков - 2200 мм. Группа обследованных детей Канибадамского района представлена сельским населением, а индийская выборка включала детей и подростков городских жителей мегаполиса.

Структура питания в сравниваемых регионах имеет значительные отличия. В пищевом рационе исследованных индийских детей у одной группы в пищевом рационе полностью отсутствовала пища животного происхождения, а в другой - значительно преобладала растительная пища, а редкий мясной рацион включал только мясо птицы. Алексеева (2004) указывала на наличие связи между проживанием в условиях влажных тропиков и фосфорно-кальциевой недостаточностью. У современных индийцев отмечается снижение потребления кальция с пищей, а также, несмотря на достаточное количество солнечной инсоляции, около 80-85% населения страдает от дефицита витамина D (Harinarayan et al., 2008; 2013; 2019; 2021). В то же время в пищевом рационе таджикских детей значительную долю составляет пища животного происхождения.

Данные о распределении обследованных детей и подростков по регионам, полу и возрастам представлены на таблице 1.

Таблица 1 – Распределение обследованных детей и подростков по регионам, полу и возрасту

Возраст, лет Регион	пол	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	всего
Таджикистан	муж	5	10	9	8	10	10	11	13	7	15	9	10	117
Таджикистан	жен	10	9	12	7	13	11	12	12	13	12	9	12	132
Западная Индия	муж	14	14	10	10	17	20	27	36	25	37	22	19	251
Западная Индия	жен	13	17	16	13	17	19	15	14	23	19	13	11	190

Антropометрическая часть исследования включала определение длины тела (см) и массы тела (кг). Длина тела (далее – ДТ) измерялась с помощью ростометра с точностью до 0,5 мм. Для измерения массы тела были использованы напольные весы с точностью до 0,01 кг. Для оценки влияния этно-территориальных факторов на динамику увеличения линейных параметров трубчатых костей кисти, а также на динамику процесса синостозирования костей дистального отдела верхней конечности проводилось анкетирование. Для таджикских и индийских детей анкета заполнялась по информации, полученной от их родителей, подростки старше 14 лет самостоятельно отвечали на вопросы. Для проведения опроса была разработана форма анкеты, включающая сведения о возрасте ребенка, месте

рождения, месте фактического проживания, этнической группе родителей родителей, особенностей питания и некоторые другие сведения.

Рентгенограммы, включенные в исследование, были получены в Центральной городской поликлинике города Канибадам, Streehitakarini Clinic (Dadar, Mumbai), Jamali Hospital Trust (Mumbai). Рентгенологическое исследование проводилось с учетом гигиенических требований по радиационной безопасности и во всех случаях однотипно. Расстояние от анода рентгеновской трубы до кассеты составляло 60 см. Рентгенография осуществлялась по медицинским показаниям (травмы, ушибы, боль, подозрение на перелом костей дистального отдела верхней конечности). В работу были включены рентгенограммы без патологии со стороны костной системы. Родители несовершеннолетних подписывали письмо информированного согласия для использования данных рентгеностеометрии в научной работе. На рентгенограммах с помощью скользящего циркуля с точностью 0,05 мм проводились измерения коротких трубчатых костей кисти, устанавливалась длина и ширина диафиза трубчатых костей кисти, ширина костно-мозговой полости на уровне середины диафиза у пястных костей (далее – ПК) II-го и III-го пальцев. Толщина компактного вещества II-й и III-й ПК определялась путем вычитания ширины костномозговой полости от ширины диафиза. В процессе работы было проведено 25501 измерение линейных параметров трубчатых костей. Данные о количестве рентгеностеометрических измерений в целом представлены в таблице 2.

Для оценки степени синостозирования дистальных эпифизов костей предплечья и коротких трубчатых костей кисти была использована шестибалльная система, предложенная Никитюком с соавт. (1970).

Таблица 2 – Перечень и численность изученных рентгеностеометрических параметров трубчатых костей кисти

Параметры	Количество измерений				Итого	
	Таджикистан		г. Мумбаи			
	мальч.	дев.	мальч.	дев.	мальч.	дев.
Длина ПК	585	655	1235	890	1820	1545
Ширина диафиза ПК	585	585	1235	890	1820	1545
Длина проксимальной фаланги (ПФ)	575	620	1239	950	1814	1570
Ширина диафиза ПФ	575	615	1255	950	1830	1565
Длина средней фаланги (СФ)	468	496	740	750	1208	1246
Ширина диафиза СФ	468	496	740	755	1208	1251

Продолжение таблицы 2

Длина дистальной фаланги (ДФ)	580	615	795	950	1375	1565
Ширина диафиза ДФ	580	615	770	950	1350	1565
Ширина костно-мозг. полости ПК-II	104	132	154	117	258	249
Ширина костно-мозг. полости ПК-III	116	132	275	194	391	326
Итого	9667		15834		25501	

Статистические методы и программное обеспечение исследования

Для определения зависимости возраста обследованных от линейных параметров трубчатых костей кисти проводился регрессионный анализ. Качество регрессии оценивалось через коэффициент детерминации R^2 и значимость по F-критерию, проверялась также нормальность распределения остатков (критерий Колмогорова-Смирнова) и нулевое математическое ожидание остатков (одновыборочный критерий Стьюдента). Оценка связи между возрастом обследованных детей и длиной костей, а также шириной диафиза пястных костей и фаланг пальцев в случаях нормального распределения проводилась с помощью параметрического коэффициента корреляции «r» Пирсона, в случаях, не согласованных с нормальным распределением, использовался непараметрический коэффициент корреляции Спирмена « r_s ». Значимость коэффициентов корреляции проверялась при помощи критерия Стьюдента. На небольших выборках по длине и ширине диафиза ПК и фаланг пальцев внутри каждого возраста нормальность проверялась критерием Шапиро-Уилка. Сравнение длины трубчатых костей кисти и ширины их диафизов по возрастам проводили методом параметрического (однофакторный дисперсионный анализ, далее - ОДА и непараметрического (критерий Краскела-Уоллиса, далее – КУ) анализа, в зависимости от нормальности распределения для соответствующей возрастной группы. Дальнейший post-hoc анализ для поиска попарных различий между возрастами проводился с помощью критерия Стьюдента для ОДА и критерия Манна-Уитни (далее - МУ) для непараметрического случая, когда применялся критерий КУ. В обоих случаях множественные сравнения обрабатывались методом Бенджамина-Хохберга (FDR). Сравнение линейных параметров трубчатых костей кисти у детей и подростков одного возраста из Таджикистана и Западной Индии также проводили с помощью критерия Стьюдента для нормальных выборок и критерия МУ для выборок, не согласованных с нормальным распределением. Для всех критериев проверки гипотез пороговый уровень значимости принимался равным 0,05. Для подтверждения практической значимости результатов, помимо значения «p»,

вычислялся размер эффекта по Коэну, так как совместное использование значений «р» и величины размера эффекта повышает качество статистической обработки и полученных в процессе исследования данных (Барникова, 2017).

Для оценки возможности установления пола по рентгено-остеометрическим параметрам трубчатых костей кисти был использован дискриминантный анализ. Качество дискриминантной функции оценивалось по коэффициенту канонической корреляции, значению лямбды Уилкса, а также точности классификации с помощью данной функции. Для выявления зависимости возраста и длины тела обследованных от линейных параметров коротких трубчатых костей кисти проводился линейный регрессионный анализ. Качество регрессии оценивалось значением коэффициента детерминации R^2 и уровню достоверности по F-критерию. Проверялась также нормальность распределения остатков (критерий Колмогорова-Смирнова) и нулевое математическое ожидание остатков (одновыборочный критерий Стьюдента). Во всех случаях проверки гипотез статистическая значимость определялась порогом 0,05. В рамках работы выбраны несколько моделей с наиболее высоким коэффициентом детерминации, а также малым количеством предикторов, но с достаточно высоким R^2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показатели физического развития детей и подростков с учетом этнотERRITORIALНЫХ особенностей

Анализ изменений длины тела у таджикских детей показал, что в 15 лет наблюдалась увеличение динамики роста длины тела (ДТ) у мальчиков (163,0 (7,75) см) и в дальнейшем они становились выше своих сверстниц (157,5 (2,12) см; размер эффекта по Коэну, $d_c=1,0$). Данные представлены в виде M (SD), где M — среднее, (SD) — стандартное отклонение, а для распределений, не согласованных с нормальным, в виде Med (Q_1 Q_3), где Med — медиана, (Q_1 и Q_3) — первый и третий квартили соответственно. Сравнительная оценка массы тела у таджикских подростков позволила установить, что юноши в 17 лет имели большую массу тела (63,25 (4,37) кг), чем девушки (52,0 (5,66) кг; $d_C=2,2$, $p=0,05$). Снижение кривых роста у девочек в возрасте 6-7 лет, возможно, связано с описанным Абдуллаевой с соавт. (2019), ухудшением физического развития современных таджикских детей раннего и дошкольного

возраста, которое характеризовалось уменьшением антропометрических показателей.

При оценке антропометрических параметров у индийских детей установлено, что начиная с 14 лет мальчики (155,8(10,5) см) преобладали по ДТ над девочками (148,61(9,69) см; $d_c=0,7$, $p=0,02$). Возраст ускорения увеличения ДТ у мальчиков совпадает с максимальным увеличением у них уровня тестостерона (Surana et al., 2017). В 17 лет индийские юноши имели большую массу тела (49,5(44,8 56,0), кг), чем девушки (40,0 (36,5 44,5), кг; $d_c=1,6$; $p=0,003$).

Установлено, что таджикские подростки мужского пола старше 15 лет имеют большую массу тела (49,5(47,5 50,8), кг; $d_c=1,1$, $p=0,04$), а с 17-ти лет и ДТ (172,75 (4,71), см; $d_c=1,2$, $p=0,01$) (Рисунок 1), чем их индийские сверстники, у которых масса тела в 15 лет- 41,5(38,0 46,3) кг; ДТ в 17 лет- 164,22 (9,09), см.

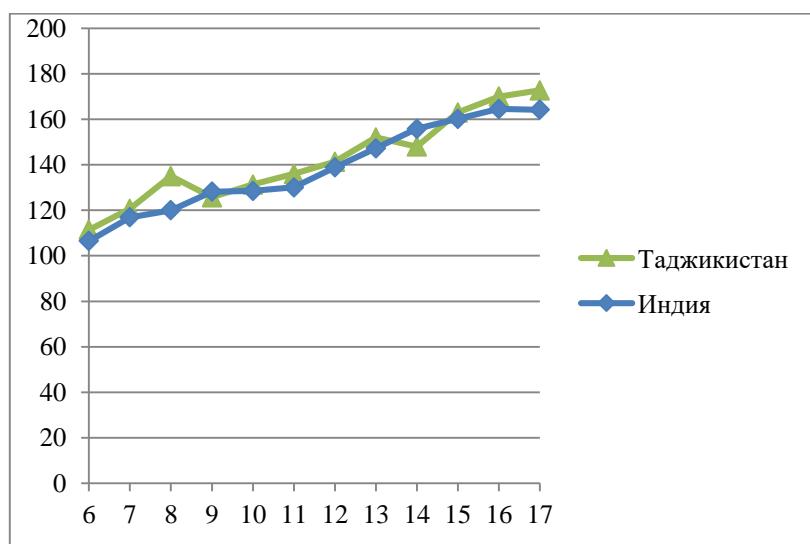


Рисунок 1 – Ростовые кривые длины тела детей и подростков мужского пола Таджикистана и Западной Индии. По оси абсцисс - возраст, года; по оси ординат - длина тела, см

Таджикские девушки старше 15 лет имели большую массу тела (61,5 (53,0 70,0), кг; $d_c=2,0$, $p=0,04$), чем индийские девочки (40,0 (37,3 43,8) кг), однако по длине тела достоверные различия не определялись (Рисунок 2). Полученные результаты согласуются с трендом, описанным Е.З. Годиной (2002), указывающим на постепенное снижение длины и веса тела у жителей более низких географических широт, расположенных южнее 45^0 с.ш. город Канибадам расположен на 40^0 с.ш., а г. Мумбаи - 19^0 с.ш.

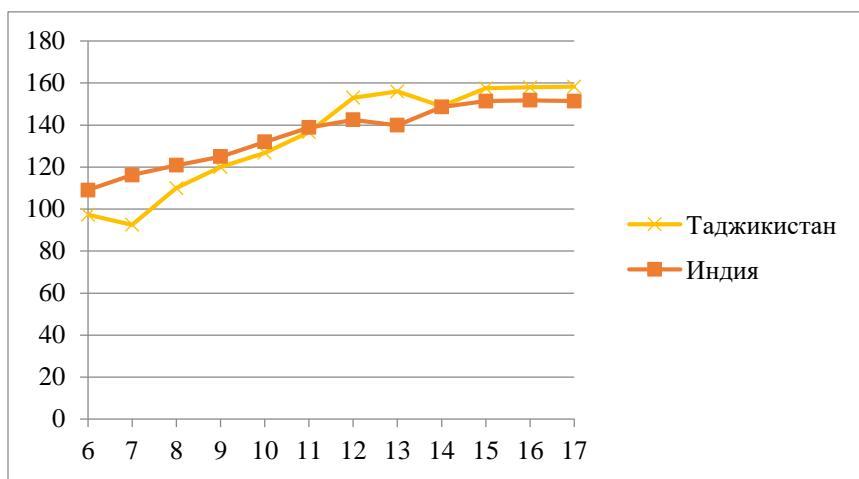


Рисунок 2 – Ростовые кривые длины тела девочек и девушек Таджикистана и Западной Индии. По оси абсцисс - возраст, года; по оси ординат - длина тела, см

Данные сравнительно-этнических рентгено-остеометрических исследований

Оценка изменения линейного параметра длины ПК-III у таджикских мальчиков позволила выявить гетерохронность ростового процесса. Первый максимум скорости роста длины и ширины диафиза ПК-III у мальчиков определялся в возрасте завершения первого детства (6-7 лет, эффект по Коэну $\langle d_C \rangle = 1,51$). Этот возраст совпадает с периодом адренархе, для которого характерно увеличение скорости роста, описанное в литературе как «полуростовой скачок» (Урысон, 1973; Харитонов с соавт., 2004; Хрисанфова, Перевозчиков, 2005). У девочек этот ростовой скачок наблюдался позже, между 7-8 годами ($d_C = 1,94$). Таким образом, уже в возрасте окончания периода первого детства можно наблюдать проявление полового диморфизма в линейных параметрах трубчатых костей кисти, что согласуется с результатами исследований костной системы (Корнев, 1996) и массы тела (Комиссарова, 2002; Чаплыгина, 1996). В 7-9 лет процесс увеличения в длину ПК-III у таджикских мальчиков замедлялся, с 9 до 10 лет скорость роста возрастала ($d_C = 1,45$; $p = 0,03$), затем определялось ее снижение. Начиная с 13 лет скорость роста вновь увеличивалась и в возрасте завершения пубертатного периода наблюдался ростовой скачок между 15-16 годами, однако прибавка параметра была несколько меньшей ($d_C = 1,35$; $p = 0,03$), чем между 6 и 7 годами (рис. 3а). Увеличение динамики роста длины ПК-III (далее – ДлПК-III) между 9-10 годами согласуется с периодом препубертатного ускорения роста (Шашель, 2012), а последующий ее рост в 15-16 лет соответствует пубертатному скачку

роста (Харитонов с соавт., 2004). У таджикских девочек увеличение линейного параметра ДлПК-III в возрасте 7-8 лет было более значительным ($d_C=1,94$), чем у мальчиков между 6-7 годами, что возможно связано с более ранним вступлением девочек в препубертатный период, затем динамика увеличения ДлПК-III снижалась и у девочек старше 14 лет достоверных отличий в ДлПК-III не наблюдали. В последующие периоды ускорения роста ДлПК-III прибавка величины этого параметра у девочек была меньше, чем у мальчиков: для девочек 10-11 лет ($d_C=1,16$); 12-14 лет ($d_C=1,11$); для мальчиков 9-10 лет ($d_C=1,45$), 15-16 лет ($d_C=1,35$). У таджикских детей обоего пола наибольшая прибавка ДлПК-III происходила во время первого ростового скачка, в 6-7 лет у мальчиков и в 7-8 лет у девочек, в последующие выявленные периоды ускорения роста прибавка значения длины ПК постепенно снижалась и была наименьшей во время пубертатного скачка в 15-16 лет у мальчиков и 12-14 лет у девочек (рис. 3а).

Оценка изменения линейного параметра ДлПК-III у индийских мальчиков позволила выявить гетерохронию ростового процесса. Первый максимум скорости роста ДлПК-III определялся в возрасте завершения первого детства (6-7 лет; $d_C=1,11$). Данный возраст совпадает с вышеописанным периодом «полуростового скачка». Затем прослеживается смена периодов активизации роста ДлПК-III и относительного его замедления. Достоверные отличия параметра ДлПК-III наблюдали между 8-9, 10-11, 12-13, 14-15 годами (значения « d_C » представлены на рис. 3б), затем скорость роста снижалась и достоверное увеличение данного параметра определялось с интервалом в два года.

Первое ускорение в росте у индийцев совпадает в сроках с наступлением гонадархе. Максимальный уровень тестостерона в сыворотке крови у индийских мальчиков наблюдается между 10,2 и 13,3 годами, однако для индийских подростков мужского пола характерно значительное опережение полового созревания над линейной скоростью роста (Surana et al., 2017). Возможно, что с этим связано тем, что второй ростовой скачок происходит в возрасте завершения пубертатного периода (14-15 лет). Детскому организму в период ростовых скачков свойственна гетерохронность (Хомич с соавт., 2015).

У девочек г. Мумбай пики ускорения динамики роста ДлПК-III наблюдались в возрастном диапазоне 9-10, 11-12, 15-16 лет, после 16 лет достоверные прибавки в значениях данного параметра не определялись. Первый период ускорения роста ДлПК-III у индийских девочек совпадает с возрастом, когда у них наблюдается пик увеличения длины тела (Dabas et al.,

2018), второе ускорение согласуется со средним возрастом полового созревания (11,3 лет) и началом менархе (12,4 лет) (Dabas et al., 2018).

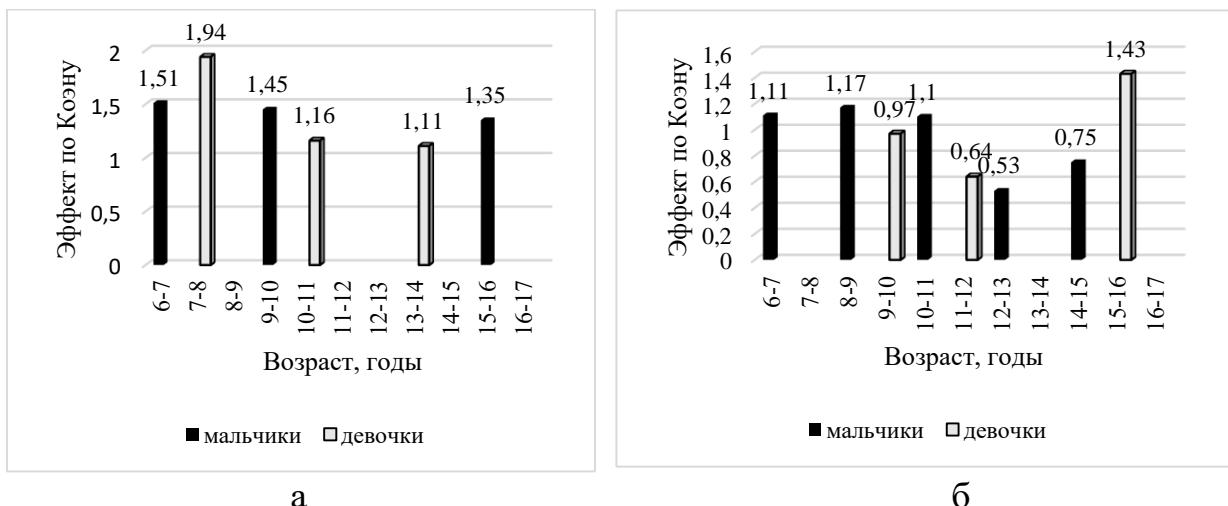


Рисунок 3 – Сравнение динамики изменения ДлПК-III у мальчиков и девочек Таджикистана (а) и г. Мумбаи (б)

Первый и второй периоды ускоренного роста ДлПК-III у девочек на год опережают таковые у мальчиков, что связано с более ранним началом полового созревания у девочек. Последний ростовой скачок ДлПК-III у индианок происходил в возрасте окончания пубертатного периода и прирост параметра был наибольшим (рис. 3б). Таким образом, оценка динамики роста ДлПК-III выявила половые отличия в этом процессе как у таджикских, так и у индийских детей. Для детей обоего пола Таджикистана и мальчиков г. Мумбаи наибольшие прибавки параметра происходили в периоды первых ростовых скачков, а для индийских девочек только в возрасте завершения пубертатного периода.

Никитюк (1978) установил высокую долю наследственных влияний на развитие и рост костей запястья и фаланг пальцев кисти. Воздействие наследственных факторов более выражено в увеличении продольных размеров костей, следовательно, длина трубчатых костей является высоко наследуемым остеометрическим признаком скелета (Коган, 1984; Архангельская, 1987). Следует отметить, что у мальчиков наследственное влияние на рост костей кисти раскрывается более отчетливо, чем у девочек (Никитюк, 1975). Основанное на теоретических предпосылках отечественных классиков антропологии и анатомии проведенное сравнительное исследование таджикских и индийских детей и подростков позволило установить тот факт, что между длиной костей и возрастом детей и подростков мужского пола имеется тесная корреляционная связь, все значения r_s больше

значения 0,8, исключение составляет только показатель длины первой ДФ (далее – ДлДФ-І) у индийцев (табл. 3). Следует отметить, что у таджикских мальчиков корреляционная зависимость между их возрастом и длиной трубчатых костей третьего луча была более тесной, чем у индийцев.

Корреляционная зависимость между возрастом обследованных и шириной диафиза костей имеет средние уровни значений. Значения коэффициента Спирмена указывают на более сильную корреляционную зависимость между возрастом и шириной диафизов всех костей третьего луча кисти у мальчиков Таджикистана. Динамика увеличения длины ПК, СФ, ДФ кисти у детей сравниваемых этнических групп совпадала, однако рост в длину ПФ-ІІІ у таджикских мальчиков происходил более интенсивно, чем у индийцев (табл. 3).

Таблица 3– Сравнение показателей коэффициента Спирмена и углового коэффициента линейной регрессии для рентгено-остеометрических параметров III пястной кости и фаланг III пальца кисти с возрастом у мальчиков и юношей Таджикистана и г. Мумбаи (Индия)

Параметры Коэффици- енты	Значения коэффициента корреляции Спирмена, r_s линейных параметров костей с возрастом, ($p<0,001$)		Угловой коэффициент линейной регрессии b	
	Таджикистан	г. Мумбаи	Таджикистан	г. Мумбаи
Длина ДФ-ІІІ	0,83	0,78	0,60	0,61
Длина СФ-ІІІ	0,87	0,81	1,03	0,99
Длина ПФ-ІІІ	0,88	0,82	1,65	1,53
Длина ПК-ІІІ	0,85	0,81	2,25	2,23
Ширина ДФ-ІІІ	0,62	0,44	0,15	0,11
Ширина СФ-ІІІ	0,71	0,70	0,18	0,21
Ширина ПФ-ІІІ	0,69	0,65	0,25	0,23
Ширина ПК-ІІІ	0,69	0,63	0,23	0,23

Как видно из таблицы 3, у представителей обеих этнических групп динамика увеличения поперечных размеров трубчатых костей кисти была слабее, чем скорость их увеличения в длину. Скорость увеличения широтных параметров трубчатых костей кисти у мальчиков Таджикистана и Индии имела сходную динамику.

В период полуростового скачка ДлПФ-ІІ-ІV пальцев у таджикских мальчиков преобладала над таковой у индийцев. В 15 лет ДлДФ-ІІ-ІV пальцев у таджикских подростков достоверно была большей, чем у индийцев (для всех

костей $p \leq 0,01$; эффект по Коэну был больше или равен 0,8). С 16 лет ДлПК, ПФII-IV, СФII-IV у таджикских подростков была большей (для всех костей $p \leq 0,03$; эффект по Коэну равен или больше 0,9), чем у индийцев. По остальным трубчатым костям кисти достоверные отличия в длине не определялись. Как было указано ранее, длина костей является наследственно детерминированным параметром. Можно предположить, что установленное преобладание длины ПКI-V, ПФII-IV, СФII-IV, а также с 15-ти лет ширины третьей ДФ (далее ШДФ-III) у таджикских юношей являются показателями этнический отличий, сформировавшимися под влиянием эндогенных факторов. Полученные данные о преобладании длины ряда трубчатых костей кисти у таджикских подростков над индийскими сверстниками согласуются с трендом постепенного уменьшения продольных размеров тела у детей, проживающих южнее 45° с.ш., описанным Годиной (2002). У мальчиков эта динамика прослеживается более отчетливо, чем у девочек.

Динамика увеличения длины и ширины диафиза костей третьего луча кисти у таджикских и индийских девочек была сходной, значения коэффициента регрессии отличались на уровне сотых долей их значений (табл. 4). У представительниц обеих этнических групп наиболее интенсивно с возрастом происходило увеличение ДлПК-III, наименьшая скорость роста устанавливалась для ДлДФ-III. Увеличение в ширину диафиза наиболее интенсивно наблюдали в ПК-III и ПФ-III у таджичек и в ПК-III у индианок. В целом динамика увеличения в длину опережает динамику увеличения ширины диафиза у всех трубчатых костей кисти вне зависимости от этнотERRиториальных различий. Если проследить в сравнительном аспекте динамику увеличение длины ПК-III, то у таджичек достоверная прибавка параметра в интервале одного года наблюдалась раньше, чем у индианок. Увеличение ДлПК-III у таджичек происходило между 7-8 и 10-11 годами, затем скорость роста снижалась и снова увеличивалась между 12-14 годами, причем последний подъем роста совпадают с возрастом начала менархе в $12,8 \pm 2,1$ года (Ганизода, 2019).

Первое ускорение роста ДлПК-III у индианок наблюдали между 9-10 годами, этот возраст совпадает с пиком увеличения длины тела в 10-10,9 лет (Dabas et al., 2018), последующее ускорение в 11-12 лет соответствует возрасту полового созревания индианок (11,3 года) и начала менархе (12,4-12,6 лет) (Dabas et al., 2018). Последний ростовой скачок у индианок происходил в конце пубертатного периода между 15-16 годами.

Таблица 4– Сравнение показателей коэффициента Спирмена и углового коэффициента линейной регрессии для рентгено-остеометрических параметров III пястной кости и фаланг III пальца кисти с возрастом у лиц женского пола Таджикистана и г. Мумбай (Индия)

Параметры	Коэффициенты		Значения коэффициента корреляции Спирмена, r_s линейных параметров костей с возрастом, ($p<0,001$)		Угловой коэффициент линейной регрессии b	
	Таджикистан	г. Мумбай	Таджикистан	г. Мумбай	Таджикистан	г. Мумбай
Длина ДФ III	0,78	0,75	0,45	0,47		
Длина СФ III	0,73	0,75	0,72	0,74		
Длина ПФ III	0,82	0,81	0,46	0,50		
Длина ПК III	0,85	0,82	1,91	1,88		
Ширина ДФ III	0,32	0,43	0,07	0,08		
Ширина СФ III	0,57	0,51	0,14	0,13		
Ширина ПФ III	<0,55	<0,55	0,20	0,12		
Ширина ПК III	0,72	0,56	0,20	0,15		

С интервалом в два года достоверное увеличение ДлПК-III у таджичек наблюдали до 14 лет, у девушек более старшего возраста отличия не определялись, в то время как у индианок увеличение данного параметра происходило до 16 лет. Следовательно, у таджикских девочек рост костей в длину завершается раньше, чем у индианок, что можно рассматривать как одно из различий, обусловленных этно-территориальными особенностями сравниваемых групп.

Для оценки экзогенных воздействий (социальных условий, различий городских и сельских жителей, характера питания и других факторов) на рост костей кисти исследована динамика изменений ширины костно-мозговой полости ПК-III. Для рассмотрения внешних воздействий на рост костей у сравниваемых детских и подростковых групп данный параметр был выбран на основании данных Никитюка (1978) и Когана (1984), которые установили, что процесс изменения ширины костно-мозговой полости характеризуется наименьшей долей наследственных влияний. В результате анализа полученных данных установлено, что в возрасте окончания периода первого детства, а также в периоде второго детства у таджикских мальчиков увеличение ширины диафиза ПК-III происходило за счет периостального костеобразования (рис. 3). Начиная с 15 лет наблюдалось сужение размера костно-мозговой полости ПК-III и увеличение толщины компактного вещества. Таким образом, с этого возраста рост в ширину диафиза ПК-III

происходил за счет эндостального костеобразования (рис. 3). В отличие от таджикских мальчиков, у индийских в 6-17 лет рост диафиза данной кости в ширину происходил за счет периостального костеобразования (рис. 4).

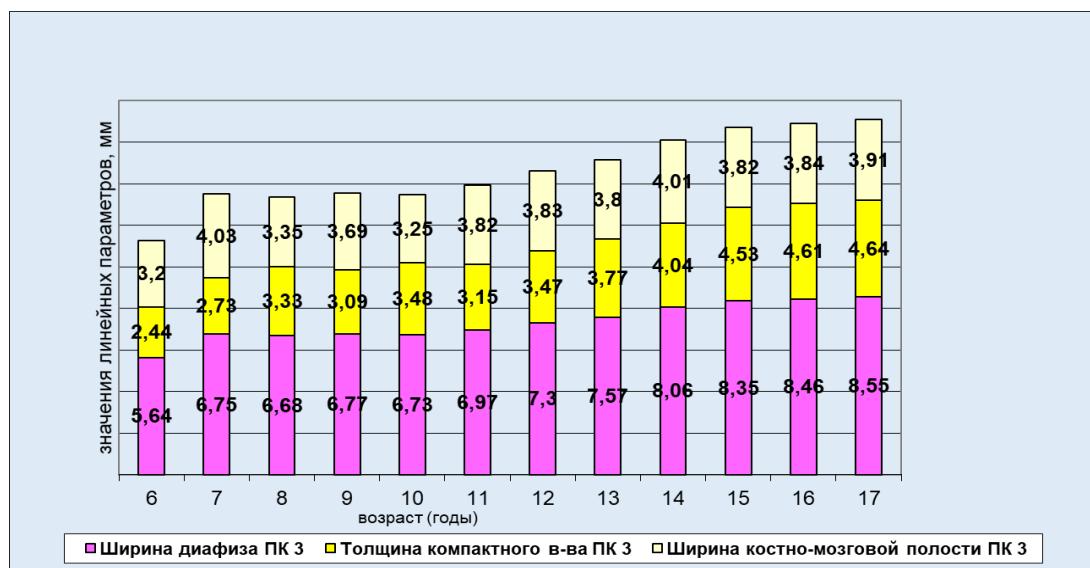


Рисунок 3 – Возрастная динамика ширины диафиза, ширины костно-мозговой полости и толщины компактного вещества третьей пястной кости у таджикских мальчиков

В период окончания первого детства у таджикских девочек увеличение в ширину диафиза ПК-III происходит равномерно за счет периостального и эндостального костеобразования (рис. 5). В начале второго детства у них преобладает процесс эндостального костеобразования, в возрасте завершения второго детства увеличение ширины ПК-III (далее ШПК-III) происходило за счет периостального костеобразования. В 12 лет у девочек в диафизе ПК-III отмечено увеличение толщины компактного вещества за счет процесса эндостального костеобразования, что приводило к уменьшению ширины костно-мозговой полости. Следует также отметить, что этот процесс происходил на фоне резкого снижения роста диафиза ПК-III в ширину (рис. 5). Такой рост имеет сходный характер с описанным Никитюком и Коганом (1989) и Комиссаровой (2017) процессом «нерациональной» адаптации костей. К тому же он происходит в пубертатный период, для которого характерно относительное снижение в костях минеральных солей (Корнев, 1979). Уменьшение ширины костно-мозговой полости сужает пространство для костного мозга, что может привести к нарушению питания внутреннего слоя костного вещества (Никитюк с соавт. 1979; Комиссарова, 2017). Рентгено-

остеометрия ПК-III у девочек г. Мумбай выявила увеличение ширины диафиза в период первого и второго детства за счет периостального костеобразования, в начале пубертатного возраста равномерно за счетperi- и эндостального костеобразования, начиная с 14 лет за счет эндостального процесса (рис. 6).

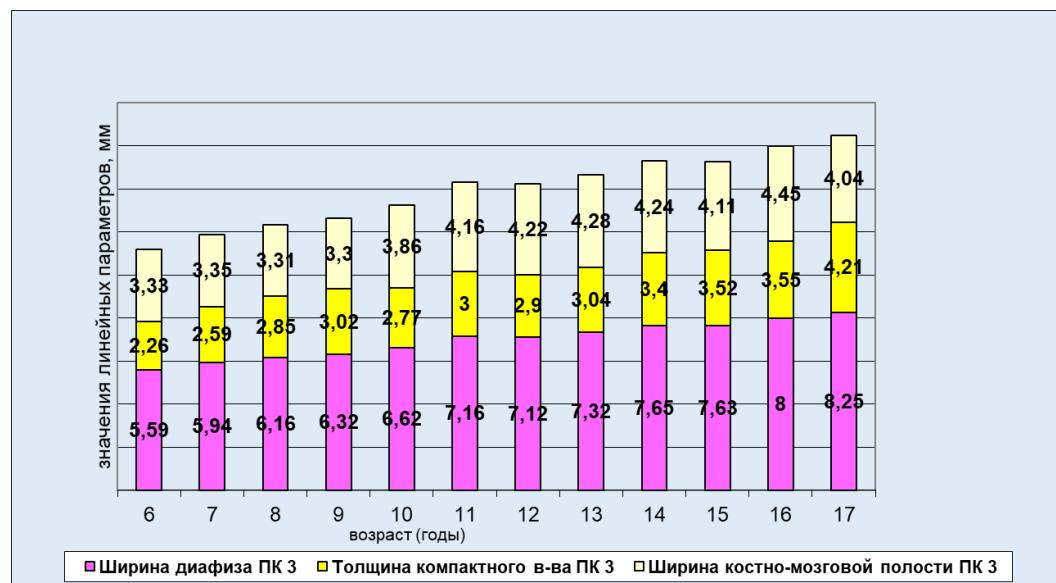


Рисунок 4 – Возрастная динамика ширины диафиза, ширины костно-мозговой полости и толщины компактного вещества третьей пястной кости у индийских мальчиков

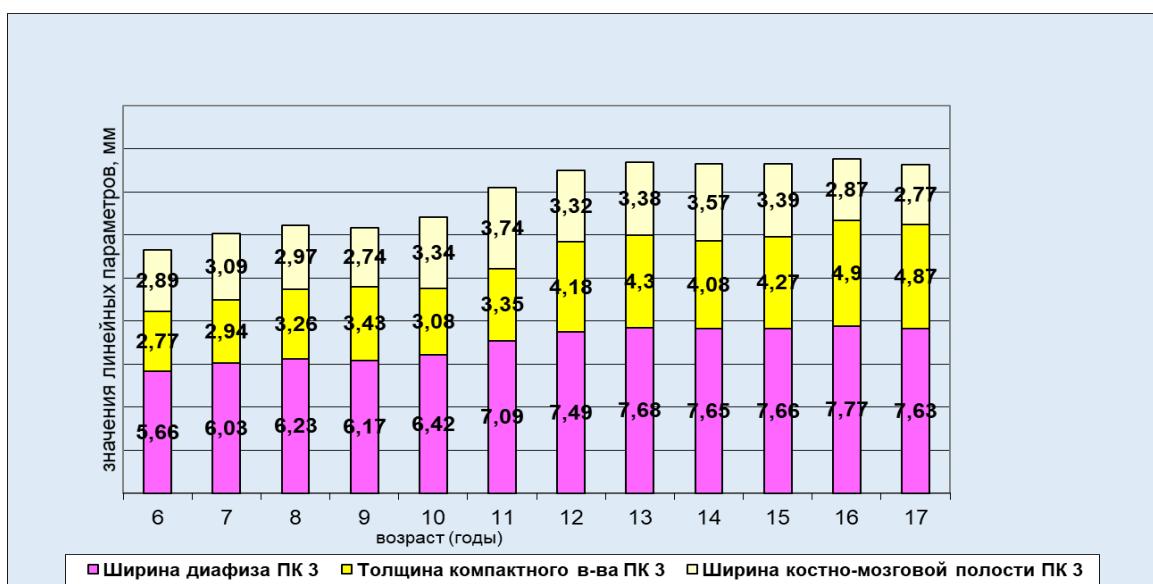


Рисунок 5 – Возрастная динамика ширины диафиза, ширины костно-мозговой полости и толщины компактного вещества третьей пястной кости у таджикских девочек

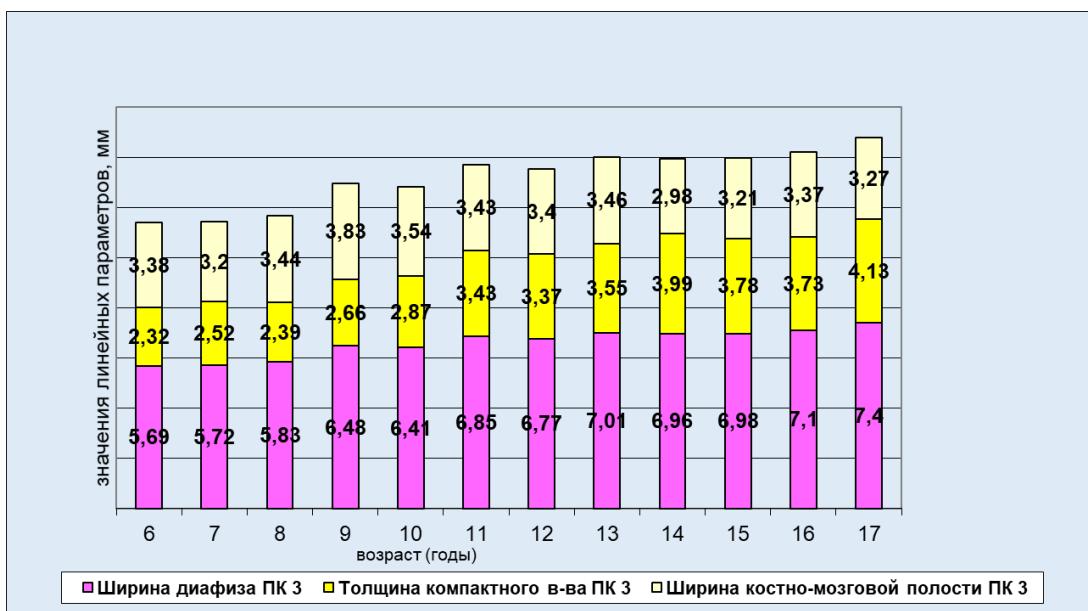


Рисунок 6 – Возрастная динамика ширины диафиза, ширины костно-мозговой полости и толщины компактного вещества третьей пястной кости у индийских девочек

Половые различия в динамике процесса окостенения костей дистального отдела верхней конечности у детей и подростков Таджикистана и Западной Индии

Дистальный эпифиз локтевой кости

Сравнительный анализ периода окостенения хрящевой модели дистального эпифиза локтевой кости у девочек и мальчиков Таджикистана, показал, что у 70% девочек имеется точка окостенения в возрасте 6 лет, завершение формирования ядра окостенения отмечено к 7 годам, а у мальчиков этот процесс продлевается до 9 летнего возраста.

Оссификация дистального эпифиза локтевой кости у девочек начинается в 8 лет (0,31 балла), имеет ступенчатую картину, замедление этого процесса происходит в возрасте второго детства 9-11 лет (1,58-1,73 балла) и активизации синостоза в пубертатный период 13-15 лет (3-4 балла). В 16 лет отмечено завершение синостозирования наличием узкой полоской склероза на месте метафиза. В 17 лет наблюдается полный синостоз (5 баллов) и склерозированная линия исчезает. У мальчиков процесс окостенения дистального эпифиза локтевой кости начинается в возрасте 11 лет и в период второго детства происходит более плавно (1,2-2 балла). Завершение пубертатного периода знаменуется резким скачком оссификации от 2,8 до 4,2 баллов. В возрасте 16-17 лет у мальчиков Таджикистана процесс

синостозирования в дистальном эпифизе локтевой кости завершается, однако может еще сохраняться полоска склерозированной костной ткани.

Процесс начала полного окостенения хрящевой модели головки локтевой кости имеет половой диморфизм у детей обоего пола Западной Индии. Установлено, что ядра окостенения данного эпифиза у девочек наблюдаются в возрасте 6-8 лет, а у мальчиков до 10 лет, т.е. на протяжении окончания первого и начала второго детства. Процесс оссификации дистального метаэпифизарного хряща локтевой кости у девочек начинается в 9 лет (1 балл), и протекает весьма равномерно, достигая оценки в 1,8 балла к началу пубертатного периода (11 лет). Активизация процессов синостозирования отмечена у девочек в период с 13 лет (2,5 балла) до 15 лет (4 балла) появлением склерозированной линии на месте метаэпифизарного хряща, в возрасте 17 лет она исчезает, что указывает на окончательное завершение оссификации локтевой кости. У мальчиков начало полного окостенения головки локтевой кости начинается на два года позже в 11 лет (1,1 балла) и происходит довольно активно, достигая в 12 лет оценки в 1,8 балла. Интенсивность оссификации дистального эпифиза локтевой кости наблюдалась в 13 лет (2,3 балла), а также на протяжении всего пубертатного периода, достигая в 16 лет показателя оссификации в 3,7 балла. Склерозированная линия на месте метаэпифизарного хряща отмечена в 17 лет, ее исчезновение фиксируется после 17 лет. У индийских девочек наблюдали более раннее, примерно на два года, завершение процесса оссификации локтевой кости по сравнению с мальчиками исследуемого региона.

Дистальный эпифиз лучевой кости

Синостозирование в дистальном эпифизе лучевой кости начинается у детей обоего пола в возрасте 6 лет. В периоде второго детства в этом эпифизе процесс окостенения наиболее интенсивно происходит у мальчиков (в возрасте 1 года до 1,3 баллов) по сравнению с их сверстницами (от 0,2 до 0,9 балла в этом же возрасте). В препубертатный и пубертатный периоды девочки существенно опережают мальчиков в процессе оссификации лучевой кости, у них уже в 15 лет встречаются случаи завершения синостозирования (4 балла), а в возрасте 16-ти лет процесс окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости завершается, однако еще в возрасте 17-ти лет может визуализироваться тонкая линия склерозированной костной ткани. Полученные данные о наиболее поздних сроках завершении синостозирования в дистальных эпифизах костей предплечья у таджикских подростков отличаются от возраста наступления оссификации у жителей Санкт-Петербурга, у которых самые

поздние сроки окостенения для лиц мужского пола составляют 20 лет, а для девушек – 19 лет (Алексина с соавт., 1998)

Начальные признаки оссификации дистального эпифиза лучевой кости у индийских девочек и мальчиков отмечены в конце первого детства в 6-7 лет (0,2-0,3 балла). На протяжении второго детства у всех обследованных детей наблюдается вяло текущий процесс синостозирования, который оценивается от 1,1 баллов до 1,2 балла у девочек, у мальчиков от 1 балла до 1,6 балла. Активизация оссификации у девочек проходит в два этапа. Первый длится один переходный год между окончанием второго детства в 11 лет (1,2 балла) до начала пубертатного периода в 12 лет (2,2 балла). На втором этапе интенсивное синостозирование происходит в пубертатный период, который начинается в 13 лет (2,4 балла) и продолжается до 16-ти лет (4,4 балла), когда на месте метафиза лучевой кости появляется линия склерозирования, в 17 лет наблюдается полное завершение оссификации (4,5 балла). У мальчиков оссификация лучевой кости проходит более плавно, совпадает с пубертатным развитием, особенно это заметно в 14-16 лет (2,4-3,4 балла). В возрасте 17 лет (3,6 балла) на месте метафиза определяется линия склерозирования, которая впоследствии исчезает.

С помощью корреляционного анализа была изучена связь между стадией окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости и возрастом, длиной тела и весом тела детей и подростков Таджикистана и г. Мумбаи. Установлено, что у таджикских мальчиков стадия окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости имела наибольшую корреляционную зависимость с длиной тела ($r_s=0,91$; $p<0,001$). Подобная зависимость являлась также высокой у таджикских девочек ($r_s=0,90$; $p<0,001$) и у индийских детей обоего пола ($r_s=0,83$; $p<0,001$; $r_s=0,90$; $p<0,001$, для мальчиков и девочек соответственно).

Пястные кости

Период активного включения половых желез в работу эндокринного аппарата характеризуется появлением синостоза в ПК-I (Рохлин, 1936). Впервые завершение синостозирования ПК-I наблюдали у мальчиков 15 лет, в возрасте 16 лет процесс оссификации был завершен, однако на рентгенограммах сохранялась линия склерозированной костной ткани. У таджикских девочек синостоз ПК-I впервые наблюдали в 12 лет, что значительно раньше, чем у мальчиков. В возрасте 16 лет окостенение в ПК-I у девочек было завершено, но линия склерозированной костной ткани еще встречается на рентгеновских снимках девушек 17 лет.

На рентгенограммах 6-ти летних детей обоего пола определяется начало процесса синостозирования в ПК. Степень синостозирования в ПК-II и ПК-III у девочек Таджикистана выше, чем у мальчиков во всех возрастных группах. В пубертатный период у девушек стадия окостенения ПК-II в возрасте 12-14 лет составляла от 2,4 до 4,2 баллов, у лиц мужского пола наблюдали стабилизацию оссификации на уровне 2,2 баллов. У мальчиков ускорение процесса окостенения ПК-II происходило в возрасте 14-16 лет (2,2-4,4 балла). Завершение синостозирования ПК-III у девочек отмечено в возрасте 14 лет (4,2 балла), у подростков мужского пола в 16 лет, то есть на два года позже (4,5 балла). Завершение оссификации ПК-II у девочек определялось в возрасте 14 лет (4,2 балла), у мальчиков на два года позже (4,4 балла).

Впервые завершение процесса синостозирования в ПК-I у индийских девочек определялось в возрасте 11 лет, у мальчиков на два года позже в 13 лет. На рентгенограммах всех девочек в возрасте 14 лет процесс оссификации в ПК-I завершен, у всех мальчиков окончание синостозирования визуализировалось в возрасте 17-ти лет. Степень синостозирования II и III пястных костей кисти у девочек Западной Индии выше, чем у мальчиков и аналогична таковой у их сверстниц из Таджикистана. У девочек плато процесса оссификации отмечается в возрасте 12-13 лет (2,8-3 балла) для ПК-II и от 3,0 до 3,1 балла для ПК-III, затем динамика синостозирования в обоих костях резко возрастает с 3 баллов в 13 лет до 5 баллов в 15 лет.

У мальчиков интенсивность оссификации II пястной кости приходится на период с 12 лет (1,9 балла) до 16 лет (4,7 балла), склерозированная линия визуализируется в 16 лет, ее исчезновение фиксируется после 17 лет (5 баллов). Процесс оссификации III пястной кости у девочек также имеет плато в 11-12 лет (1,8 балла) и интенсификацию костеобразования до 16 лет (4,7 баллов). У мальчиков наибольшая интенсивность этого процесса выявлена в период с 12 лет (1,8 балла) до 16 лет (4,7 балла). Сравнительная оценка динамики синостозирования ПК у детей Западной Индии показала, что у девочек процесс их оссификации завершается на два года раньше, чем у индийских мальчиков.

Фаланги пальцев кисти

Наиболее ранние сроки завершения процесса синостозирования в фалангах кисти у девочек Таджикистана наблюдали в возрасте 12-13 лет, в то время как у мальчиков впервые завершение оссификации в фалангах определяли в 15 лет. В возрасте 16-ти лет у 100% девушек степень

оссификации соответствовала 5 баллам, у подростков мужского пола окончательное завершение оссификации в фалангах наблюдали на год позже, то есть в 17 лет. Следовательно, если на рентгенограмме кисти у таджикского юноши процесс оссификации в фалангах не завершен, можно предположить, что обследуемому меньше 17-ти лет.

Изучение рентгенограмм кисти детей г. Мумбай позволило установить, что наиболее ранний возраст завершения синостозирования в фалангах кисти у индийских девочек – это 12 лет, у мальчиков на год позже – 13 лет. В возрасте 14-ти лет процесс оссификации фаланг пальцев кисти у индийских девочек завершался, хотя еще сохранялась полоска склерозированной костной ткани, которая исчезала в 15 лет. У мальчиков синостозирование завершалось в 17 лет, однако на рентгенограммах подростков этого возраста в фалангах может визуализироваться линия склерозированной костной ткани.

Окостенения костей запястья

Оценка динамики оссификации костей скелета позволяет оценивать этнические различия, сформировавшиеся у разных популяций под воздействием наследственных факторов. По данным Никитюка с соавт. (1973), установлено, что в процессе окостенения костей запястья доля генетического компонента составляет 70-88%. Для установления межэтнических различий, сформировавшихся под влиянием эндогенных факторов, был произведен сравнительный анализ динамики появления центров окостенения в костях запястья у детей Таджикистана и Западной Индии.

Настоящее исследование включает возраст детей с 6 лет, поэтому на всех рентгеновских снимках визуализировались точки окостенения в головчатой и крючковидной костях. У таджикских мальчиков в возрасте 6 лет центры оссификации определялись только у 20% в ладьевидной, у 80% - в трехгранной, у 60% - в полуулунной костях и у 40% наблюдений в кости-трапеции и трапециевидной костях. В возрасте 8-ми лет в 100% наблюдений визуализировались точки окостенения в ладьевидной, полуулунной, трехгранной, кости-трапеции, трапециевидной костях запястья.

Процесс появления точек окостенения в костях запястья индийских мальчиков происходил более плавно. Если в возрасте 6 лет больший процент индийцев имели точки окостенения в ладьевидной, полуулунной, трехгранной костях, чем их таджикские сверстники, то уже в 8 лет у таджиков в 100% наблюдений визуализировались центры оссификации в этих костях, а у индийцев наличие точки оссификации у 100% обследованных определяли на год старше - в возрасте 9 лет. Точка окостенения в трапециевидной кости у

мальчиков обеих этнических групп в возрасте 6 лет визуализировалась почти в одинаковом соотношении, т.е. в 40% у таджиков и в 36% у индийцев. Кость-трапеция на рентгенограммах у 40% таджиков наблюдалась в 6 лет, а у индийцев впервые центр оссификации в этой кости появлялся в возрасте 7 лет. У индийцев сохраняется та же тенденция, что и для костей проксимального ряда запястья. У 100% таджикских мальчиков центр окостенения визуализируется в трапециевидной кости и в кости-трапеции в 8 лет, то есть на год раньше, чем у индийцев.

Важным этапом в развитии костей кисти является появление гороховидной кости и сесамовидной кости в первом пястно-фаланговом суставе, которые указывают на начало полового созревания (Рохлин, 1936). Точка оссификации в гороховидной кости у таджикских мальчиков появляется в возрасте 10-ти лет (рис. 7-А). Следует отметить, что процесс появления центра окостенения в гороховидной кости у таджиков происходит за очень короткий возрастной промежуток, то есть по сути в течение одного года. Если у 10-летних детей точка окостенения определялась только у 14% обследованных, то уже в возрасте 11 лет она визуализировалась в 100% наблюдений. Kangne с соавт. (1999) указывают на недостаточность современных публикаций об окостенении костей запястья у жителей Индии. Сроки появления точек окостенения в этих костях, в особенности в гороховидной кости, имеют важное значение при прогнозировании возраста детей (Uperti, 2020). Проведенное нами исследование детей и подростков г. Мумбаи показало, что у мальчиков единично точка оссификации в гороховидной кости наблюдается в возрасте 9 лет, однако наличие этого центра у более чем половины детей устанавливалось в возрасте 12 лет (рис. 7-Б), у 100% подростков – в 14 лет.

Сесамовидная кость в первом пястно-фаланговом суставе впервые у таджикских мальчиков определялась в 12 лет у 60% обследованных, в возрасте 14 лет точка оссификации визуализировалась в 100% наблюдений, следовательно, отсутствие на рентгенограмме точки окостенения в сесамовидной кости I пястно-фалангового сустава указывает на возраст младше 14-ти лет. У индийцев появление точки окостенения в этой кости визуализировалось с 13 лет, однако у менее чем половины обследованных. У 100% индийских подростков сесамовидную кость в первом пястно-фаланговом суставе мы наблюдали на рентгенограммах в возрасте 15 лет.



Рисунок 7 – Рентгенограмма правой кисти. Точка окостенения в гороховидной кости выделена окружностью. А – кисть мальчика-таджика 10 лет; Б - кисть мальчика-индийца 12 лет

При сравнении динамики появления точек окостенения в костях запястья у девочек сравниваемых этнических групп прослеживается тенденция, аналогичная обнаруженной у мальчиков. Появление центров оссификации в ладьевидной, полуулунной, трехгранной, трапециевидной и кости-трапеции визуализируется у 100% таджикских девочек на год раньше, чем у индианок. На рентгенограммах центр окостенения в гороховидной кости впервые у таджичек наблюдали в 8 лет, а у индианок – в 9 лет (рис. 8А-Б), у 100% таджикских девочек точка оссификации в данной кости определялась в 10 лет, а у индийских девочек – в 11 лет. Точка окостенения в сесамовидной кости в первом пястно-фаланговом суставе у девочек обеих этнических групп впервые появлялась в возрасте 10 лет и у 100% обследованных центр оссификации определялся в 13 лет. Данные о сроках появления точек окостенения в костях запястья могут быть использованы в прогнозе возраста таджикских девочек. Отсутствие на рентгенограмме точки окостенения в полуулунной кости и в трапециевидной кости указывает на возраст младше 7-ми лет, а отсутствие центра оссификации в ладьевидной кости и кости-трапеции – на возраст младше 8-ми лет. Если не визуализируется сесамовидная кость I пястно-фалангового сустава, то это указывает на возраст младше 13-ти лет. Полученные в результате исследования данные указывают на различия в скорости скелетного созревания у представителей разных этнических групп, что согласуется с результатами Ontell с соавт. (1996) и Creo с соавт. (2017). Таким образом, у таджикских детей обоего пола в 100% случаев появление центров окостенения в костях запястья наблюдается

раньше, чем у индийцев Западной Индии, что можно рассматривать, согласно Никитюку (1978), как этническую особенность, обусловленную влиянием наследственных факторов.



Рисунок 8 – Рентгенограмма правой кисти. Точка окостенения в гороховидной кости выделена окружностью. А – кисть девочки-таджички 8 лет; Б - кисть девочки-индианки 9 лет

Анализ полученных данных о возрасте появления точек окостенения в костях запястья и предплечья, а также динамики синостозирования трубчатых костей дистального отдела верхней конечности у жителей Таджикистана показал, что половые отличия в процессах окостенения определяются у детей до достижения ими возраста активного полового созревания, что расходится с данными Хайруллиной (1988), в то же время согласуется с результатами исследований Корнева с соавт. (1996).

Оценка динамики процессов синостозирования костей дистального отдела верхней конечности у детей Западной Индии позволила установить четкие половые отличия. Индийские девочки опережали своих сверстников мужского пола по срокам появления точек окостенения в костях запястья, предплечья, а также в наступлении синостозов в трубчатых костях в среднем на 1-2 года. Показателем активного включения в работу эндокринного аппарата половых желез служит наступление синостоза в первой пястной кости. У мальчиков г. Мумбай наступление синостоза ПК-I в возрасте 13-ти лет совпадает с данными о максимальном увеличении уровня тестостерона в сыворотке крови у индийских подростков (Surana et al., 2017). Как известно, синостоз ПК-I у девочек совпадает со временем наступления менструаций (Рохлин, 1936). Рентгенологическое исследование девочек г. Мумбай

позволило установить, что завершение оссификации в ПК-І начиналось с возраста 11 лет, что согласуется с данными о сроках наступления менархе у жительниц Индии (Dabas et al., 2018).

Диагностические уравнения регрессии для определения пола, возраста, длины тела по рентгено-остеометрическим параметрам трубчатых костей кисти и синостозированию дистального эпифиза лучевой кости детей и подростков 6 -17 лет разной этно-территориальной принадлежности

Проведенное рентгено-остеометрическое исследование и последующий регрессионный анализ позволили разработать регрессионные модели для оценки пола, возраста, длины тела детей и подростков Таджикистана и Западной Индии по линейным параметрам коротких трубчатых костей кисти. Для оценки возможности установления пола по рентгено-остеометрическим параметрам трубчатых костей кисти был использован дискриминантный анализ. Получены дискриминантные функции для прогноза пола у детей и подростков Таджикистана и Западной Индии. Построенная дискриминантная функция имеет следующий вид

для таджикской группы:

$$\mathbf{0,067 = -0,123 \times ДлПФ-II + 0,351 \times ШПФ-I + 1,019 \times ШСФ-IV - 0,186 \times ДлПК-III + 0,283 \times ДлДФ-III + 0,236 \times ДлДФ-IV + 0,455 \times ШДФ-III - 5,305;}$$

для индийской группы:

$$\mathbf{0,040 = 0,366 \times ШПФ-I - 0,106 \times ДлПК-I + 0,72 \times ШПК-II - 0,316 \times ДлСФ-III + 0,49 \times ШСФ-IV + 0,333 \times ДлДФ-IV + 0,467 \times ШДФ-III - 6,673}$$

Пороговое значение для таджикской группы составило 0,067. Таким образом, если результат после внесения линейных параметров в формулу будет больше 0,067, то ожидается, что устанавливаемое лицо принадлежит к мужскому полу, а если меньше - к женскому. Точность модели для идентификации пола у таджикских детей и подростков составила 81%. Качество этой функции вполне удовлетворительное: канонический коэффициент корреляции 0,64; Лямбда Уилкса составила 0,597 ($p<0,001$). Пограничное значение функции для оценки пола для индийских детей и подростков составило -0,040. Таким образом, если результат после подстановки рентгено-остеометрических данных в формулу будет больше 0,040, то можно прогнозировать, что индивидуум следует отнести к лицам мужского пола, а если меньше -0,040 – к женскому полу. Точность модели

составила 75%. Качество модели также можно считать удовлетворительным: канонический коэффициент корреляции – 0,56; Лямбда Уилкса составила 0,684 ($p<0,001$). Разработанные дискриминантные диагностические модели для оценки пола таджикских и индийских детей имеют ориентировочное значение и нуждаются в подтверждении с помощью других методов.

Исследованные нами рентгено-остеометрические параметры трубчатых костей кисти позволили разработать регрессионные модели для прогноза возраста детей и подростков обоего пола Таджикистана и Западной Индии. Для мальчиков Таджикистана моделями, имеющими высокое значение коэффициента детерминации, являются регрессионные уравнения, построенные с использованием параметров длины трубчатых костей III и IV лучей кисти:

$$\text{Возраст} = 0,036 \times \text{ДлПФ-III} + 0,205 \times \text{ДлСФ-III} + 0,132 \times \text{ДлПК-III} + 0,365 \times \text{ДлДФ-III} - 7,52, (R^2 = 0,77);$$

$$\text{Возраст} = 0,138 \times \text{ДлПФ-IV} + 0,026 \times \text{ДлСФ-IV} + 0,106 \times \text{ДлПК-IV} + 0,491 \times \text{ДлДФ-IV} - 6,904, (R^2 = 0,77).$$

Также к надежным регрессионным уравнениям для оценки возраста таджикских мальчиков можно отнести модели с использованием параметров длины ПК-II и ПК-III:

$$\text{Возраст} = 0,294 \times \text{ДлПК-II} + 0,034 \times \text{ДлПК-III} - 6,738, (R^2 = 0,79).$$

В случаях, когда доступны все кости кисти, лучшим методом для установления возраста является множественная линейная регрессия, однако в случае, когда приходится иметь дело с отдельными останками для уравнения регрессии может быть использована и одна кость (Darmawan et al., 2015).

Сильным предиктором для прогноза возраста таджикских детей обоего пола является линейный параметр длины ПК-II:

для мальчиков:

$$\text{Возраст} = 0,326 \times \text{ДлПК-II} - 6,682, (R^2 = 0,79);$$

для девочек:

$$\text{Возраст} = -9,23 + 0,37 \times \text{ДлПК-II}, (R^2 = 0,76).$$

Анализ моделей множественной линейной регрессии у индийских мальчиков показал, что для прогноза возраста с одинаковой степенью надежности можно использовать регрессионные модели, созданные по длине трубчатых костей II-V лучей кисти:

$$\text{Возраст} = 0,26 \times \text{ДлПФ-II} - 0,123 \times \text{ДлСФ-II} + 0,132 \times \text{ДлПК-II} + 0,308 \times \text{ДлДФ-II} - 5,828, (R^2 = 0,72);$$

$$\text{Возраст} = 0,183 \times \text{ДлПФ-III} - 0,012 \times \text{ДлСФ-III} + 0,138 \times \text{ДлПК-III}$$

$+0,236 \times \text{ДлДФ-III}-5,483, (R^2=0,72);$

Возраст= $0,174 \times \text{ДлПФ-IV}-0,017 \times \text{ДлСФ-IV}+0,157 \times \text{ДлПК- IV}+0,283 \times \text{ДлДФ IV}-5,515, (R^2=0,73);$

Возраст= $0,114 \times \text{ДлПФ-V}+0,083 \times \text{ДлСФ-V}+0,218 \times \text{ДлПК-V}+0,222 \times \text{ДлДФ-V}-4,949 (R^2=0,74).$

Модели множественной регрессии для оценки возраста у индийских девочек демонстрировали более низкие значения коэффициента детерминации, чем у мальчиков, с учетом того, что в моделях число предикторов не отличалось. Уравнения регрессионных моделей для прогноза возраста девочек г. Мумбаи со значением R^2 выше 0,7 выглядят следующим образом:

Возраст= $0,143 \times \text{ДлПФ-II}-0,097 \times \text{ДлСФ-II}+0,219 \times \text{ДлПК-II}+0,409 \times \text{ДлДФ- II}-8,915, (R^2=0,71);$

Возраст= $0,411 \times \text{ДлПФ-II}-0,277 \times \text{ДлСФ-III}+0,208 \times \text{ДлПК-III}-0,003 \times \text{ДлДФ-III}-8,141, (R^2=0,71);$

Возраст= $0,244 \times \text{ДлПФ-V}-0,104 \times \text{ДлСФ-V}+0,276 \times \text{ДлПК-V}+0,263 \times \text{ДлДФ-V}-8,533, (R^2=0,72).$

Проведенное исследование позволило установить, что использование в регрессионных моделях для оценки возраста предиктора «стадия окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости» (в формуле - СЛК) значительно улучшает качество модели. Для сравнения использовали модель для мальчиков Таджикистана, составленную по длине трубчатых костей третьего луча кисти ($R^2=0,77$, см. выше), и к ней добавили предиктор «стадия окостенения лучевой кости по классификации Никитюка», после чего наблюдали значительное повышение значения коэффициента детерминации:

Возраст= $0,03 \times \text{ДлПФ-III}-0,03 \times \text{ДлСФ-III}+0,085 \times \text{ДлПК-III}+0,541 \times \text{ДлДФ-III}+0,866 \times \text{СЛК}-3,406, (\underline{\underline{R^2=0,84}}).$

Таким образом, использование данных о стадии окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости существенно улучшает качество регрессионной модели для прогноза возраста детей и подростков. Аналогичная тенденция прослеживается у таджикских девочек, если рассмотреть модель, составленную по длине трубчатых костей третьего луча, в которой R^2 равен 0,73, и к этому регрессионному уравнению добавить предиктор «стадия окостенения лучевой кости», то значение коэффициента детерминации становится 0,86.

Возраст= $0,057 \times \text{ДлПФ-III}-0,039 \times \text{ДлСФ-III}+0,304 \times \text{ДлПК-III}+0,266 \times \text{ДлДФ-III}-9,997, (\underline{\underline{R^2=0,73}});$

$$\text{Возраст} = 0,064 \times \text{ДлПФ-III} + 0,025 \times \text{ДлСФ-III} + 0,119 \times \text{ДлПК-III} + 0,125 \times \text{ДлДФ-III} + 1,094 \times \text{СЛК-1,64}, (R^2 = 0,86).$$

Использование в качестве предиктора стадии синоостозирования в дистальном эпифизе лучевой кости по классификации Никитюка с соавт. (1970) в регрессионных уравнениях для прогноза возраста детей и подростков г. Мумбай способствует значительному улучшению качества моделей. Особенно важно отметить значительное повышение коэффициента детерминации в регрессионном уравнении для индийских девочек, так как у них полученные модели с использованием только рентгено-остеометрических параметров костей кисти имели значение R^2 не выше 0,8. Таким образом, для индийских мальчиков:

$$\text{Возраст} = 0,133 \times \text{ДлПФ-III} - 0,065 \times \text{ДлСФ-III} + 0,067 \times \text{ДлПК-III} - 0,291 \times \text{ДлДФ-III} + 1,046 \times \text{СЛК-1,197}, (R^2 = 0,81);$$

для индийских девочек:

$$\text{Возраст} = 0,152 \times \text{ДлПФ-III} - 0,062 \times \text{ДлСФ-III} + 0,102 \times \text{ДлПКIII} - 0,9 \times \text{ДлДФ- III} + 1,221 \times \text{СЛК-2,366}, (R^2 = 0,81).$$

Из разработанных и представленных выше формул следует, что линейные параметры трубчатых костей кисти могут быть успешно использованы в экспертизе возраста детей и подростков Таджикистана и Западной Индии. Включение в регрессионные уравнения в качестве предиктора стадии окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости значительно повышает их надежность.

В результате проведенного исследования было также установлено, что рентгено-остеометрические параметры коротких трубчатых костей кисти могут быть использованы для оценки длины тела таджикских и индийских детей и подростков обоего пола. Для лиц мужского пола Таджикистана и Западной Индии в возрасте 6-17 лет линейный параметр длины трубчатых костей является лучшим предиктором для установления длины тела. У таджикских мальчиков для оценки длины тела высокие показатели могут быть получены по одному линейному параметру длины пястных костей, среди которых наилучшим предиктором является длина ПК-II, затем ПК-V, ПК-III (рис. 9). Формула модели 6 выглядит следующим образом:

$$\text{ДТ} = 2,072 \times \text{ДлПК II} + 26,114, (R^2 = 0,91).$$

Более надежные результаты для идентификации ДТ таджикских детей получаются, когда регрессионные модели составлены отдельно для лиц разного пола. Для таджикских девочек в прогнозе длины тела наилучшими являются регрессионные модели, которые включают параметры длины и

ширины трубчатых костей кисти. Сравнение значений коэффициента детерминации полученных моделей, показало, что наиболее высокое значение R^2 устанавливалось для регрессионного уравнения, составленного по рентгено-остеометрическим данным ПК-III:

$$\Delta T = 2,665 \times \text{ДлПК-III} + 14,824 \times \text{ШПК-III} - 7,35 \times \text{ШКМПК-III} - 96,536, \\ (R^2 = 0,81).$$

К надежным моделям для оценки ΔT у индийских мальчиков следует отнести регрессионные уравнения, полученные с использованием линейных параметров проксимальных фаланг II-IV пальцев кисти:

$$\Delta T = 3,369 \times \text{ДлПФ-II} + 2,38 \times \text{ШПФ-II} + 9,235, (R^2 = 0,82);$$

$$\Delta T = 3,162 \times \text{ДлПФ-III} + 1,784 \times \text{ШПФ-III} + 7,442, (R^2 = 0,83);$$

$$\Delta T = 3,621 \times \text{ДлПФ-IV} + 0,735 \times \text{ШПФ-IV} + 9,841, (R^2 = 0,83).$$

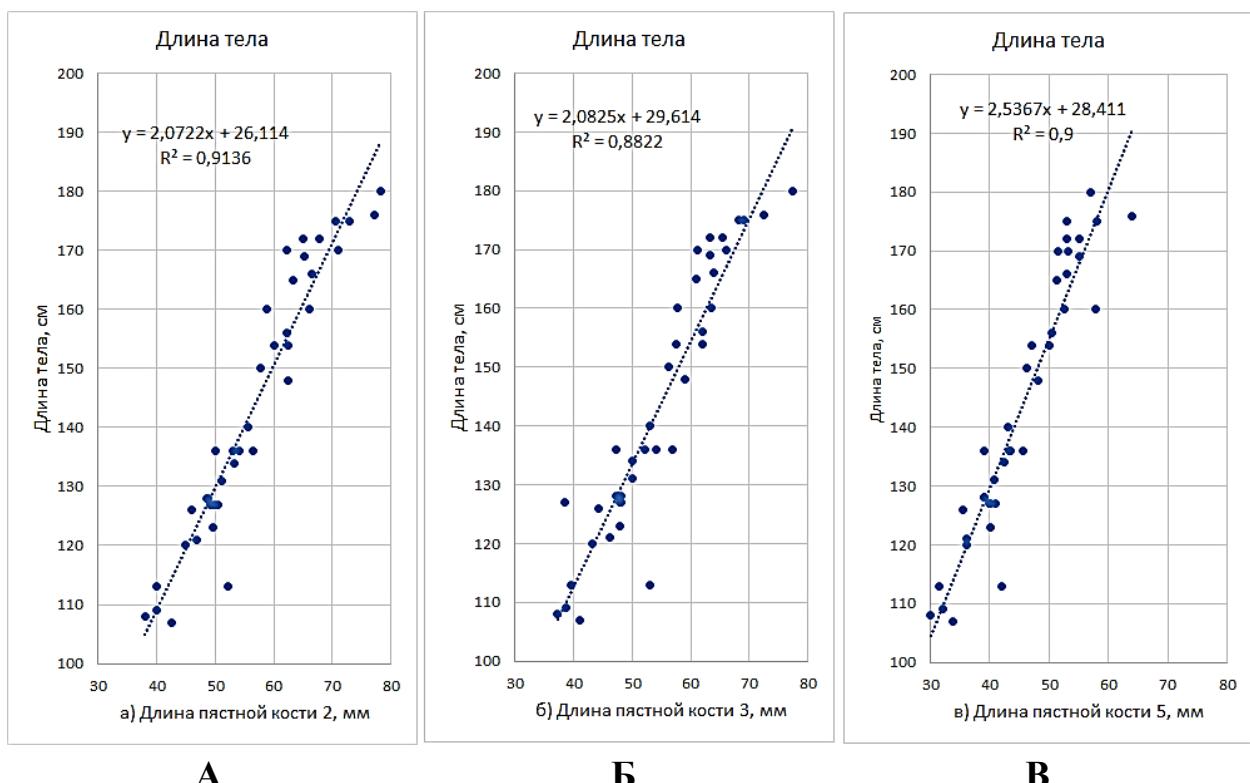


Рисунок 9 – Диаграммы уравнений линейной регрессии зависимости длины тела от длины второй (А), третьей (Б) и пятой (В) пястных костей детей и подростков мужского пола Таджикистана

Для индийских девочек более надежными регрессионными уравнениями для оценки ΔT являются модели по длине фланг II и V пальцев:

$$\Delta T = 1,644 \times \text{ДлПФ-III} + 0,542 \times \text{ДлСФ-III} + 3,39 \times \text{ДлДФ-III} + 26,288, \\ (R^2 = 0,72);$$

$$\Delta T = 3,681 \times \text{ДлПФ-V} + 0,222 \times \text{ДлСФ-V} + 1,03 \times \text{ДлДФ-V} + 29,654, (R^2 = 0,73).$$

С целью оценки качества предиктора «стадия синостозирования дистального эпифиза лучевой кости» (в формулах ниже - СЛК) в регрессионных моделях для прогноза длины тела у таджикских детей этот показатель был внесен в уравнение, составленное по длине трубчатых костей третьего луча кисти для таджикских мальчиков, при этом надежность формулы существенно возросла:

$$\Delta T = 1,257 \times \text{ДлПФ-III} + 0,704 \times \text{ДлСФ-III} + 0,677 \times \text{ДлПК-III} + 1,613 \times \text{ДлДФ-III} + 16,918, (\mathbf{R^2=0,89});$$

$$\Delta T = 0,441 \times \text{ДлПФ-III} - 0,04 \times \text{ДлСФ-III} + 0,587 \times \text{ДлПК-III} + 2,38 \times \text{ДлДФ-III} + 4,957 \times \text{СЛК} + 48,734 (\mathbf{R^2=0,94});$$

для таджикских девочек:

$$\Delta T = -0,509 \times \text{ДлПФ-III} - 2,404 \times \text{ДлСФ-III} + 3,668 \times \text{ДлПК-III} + 8,769 \times \text{ДлДФ-III} + 117,802 (\mathbf{R^2=0,81});$$

$$\Delta T = -12,562 \times \text{ДлПФ-III} + 7,914 \times \text{ДлСФ-III} + 8,25 \times \text{ДлПК-III} + 4,149 \times \text{ДлДФ-III} + 3,631 \times \text{СЛК} + 108,369, (\mathbf{R^2=0,90}).$$

Полученные модели показывают, что добавление к регрессионному уравнению в качестве дополнительного предиктора параметра о стадии окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости существенно улучшает качество прогноза для экспертизы длины тела у детей и подростков обоего пола Таджикистана. Для оценки качества предиктора СЛК и снятия вопроса о том, что добавление в регрессионную модель значения каждого нового параметра будет автоматически повышать значение коэффициента детерминации к регрессионным уравнениям, были также добавлены предикторы ширины диафизов и ширины костно-мозговой полости всех трубчатых костей третьего луча. В результате в обоих формулах значение R^2 возрастало у мальчиков до 0,92, а у девочек до 0,95, но полученные уравнения не могут быть отнесены к надежным для прогноза длины тела, так как высокое значение коэффициента детерминации обусловлено большим количеством предикторов.

Таким образом, параметр СЛК можно считать достаточно надежным предиктором для использования в регрессионных уравнениях для прогноза длины тела таджикских детей и подростков обоего пола. Однако использование в качестве предиктора СЛК не приводило к существенному изменению значения коэффициента детерминации, а следовательно, не способствовало повышению качества модели для прогноза длины тела у индийцев. Для таджикских мальчиков это, возможно, связано со значительно более высокой корреляционной зависимостью между длиной их тела и

стадией окостенения дистального эпифиза лучевой кости по сравнению с их индийскими сверстниками. Установлено, что в регрессионных моделях, разработанных по одинаковым предикторам, у детей и подростков изученных этно-территориальных групп значения коэффициента детерминации существенно выше у мальчиков. Однако значения коэффициента детерминации в регрессионных уравнениях по линейным параметрам ПФ-IV и по длине фаланг V пальца у таджикских девочек были схожи с таковыми у мальчиков. В целом установлено, что качество регрессионных уравнений для прогноза длины тела детей и подростков с использованием линейных параметров трубчатых костей кисти повышается при условии, что они составлены отдельно для лиц разного пола и на морфометрическом материале конкретной популяционной группы.

Таким образом, проведенное исследование доказывает, что возрастные закономерности процессов роста и синостозирования костей дистального отдела верхней конечности у детей и подростков в современных популяциях имеют выраженные этно-территориальные различия. Они не выходят за границы анатомо-антропологической изменчивости скелета кисти человека в целом, проявляются в рамках общебиологических закономерностей полового диморфизма и этапности его созревания. Сущность этих различий заключается в специфичности гетерохронии и возрастной динамики роста костей дистального отдела верхней конечности и синостозирования. Они формируются под воздействием наследственных факторов, социальных и климатогеографических условий проживания и характера питания. Разработка нормативных таблиц для представителей разных популяционных групп может способствовать более точной оценке физического развития детей и подростков, а в случае необходимости служить для построения максимально точных моделей при идентификации пола, возраста и длины тела.

Выводы

1. Анализ возрастной динамики рентгено-остеометрических параметров трубчатых костей показал, что у детей и подростков от 6 до 17 лет имеются этно-территориальные различия роста и развития скелета дистального отдела верхней конечности, которые обусловлены воздействием эндогенных факторов. Длина и ширина диафиза трубчатых костей третьего луча кисти у таджикских мальчиков имеет более темную сильную корреляционную зависимость от возраста ($\langle rs \rangle = 0,83 - 0,87$ и $\langle rs \rangle = 0,69 - 0,71$,

соответственно), чем у индийских мальчиков ($\langle rs \rangle = 0,78-0,82$ и $\langle rs \rangle = 0,44-0,70$, соответственно). Аналогичная взаимосвязь для девочек сравниваемых этнических групп существенно ниже. Этно-территориальные различия в размерах костей у мальчиков наиболее выражены в возрасте начала второго детства и во второй половине пубертатного периода. Наибольшее количество различий у девочек наблюдали в возрасте начала пубертатного периода, а затем количество этих отличий уменьшалось к окончанию подросткового возраста ($dc \geq 0,7$; $p \leq 0,04$). Для детей обоего пола Таджикистана и мальчиков г. Мумбай наибольшие прибавки параметра происходили в периоды первых ростовых скачков, а для индийских девочек – в возрасте завершения пубертатного периода.

2. Линейный параметр длины трубчатых костей кисти имеет более тесную корреляционную связь с возрастом в сравнении с шириной диафиза, причем у мальчиков она имеет более высокие значения (например, для костей III луча кисти $\langle rs \rangle = 0,78-0,88$), в сравнении с девочками ($\langle rs \rangle = 0,75-0,85$). Динамика увеличения трубчатых костей кисти в длину опережает скорость роста в ширину их диафиза у лиц сравниваемых этнических групп (длина костей III луча кисти у мальчиков, $\langle b \rangle = 2,25-0,60$; для девочек, $\langle b \rangle = 1,91-0,45$; ширина ПК III у мальчиков, $\langle b \rangle = 0,25-0,11$; для девочек, $\langle b \rangle = 0,20-0,07$).

3. Анализ процессов костеобразования третьей пястной кости показал, что у таджикских мальчиков увеличение ширины диафиза происходит за счет периостального костеобразования в возрасте окончания периода первого детства, а также периода второго детства, начиная с 15 лет ширина ее диафиза существенно зависит от эндостального костеобразования и сужения размера костно-мозговой полости. У индийских мальчиков и подростков в 6-17 лет рост ее диафиза в ширину происходит за счет периостального костеобразования. У таджикских девочек в период окончания первого детства отмечается равномерное увеличение ширины диафиза этой кости за счет как периостального, так и эндостального костеобразования, завершение второго детства характеризуется преобладанием эндостального костеобразования диафиза, которое сохраняется до 17 лет и приводит к уменьшению ширины костно-мозговой полости. У индийских же девочек увеличение ширины диафиза в период первого и второго детства происходит за счет периостального костеобразования, затем в начале пубертатного возраста равномерно за счетperi- и эндостального костеобразования, а начиная с 14 лет – за счет эндостального процесса. Выявленные различия в динамике изменения параметров костно-мозговой полости обусловлены

экзогенным влиянием и составляют вторую закономерность этно-территориальных различий.

4. Установлено, что у 70% девочек Таджикистана окостенение хрящевой модели дистального эпифиза локтевой кости начинается в 6 лет, завершение формирования ядра окостенения отмечено к 7 годам, а у мальчиков этот процесс продлевается до 9 летнего возраста. Осификация дистального эпифиза локтевой кости у девочек начинается в 8 лет, активизация синостоза происходит в пубертатный период 13-15 лет, в 17 лет полный синостоз. У мальчиков процесс окостенения дистального эпифиза локтевой кости начинается в возрасте 11 лет, завершение пубертатного периода знаменуется резким скачком осификации и в возрасте 16-17 лет у мальчиков Таджикистана процесс синостозирования в дистальном эпифизе локтевой кости завершается. У девочек Западной Индии ядро окостенения в эпифизе головки локтевой кости наблюдается в возрасте 6-8 лет, у мальчиков – до 10 лет. Процесс осификации дистального метаэпифизарного хряща локтевой кости у девочек начинается в 9 лет, активизация процессов синостозирования отмечена в период с 13 лет до 15 лет. У индийских мальчиков начало полного окостенения головки локтевой кости начинается в 11 лет и завершается в 16 лет.

5. Синостозирование в дистальном эпифизе лучевой кости начинается у детей обоего пола Таджикистана в возрасте 6 лет. В препубертатный и пубертатный периоды девочки существенно опережают мальчиков в процессе осификации лучевой кости. Так у лиц женского пола в 15 лет уже встречаются случаи завершения синостозирования. Начальные признаки осификации дистального эпифиза лучевой кости у индийских девочек и мальчиков отмечены в конце первого детства в 6-7 лет, интенсивное синостозирование происходило в пубертатный период с 13 до 16-ти лет. У мальчиков осификация лучевой кости фиксировалась в период в 14-16 лет, а в возрасте 17 лет на месте метафиза визуализировалась склерозированная линия, которая исчезает после 17 лет.

6. Появление центров окостенения в ладьевидной, полулунной, кости-трапеции, трапециевидной и гороховидной костей у 100% детей обоего пола Таджикистана происходит на год раньше, чем у индийцев г. Мумбаи. Впервые завершение синостозирования в I пястной кости у мальчиков-таджиков наблюдали в возрасте 15 лет, а у девочек в 12 лет. Во всех возрастных группах степень синостозирования во II и III пястных костях у девочек Таджикистана выше, чем у мальчиков. У индийских детей наиболее

ранний возраст завершения процесса синостозирования в I пястной кости наблюдалось у девочек в 11 лет, а у мальчиков в 13 лет. Степень синостозирования II и III пястных костей кисти у девочек Западной Индии выше, чем у мальчиков.

7. Рентгено-остеометрические параметры трубчатых костей кисти являются надежными предикторами при использовании уравнения множественной регрессии для установления возраста и длины тела детей и подростков Таджикистана и Западной Индии. Наилучшим предиктором для прогноза возраста таджикских детей является параметр длины второй пястной кости (для мальчиков $R^2=0,79$, для девочек $R^2=0,76$), для индийских мальчиков – длина проксимальной фаланги II ($R^2=0,72$), для индианок – длина пястных костей III-V ($R^2=0,67$ для всех моделей). Наиболее надежные регрессионные уравнения для прогноза длины тела таджикских детей получены для мальчиков по длине II пястной кости ($R^2=0,91$), для девочек – по длине костей II луча кисти ($R^2=0,95$), для индийцев мальчиков – по длине фаланг III и IV пальцев ($R^2=0,82$), для девочек – по длине костей II и V лучей кисти ($R^2=0,73-0,75$, соответственно). Установлено, что для таджикских детей и подростков использование в качестве предиктора стадии окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости значительно улучшает качество моделей, созданных на основе линейных параметров трубчатых костей кисти.

8. Закономерности этно-территориальных различий в росте и развитии костей дистального отдела верхней конечности заключаются в специфичности возрастной динамики линейных параметров, направленности взаимосвязей их с возрастом, продолжительности отдельных этапов в зависимости от пола, которые обусловлены как эндогенным так и экзогенным влиянием.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанные в исследовании уравнения линейной регрессии рекомендуется использовать в практической экспертно-диагностической работе и научно-прикладных клинических исследованиях для определения возраста и длины тела детей и подростков этно-территориальных групп детей, проживающих на территории Таджикистана и Западной Индии, а также детей-мигрантов, прибывающих из этих стран.

2. При разработке соответствующих уравнений регрессии для определения возраста и длины тела на основе линейных параметров трубчатых костей кисти у детей и подростков рекомендуется дополнительно вносить в разрабатываемые уравнения показатель стадии синоостозирования лучевой кости по 6-ти бальной системе оценки в качестве предиктора, существенно улучшающего их диагностическое качество.

3. Комплекс рентгено-остеометрических параметров кисти и специфичность динамики осификации дистального отдела верхней конечности рекомендуется использовать в качестве объективного и надежного критерия определения различий биологической зрелости и физического развития детских популяций разной этно-территориальной принадлежности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Матюшечкин С.В. Возрастные и половые особенности роста проксимальных фаланг кисти у жителей Западной Индии// С.В. Матюшечкин// Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова. – 2011. – Т. 18. – № 2. – С. 85 – 87.
2. Матюшечкин С.В. Возрастные особенности некоторых линейных параметров пястных костей у лиц мужского пола Таджикистана/С.В. Матюшечкин// Журнал анатомии и гистопатологии. – 2018. – Т.7. – № 3. – С. 20-25.
3. Матюшечкин С.В. Этно-территориальные особенности некоторых линейных параметров пястных костей у лиц женского пола Таджикистана и Индии/ С.В. Матюшечкин, Л.Р. Гайнутдинова// Морфологические ведомости. – 2019. – Т.27. – №2. – С. 28-32.
4. Матюшечкин С.В. Сравнительная оценка некоторых линейных параметров проксимальных фаланг кисти у детей и подростков мужского пола Таджикистана и Западной Индии в возрастном аспекте/ С.В. Матюшечкин// Бюллетень сибирской медицины. – 2020. – Т.19. – № 3. – С. 52-59. Scopus
5. Матюшечкин С.В. Этно-территориальные особенности некоторых остеометрических параметров проксимальных фаланг кисти детей и подростков мужского пола Таджикистана и Западной Индии/С.В. Матюшечкин// Морфологические ведомости. – 2020. – Т. 28. – № 4. – С.38-45.
6. Матюшечкин С.В. Рентгено-остеометрическое исследование линейных параметров средних фаланг кисти у детей и подростков в возрастном и

этническом аспектах/ С.В. Матюшечкин, Н.Н. Микрюкова// Морфологические ведомости. – 2021. – Т. 29. – № 1. – С. 34-42.

7. Матюшечкин С.В. Динамика процесса синостозирования и сроки его завершения в трубчатых костях дистального отдела верхней конечности у детей и подростков Таджикистана/С.В. Матюшечкин, Е.Н. Комиссарова// Морфологические ведомости. – 2021. – Т. 29. – № 2. – С. 44-50.

8. Матюшечкин С.В. Возрастные и этно-территориальные различия некоторых линейных параметров проксимальных фаланг кисти лиц женского пола Таджикистана и Западной Индии/ С.В. Матюшечкин, А.В. Тишков// Морфологические ведомости. – 2021. – Т.29. – № 3. – С. 29-38.

9. Матюшечкин С.В. Оssiификации костей запястья у детей Таджикистана/ С.В. Матюшечкин, Р.М. Хайруллин, Е.Н. Комиссарова// Морфологические ведомости. – 2021. – Т. 29, № 4. – 65-69.

10. Матюшечкин С.В. Соотношение длины тела у детей и подростков Таджикистана с некоторыми линейными параметрами трубчатых костей кисти/ С.В. Матюшечкин, Р.М. Хайруллин, А.В. Тишков// Журнал анатомии и гистопатологии. – 2021. – Т.10, № 4. – С. 43–47.

Монография

Матюшечкин С. В. Рост и синостозирование костей дистального отдела верхней конечности у таджикских детей и подростков/ С.В. Матюшечкин, Р.М. Хайруллин, Е.Н. Комиссарова //под общ. ред. С.В. Матюшечкина. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. – 152 с.

Публикации в других изданиях

1. Матюшечкин С.В. Этно-территориальные особенности роста и развития пястных костей/Л.А. Алексина, С.В. Матюшечкин, Т.П. Хайруллина// Морфология. – 2009.– Т. 136, № 4. –С. 9а.

2. Матюшечкин С.В. Этнические особенности синостозирования дистальных концов костей предплечья/ С.В. Матюшечкин, Л.А. Алексина // Морфология. – 2010. – Т. 137, № 4. – С. 16

3. Матюшечкин С.В. Возрастные и половые особенности метакарпального индекса у жителей Западной Индии /С.В. Матюшечкин, Л.А. Алексина// Морфология. – 2012. – Т. 141, № 3. – С. 99

4. Матюшечкин С.В. Особенности синостозирования пястных костей у лиц мужского пола, проживающих в разных климатических поясах /С.В. Матюшечкин, Л.А. Алексина// Материалы Всероссийской науч. конф., посв. 250-летию со дня рождения акад. П.А. Загорского – первого зав. кафедрой

анатомии и физиологии Медико-хирургической академии. – СПб. – 2014. – С. 111-112

5. Матюшечкин С.В. Остеометрические параметры средних фаланг кисти у детей и подростков мужского пола Таджикистана и Западной Индии /С.В. Матюшечкин, Е.Н. Комиссарова, С.Х. Абедальязиз, Т.В. Митрофанова// Материалы Всероссийской науч. конф. посв. 80-летию со дня рождения проф. А.К. Косоурова; Воронеж: «Научная книга», 2021. – С. 190-193.
6. Матюшечкин С.В. Изучение оссификации дистальных эпифизов костей предплечья у детей и подростков женского пола Западной Индии/ С.В. Матюшечкин, Е.Н. Комиссарова// FORCIPE. – 2021. – Т. 4, № 2. – С. 12-15.
7. Matyushechkin S. Age estimation from osteometry parameters of tubular bones of the hand in children and adolescents from Tajikistan/ S. Matyushechkin, R. Khayrullin// Anatomical Society Summer Meeting Glasgow 2021: Cutting Edge Anatomy. Journal of Anatomy. 2022. – Р. 34.
8. Матюшечкин С.В. Возрастная динамика оссификации костей запястья у детей Западной Индии/ С.В. Матюшечкин, Р.М. Хайруллин, Е.Н. Комиссарова// сборник научной конференции «Анатомия – фундаментальная наука медицины», посв.150-летию со дня рождения академика В.Н. Тонкова. – СПб, 2022. – С. 106–109.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Дл –длина костей;

ДФ I-V – дистальные фаланги 1-5 пальцев;

ДТ – длина тела;

ПК I-V – пястные кости 1-5;

ПФ I-V – проксимальные фаланги 1-5 пальцев;

СЛК-стадия окостенения в дистальном эпифизе лучевой кости, по классификации Б.А. Никитюка с соавт. (1970);

СФ I-V – средние фаланги 2-5 пальцев;

Ш- ширина диафиза костей;

ШКМП – ширина костно-мозговой полости;

d_C – эффект по Коэну