

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ В.А. АЛМАЗОВА» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ЛУКИН
МАКСИМ ВЛАДИМИРОВИЧ

КОМПЬЮТЕРНАЯ И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ В
ВЫЯВЛЕНИИ СТРУКТУРНЫХ И ПЕРФУЗИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
ГОЛОВНОГО МОЗГА У ДЕТЕЙ С КРАНИОСИНОСТОЗАМИ

3.1.25. Лучевая диагностика

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук, доцент
Ефимцев Александр Юрьевич

Санкт-Петербург

2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ КРАНИОСИНОСТОЗОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	13
1.1 Определение, классификация, этиологические, патогенетические, клинико- неврологические особенности краниосиностозов	13
1.2 Нелучевые методы диагностики краниосиностозов.....	20
1.3 Лучевые методы диагностики краниосиностозов	22
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	49
2.1 Общая характеристика обследованных пациентов	49
2.2 Клинико-инструментальные методы обследования.....	53
2.3 Методика компьютерной томографии	53
2.4 Методика магнитно-резонансной томографии	60
2.5 Методы статистического анализа полученных результатов	66
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	68
3.1 Результаты анализа морфометрических показателей черепа у детей с краниосиностозами по данным компьютерной томографии.....	68
3.2 Результаты анализа перфузионных показателей головного мозга у детей краниосиностозами по данным магнитно-резонансной томографии	79
3.3 Результаты сравнения морфометрических показателей по данным компьютерной томографии с показателями перфузии головного мозга по данным магнитно-резонансной томографии у детей с краниосиностозами.....	88
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ.....	94
ГЛАВА 5. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	118
ВЫВОДЫ	123

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	125
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	126
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Краниосиностоз – это состояние преждевременного сращения одного или нескольких черепных швов, которое приводит к характерным деформациям черепа и асимметрии лица, и может сопровождаться функциональными нарушениями: повышением внутричерепного давления (ВЧД), гидроцефалией, возникновением и развитием когнитивных и других неврологических нарушений (Суфианов А.А. и соавт., 2013; Иванов В.П. и соавт., 2022; Slater B.J. et al., 2008; Kim H.J. et al., 2016; John J et al., 2025; Mavrantoni I et al., 2025; Ferreira JL et al., 2026).

По данным литературы, данная патология встречается с частотой 1:2000-2500 новорожденных (Озерова В.И. и соавт., 2009; Пушкарева А.С., 2024; Di Rocco F et al., 2019; Gomez DA et al., 2025).

В настоящее время интерес к краниосиностозам неуклонно растет, вследствие увеличения частоты (Лопатин А.В. и соавт., 2005; Суфианов А.М. и соавт., 2022; Neusel C. et al., 2018; Patel R.K. et al., 2025) и повышения уровня знаний о генетических причинах данной патологии (Назаренко Л.П. и соавт., 2019; Осипова Д. В. и соавт., 2022; Lattanzi W. et al., 2017; Chaisrisawadisuk S et al., 2026). В частности, в последние два десятилетия было обнаружено значительное увеличение диагностики краниосиностозов по сравнению с предыдущими годами (Kweldam C.F. et al., 2011). Ряд ученых зарегистрировали рост встречаемости краниосиностозов, в том числе по причине повышения осведомленности о данной патологии среди медицинских работников (Cornelissen M. et al., 2016; Tønne E. et al., 2020). Ежегодно в Российской Федерации рождается от 3500 до 5000 детей с этим заболеванием, что создаёт серьёзную медико-социальную проблему, требующую совместных усилий специалистов разного профиля, родителей и общества (Притыко А.Г. и соавт., 2000; Щербаков А.В. и соавт., 2019).

Несмотря на то, что диагноз является результатом физикального обследования, методы лучевой диагностики играют важную роль в

подтверждении диагноза, планировании хирургического вмешательства и в послеоперационном периоде. Однако в современной литературе есть небольшое количество научных работ, посвящённых краниосиностозам, большая часть из которых посвящены одному конкретному методу или методике исследования. Публикаций, посвященных сопоставлению данных нескольких лучевых методов диагностики, мало. Работы, в которых было бы уделено внимание оценке мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами, единичные (Patel R.K. et al., 2025; Gomez DA et al., 2025; Matushita CM et al., 2026).

Степень разработанности темы

На современном этапе в диагностике краниосиностоза и сопутствующей интракраниальной патологии применяются различные методы лучевой диагностики, в большей степени рентгеновская компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная (МРТ) томографии (Рогинский В.В. и соавт., 2019; Massimi L. et al., 2019; Гаибов С. С. Х. и соавт., 2025; Zhu KJ et al., 2025).

Компьютерная томография с различными режимами реконструкции (MPR – Multiplanar Reconstruction, мультипланарная реконструкция; VRT – Volume rendering technique, техника объемного рендеринга), позволяет оценить свод и основание черепа, лицевой скелет, и является методом выбора при постановке диагноза и планировании оперативного лечения (Курмаева Е.А. и соавт., 2019; Rostamzad P et al., 2025). Кроме того, данный метод имеет большое значение для визуализации послеоперационных осложнений и оценке ремоделирования черепа в позднем послеоперационном периоде (Badve C.A., 2013; Rostamzad P et al., 2025).

Более детализированная оценка внутричерепных структур и отсутствие лучевой нагрузки являются ключевыми преимуществами МРТ (Мидленко А. И. и соавт., 2024; Collmann H et al., 2005; Udayakumaran S et al., 2025). Однако ограничения в визуализации костных структур, длительность и необходимость анестезиологического пособия способствуют менее широкому ее назначению по сравнению с КТ (Рещиков Д. А. и соавт., 2023; Spazzapan P et al., 2024).

В настоящее время очень мало публикации по проведению исследований с комплексной нейровизуализационной оценкой костных структур, непосредственно вещества головного мозга и мозгового кровотока до и после хирургической коррекции деформации черепа при краниосиностозе. Существующие публикации носят описательный характер, выполнены на малом количестве наблюдений.

Все вышеперечисленное обуславливает актуальность и неразработанность темы диссертации. Данная работа основана на комплексном подходе к применению методов нейровизуализации, включающем методы выявления как структурных (КТ, МРТ), так и перфузионных (динамическая контрастная МР-перфузия) изменений головного мозга у детей с краниосиностозами до и после хирургической коррекции.

Цель исследования

Улучшение диагностики структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами до и после хирургической коррекции путем выполнения рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии

Задачи исследования

1. Уточнить степень и динамику структурных изменений костей черепа, а также перфузионных показателей головного мозга у детей с краниосиностозами до и после хирургической коррекции.
2. Определить нейровизуализационные маркеры тяжести нарушения мозгового кровотока у детей с краниосиностозами.
3. Определить прогностическую значимость морфометрических изменений по данным КТ и перфузионной МРТ в оценке эффективности хирургической коррекции у детей с краниосиностозами.

4. Разработать оптимальный алгоритм применения методов лучевой нейровизуализации у детей с краниосиностозами.

Научная новизна исследования

На основании данных КТ, с использованием морфометрических измерений, была проведена оценка степени деформации черепа у детей с краниосиностозами до и после оперативного лечения. Выявлено отклонение морфометрических показателей от нормальных значений и их полное или частичное восстановление после оперативного лечения ($p < 0,0001$).

На основании данных динамической контрастной МР-перфузии проведена оценка мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами до и после оперативного лечения, и доказана значимость данной методики в оценке эффективности хирургической коррекции. Выявлено снижение перфузионных показателей головного мозга различной степени при краниосиностозах и их частичное или полное восстановление до нормальных значений после лечения ($p < 0,0001$).

Впервые было проведено сравнение морфометрических измерений, по данным КТ, с показателями мозгового кровотока, по данным динамической контрастной МР-перфузии у детей с краниосиностозами. Взаимосвязи основных перфузионных показателей головного мозга с морфометрическими параметрами черепа во всей выборке статистически значимо не выявлено, что свидетельствует о сложном характере взаимосвязи структурных и функциональных изменений ($p < -0,03 - 0,131$).

Выявлены специфические взаимосвязи между изменениями перфузионных и морфометрических показателей в различных группах краниосиностозов по отдельности, что доказывает необходимость персонализированного подхода к каждому пациенту и виду краниосиностоза ($p < 0,006 - 0,049$).

Впервые разработан оптимальный алгоритм применения методов лучевой нейровизуализации у детей с краниосиностозами.

Теоретическая и практическая значимость

Доказана значимость использования морфометрических измерений по данным КТ у детей с краниосиностозами, применение которых позволяет объективно оценить степень деформации черепа. Предложенный комплекс морфометрических параметров, включающий цефалический индекс, индекс асимметрии свода черепа, фронтальный угол и фронтальный стеноз, обеспечивает комплексную характеристику деформации, позволяет идентифицировать специфические различия между различными типами краниосиностоза и количественно оценить степень их выраженности ($p < 0,0001$).

Доказана значимость применения динамической контрастной МР-перфузии в оценке мозгового кровообращения у детей с краниосиностозами, применение которой позволяет объективно оценить показатели мозгового кровотока. Выявлено значимое снижение перфузионных показателей скорости мозгового кровотока (cerebral blood flow, CBF), объема мозгового кровотока (cerebral blood volume, CBV) во всех группах, значимое повышение показателей среднего времени транзита (mean transit time, MTT), времени до пика (time to peak, TTP) в некоторых группах пациентов, с их частичной или полной нормализацией после оперативного лечения ($p < 0,0001$).

Обобщена МР- и КТ-семиотика структурных и перфузионных изменений головного мозга и костей черепа. Выявлено снижение показателей мозгового кровотока различной степени, в наиболее компримированных отделах головного мозга. В группах скафоцефалии, тригоноцефалии, брахицефалии, передней плагиоцефалии, оксипоцефалии было выявлено снижение средних значений относительных перфузионных показателей в лобных долях rCBF (от $66,90 \pm 4,96\%$ до $82,06 \pm 11,53\%$), rCBV (от $57 \pm 2,61\%$ до $88,73 \pm 4,78\%$), повышение показателей rMTT (от $108,00 \pm 3,44\%$ до $117 \pm 1,80\%$), rTTP (от $103,80 \pm 3,82\%$ до $121,10 \pm 0,70\%$). В группах задней плагиоцефалии и комбинированных краниосиностозов было выявлено снижение средних значений относительных перфузионных показателей в затылочных долях rCBF (от $77,13 \pm 9,77\%$ до $77,71 \pm 10,53\%$), rCBV (от

57,33±2,61% до 79,45±9,53%), повышение показателей гМТТ (от 113,16±10,17% до 115,64±3,84%), гТТР (от 108,33±1,15% до 109,86±6,97%).

Полученные результаты позволили выработать оптимальный алгоритм диагностики структурных и перфузионных нарушений головного мозга и костей черепа путем применения различных методик КТ и МРТ.

Результаты могут быть применены в клинической практике врачами неврологами и нейрохирургами, как дополнительные критерии для принятия решения об хирургической коррекции.

Методология и методы исследования

Методология исследования основывается на результатах КТ и МРТ - семиотики краниосиностозов, опубликованных в современной отечественной и зарубежной научной литературе. Проведён обзор и исследование актуальных источников по теме работы, постановка цели и задач исследования, сбор и обработка нейровизуализационных данных КТ и МРТ и их сопоставление у пациентов с краниосиностозами.

Объектом исследования являлись пациенты с установленным диагнозом краниосиностоз.

Исследование является ретро- и проспективным, когортным, по типу «случай-контроль», выполненное согласно принципам доказательной медицины и обработки, научных данных.

В работе использовались методы сбора, обработки и анализа научных данных, отвечающие требованиям к научно-исследовательской работе.

Положения выносимые на защиту

1. Проведение КТ головы, с выполнением морфометрических измерений, позволяет с высокой точностью определить степень деформации и динамику структурных изменений костей черепа у детей с краниосиностозами, с

указанием всех необходимых размеров до и после оперативного лечения ($p < 0,0001$).

2. Проведение динамической контрастной МР-перфузии позволяет с высокой точностью оценить основные гемодинамические показатели в наиболее компримированных участках головного мозга у детей с краниосиностозами до и после оперативного лечения ($p < 0,0001$).

3. Применение комплексного лучевого исследования, включающее КТ и МРТ, дополненное методиками КТ-морфометрии и динамической контрастной МР-перфузии позволяет сравнить степень деформации костей черепа и показатели церебрального кровотока у детей с краниосиностозами до и после оперативного лечения ($p < 0,0001 - 0,009$).

Данное исследование проводилось в рамках государственного задания № 121031100314-1 «Разработка малоинвазивной системы непрерывной оценки биомеханических свойств краниоспинальной системы ликворообращения и корковой перфузии».

Степень достоверности и апробация работы

Степень достоверности результатов проведённого исследования обеспечивается достаточно большой и репрезентативной выборкой ($n=51$), использованием комплексного статистического анализа с установленным доверительным интервалом ($p < 0,05$), применением современных методов медицинской нейровизуализации и постпроцессинговой обработкой данных, включая проведение внутригруппового и межгруппового анализов. На основании полученных данных были сформулированы выводы, практические рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы данного диссертационного исследования.

Апробация работы проведена на заседании Проблемной комиссии «Нейронауки» ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России от 26.11.2025 года, протокол №10-2025.

Основные результаты исследования были доложены и обсуждены на: XXIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Поленовские чтения» (СПб, 2024); Научно-практической конференции «Лучевая диагностика в перинатологии и педиатрии» (СПб, 2024); XXIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Поленовские чтения» (СПб, 2025); XVI Международном конгрессе «Невский радиологический форум» (СПб, 2025).

Внедрение результатов работы в практику

Результаты работы внедрены в работу: отделений лучевой диагностики №1 и магнитно-резонансной томографии, а также используются в учебном процессе на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России; отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Детского городского многопрофильного клинического центра высоких медицинских технологий им К.А. Раухфуса»; кабинета магнитно-резонансной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Детская городская больница Святой Ольги»; клиники и отделения лучевой диагностики с кабинетом компьютерной томографии, а также используются в учебном процессе кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии им профессора С.А. Рейнберга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; отделения лучевой диагностики «Детского городского многопрофильного специализированного центра высоких медицинских технологий» (Детская городская больница №1).

Кроме того, полученные данные применяются детскими нейрохирургами для планирования лечебно-диагностических процедур у пациентов с краниосиностозами.

Личный вклад автора

Цель и план диссертации, ее основные идеи и содержание разработаны совместно научным руководителем на основе многолетних целенаправленных исследований.

Автор самостоятельно сформулировал обосновал актуальность темы диссертации, цель, задачи и этапы научного исследования. Лично автором была создана электронная база данных пациентов.

Диссертант лично обследовал 51 пациентов, проведя им комплексную МРТ головного мозга, дополненную динамической контрастной МР-перфузией, провел оценку результатов КТ.

Личный вклад автора изучение литературы, сбор, обобщение, анализ полученных данных и написание диссертации – 100%.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертационного исследования опубликовано 18 печатных работ, из них 3 публикации в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК Минобрнауки РФ, а также входящих в библиографическую базу данных рецензируемой научной литературы Scopus. Была проведена регистрация базы данных № 2026620506 «Регистр магнитно-резонансных и компьютернотопографических с исследованиями головного мозга у детей с краниосиностозами» от 03.02.2026г.

Объем и структура диссертации

Диссертация изложена на 163 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием пациентов методов исследования, главы с результатами исследования, обсуждения, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы (227), включающего 54 отечественных и 173 зарубежных источников. Работа иллюстрирована 28 таблицами, 26 рисунками.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ КРАНИОСИНОСТОЗОВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Определение, классификация, этиологические, патогенетические, клинικο- неврологические особенности краниосиностозов

Краниосиностоз – это состояние преждевременного сращения одного или нескольких черепных швов, которое приводит к характерным деформациям черепа и асимметрии лица, и может сопровождаться функциональными нарушениями: повышение ВЧД, гидроцефалия, когнитивные и неврологические нарушения (Суфианов А.А. и соавт., 2013; Slater B.J. et al., 2008; Kim H.J. et al., 2016; Sullivan L.E. et al., 2024; Stegmann K.P. et al., 2025; Matushita CM et al, 2026).

По данным литературы, патология встречается с частотой 1:2000-2500 новорожденных (Озерова В.И. и соавт., 2009; Di Rocco F et al., 2019; Iqbal J et al., 2025; Gomez DA et al., 2025). У мальчиков чаще встречается сагиттальный и метопический краниосиностоз, тогда как у девочек – односторонний коронарный синостоз. Наблюдаются этнические различия в заболеваемости, при этом метопический краниосиностоз чаще встречается у представителей европеоидной расы (Tønne E et al., 2020; Blessing M et al., 2022).

По данным литературы краниосиностоз может проходить изолированно, но также может быть связан с другими пороками развития в рамках сложных синдромов (Remy F. et al., 2025; Delassus O. et al., 2025). Основными синдромами, связанными с краниосиносто́зами, являются: синдром Крузона, синдром Аперта, синдром Пфайффера, синдром Мюнке (O'Hara J et al., 2019; Karsonovich T et al., 2025; Zeppieri M et al., 2025).

С точки зрения этиологических факторов, краниосиностоз подразделяют на: первичный и вторичный (Kabbani H. et al., 2004; Proctor MR et al., 2019). В первом случае, раннее закрытие швов связано с дефектами развития на этапе

эмбриогенеза. При вторичном варианте, причиной служит механическое, метаболическое или тератогенное воздействие на плод на этапе внутриутробного развития (Betances EM et al., 2025).

Во время эмбрионального развития свод черепа развивается из мезенхимальной ткани. Сначала он располагается в виде капсульной мембраны вокруг развивающегося мозга. Постепенно наружный мезенхимальный слой формируется в процессе интрамембранозного окостенения (Gong SG., 2014). Этот интрамембранозный рост кости зависит в основном от направления сил, которые определяются ростом мозга. В период развития, мозг окружен дуральными волокнами, которые тесно связаны и прочно прикреплены к системе швов. Швы свода черепа формируются в период эмбрионального развития в местах сближения перепончатых костей и впоследствии представляют собой основные места расширения костей. Этот процесс представляет собой комбинацию отложения остеоида в области краев швов, поверхностной аппозиции и резорбции (ремоделирования) кости, и центробежного смещения расширяющимся мозгом (Twigg SR. et al., 2015; Wu X et al., 2019).

Слияние швов регулируется главным образом твердой мозговой оболочкой, которая взаимодействует с вышележащими тканями свода черепа. Твердая мозговая оболочка обеспечивает множество важных регуляторов роста, таких как межклеточные сигналы (например, сигналы опосредованные фактором роста фибробластов (FGF) и трансформирующим бета-фактором роста (TGF- β), которые, как предполагается, играют важную роль в этом процессе), механические сигналы, а также клетки, которые подвергаются трансформации и мигрируют к швам. Этот сложный каскад сигналов может быть нарушен большим количеством генетических мутаций, что приводит к аномальному развитию черепных швов (Chim H. et al., 2011; Kague E et al., 2022). В конечном итоге это может привести к преждевременному сращению одного или нескольких швов, что называется краниосиностозом (Zhao X., et al., 2014; Timberlake AT et al., 2022). 85% случаев первичного краниосиностоза возникает как изолированное состояние, 15% являются частью мультисистемного синдрома. При этом, в случае

изолированного поражения, в большинстве случаев происходит раннее закрытие только одного шва (Озерова В.И. и соавт., 2009; Nagaraja S. et al., 2013; Olsson K et al., 2023).

Преждевременное закрытие черепных швов ограничивает рост черепа в плоскости, перпендикулярной пораженному шву с компенсаторным разрастанием вдоль остальных непораженных швов. Это приводит к характерным деформациям черепа (Жайлганов А. А. и соавт., 2020; Stanton E et al., 2022).

В зависимости от пораженного шва существуют следующие варианты деформация черепа (Озерова В.И. и соавт., 2009; Сейтбеков С. Б. и соавт., 2024; Kotrikova B. et al., 2007; Yamamoto E et al., 2026):

- скафоцефалия – закрытие сагиттального шва;
- тригоноцефалия – закрытие метопического шва;
- передняя плагиоцефалия – закрытие коронарного шва с одной стороны;
- брахицефалия – закрытие коронарных швов с обеих сторон;
- задняя плагиоцефалия – закрытие лямбдовидного шва с одной стороны;
- туррицефалия – закрытие лямбдовидных швов с обеих сторон;
- оксицефалия – закрытие сагиттального и коронарных швов;
- деформация по типу «листа клевера» – закрытие сагиттального, коронарных и лямбдовидных швов.

Черепные швы необходимы для роста черепа в первые 2 года, во время быстрого роста мозга (Faasse M et al., 2023). Основной причиной краниосиностоза, по данным большинства авторов, является преждевременное закрытие одного или нескольких черепных швов, и как следствие развитие краниоцеребральной диспропорции (Жайлганов А. А. и соавт., 2020; Иванов В.П. и соавт., 2022; Le DM et al., 2026).

Нарушения когнитивного развития чаще встречаются у детей с краниосиностозом, особенно при синдромальных формах. Основная причина – ограниченный рост мозга и его деформация из-за преждевременного сращения швов, что приводит к повышению ВЧД (Kajdic, N., et al., 2018; Olsson K et al., 2023).

Исследования неврологического статуса таких пациентов активно проводятся. В частности, Speltz M.L. et al., (2015) наблюдали 182 ребенка с неосложненным краниосиностозом и контрольную группу от раннего возраста до школы. Результаты показали, что у детей с краниосиностозом в среднем отмечаются незначительные когнитивные и академические трудности. Степень отставания зависит от типа патологии. При метопическом, монокоронарном и лямбдовидном синостозе проблемы с обучением встречаются чаще, чем при сагиттальном. Наибольшие различия зафиксированы в уровне IQ и компьютерных навыках. Речевые функции и чтение обычно сохраняются в норме. Важно отметить, что у 58% детей не выявлено значимых учебных затруднений. Своевременная диагностика и коррекция позволяют минимизировать риски, предотвращая серьезные когнитивные и академические нарушения (Burokas L., 2013; Gallagher E.R. et al., 2022).

Furtado L.M.F. et al., (2023) провели систематический обзор, который был направлен на изучение влияния краниосиностоза на микроструктуру мозга, в особенности на функциональную коннективность, а также на обобщение клинических и экспериментальных данных по этой теме. В ходе исследования был проведен анализ публикаций за последние 20 лет и из 560 первоначально найденных статей для детального рассмотрения были отобраны 11, среди которых 7 исследований проводились на людях, а 4 — на животных. Основными методами оценки функциональной и структурной связности мозга у людей стали функциональная МРТ (фМРТ) в состоянии покоя (фМРТп), стимул-зависимая МРТ (фМРТс), и диффузионно-тензорная томография (DTI). Результаты показали, что у пациентов с краниосиностозом наблюдается повышенная коннективность заднего отдела поясной извилины, отрицательная коннективная связь между лобными долями и снижения коэффициента диффузия по данным DTI. Эти изменения были ассоциированы с гиперактивным поведением и ухудшением когнитивных функций. В исследованиях на животных, несмотря на отсутствие прямых доказательств дисфункции мозга, также отмечалась тенденция к развитию гиперактивности и когнитивных нарушений. Полученные данные

позволяют предположить, что ограничение роста черепа при краниосиностозах приводит к хроническому повышению ВЧД и повреждению белого вещества. Текущие доказательства подтверждают, что раннее хирургическое вмешательство может способствовать минимизации нарушений мозговой связности в таких случаях (Furtado L.M.F. et al. 2023).

Сбалансированное соотношение структур черепа критически важно для физиологического развития и работы головного мозга (Sullivan LE et al., 2024). Оптимальное распределение объемов мозговой ткани, цереброспинальной жидкости и кровеносного русла обеспечивает поддержание нормального ВЧД, что является обязательным условием для полноценного функционирования центральной нервной системы. Дисбаланс в этой системе неизбежно приводит к тяжелым неврологическим осложнениям (Кульчиков А.Е. и соавт., 2015; Маматханов М.Р. и соавт., 2023).

Понятие краниocereбральной диспропорции отражает патологическое изменение пространственного соотношения интракраниальных структур с последующим нарушением их функций (Ларькин В.И. и соавт., 2003). Данные нарушения могут возникать как вследствие увеличения объема внутричерепного содержимого из-за черепно-мозговой травмы, новообразований, гидроцефалии, геморрагий (Маматханов М.Р. и соавт., 2023; Svalina A et al., 2025).

Если не лечить пациента, краниосиностоз может вызвать серьезные осложнения, такие как задержка развития, аномалии лица, сенсорная, респираторная и неврологическая дисфункция, аномалии, влияющие на зрение, и психологические нарушения (Stanton E. et al., 2022; Zeppieri M. et al., 2025; Sadon S. et al., 2025). Так же краниосиностоз может сопровождаться гидроцефалией и мальформацией Киари I (Frassanito P. et al., 2021). Гидроцефалия преимущественно развивается при многошовном поражении и синдромальных формах, особенно при синдроме Крузона (Bonfield C.M. et al., 2021). Мальформация Киари I, согласно литературным данным, чаще всего связана с лямбдовидным синостозом, но встречается и при других типах, например, сагиттальном (Fearon JA et al., 2016; Davis AA et al., 2019). Таким образом, ранняя

диагностика, экспертные хирургические методы, послеоперационная помощь и адекватное наблюдение имеют жизненно важное значение для лечения краниосиностоза (Щербаков А.В. и соавт., 2019; Иванов В.П. и соавт., 2022; Kajdic, N., et al., 2018;).

Одним из главных осложнений краниocereбральной диспропорции и абсолютным показанием к оперативному лечению краниосиностозов является внутричерепная гипертензия (Judy B.F. et al., 2018; Kim S.Y. et al., 2019; Makoshi Z. et al., 2025). Хроническая внутричерепная гипертензия приводит к нарушению миелинизации и связана с замедлением развитием нервной системы, поскольку негативные последствия данных процессов включают атрофию зрительного нерва, приводящую к слепоте и задержке психомоторного развития, и может привести даже к смерти (Shakir S. et al., 2022).

Раннее закрытие швов может влиять на костные структуры в периорбитальной зоне. Гипоплазия средней части лица является общей чертой синдромальных краниосиностозов, при которой как кости, так и мягкие ткани в средней части лица недостаточно развиты в трех измерениях (Greig A.V.H., et al., 2013; Lee T.C. et al., 2024). Эти орбитальные мальформации могут влиять на положение глаз и век, что, в свою очередь, может привести к глазным аномалиям и нарушениям моторики глаз (Rostamzad P. et al., 2022; Patel R.K. et al., 2025).

Глазные аномалии, при краниосиностозах, включают экзофтальм, энофтальм, контактный кератит, слезную дисфункцию, птоз век или аномалии рефракции, такие как астигматизм (Ясонов С.А. 2012; Greig A.V.H., et al., 2013., Rostamzad P, et al., 2022). Нарушения подвижности глаз включают косоглазие, который является одной из основных причин развития амблиопии. Кроме того, преждевременное закрытие швов может вызвать высокое ВЧД что приводит к отеку зрительного диска, например, папиллоэдеме (Duan M. et al., 2021). Важно, чтобы эти глазные аномалии и нарушения моторики глаз обнаруживались и лечились своевременно, чтобы предотвратить потерю зрения (Faasse M. et al., 2023). С рождения зрительная система развивается и достигает своей функциональной зрелости в возрасте шести лет. Полностью развитая визуальная

система завершается в возрасте десяти лет (Кочина М. Л. И соавт., 2013; Zimmermann A., et al., 2019).

Для некоторых заболеваний глаз сроки лечения имеют решающее значение. Например, результаты лечения амблиопии более успешны, когда ребенку меньше семи лет (Кодзоева Л.А., 2013; Holmes J.M., 2011). Хотя офтальмологические данные часто встречаются при различных черепно-лицевых заболеваниях, точная распространенность глазных аномалий в этой популяции пока неизвестна (Rufai S.R. et al., 2023; Yang S. et al., 2024).

Диагноз типичного краниосиностоза обычно клинический и часто диагностируется на первом году жизни (Harada A. et al., 2019; Иванов В.П. и соавт., 2022). Клиническая оценка определяет следующее: имеется ли краниосиностоз, имеются ли дополнительные признаки, указывающие на наличие сопутствующего синдрома, и требуется ли срочное, или необходимо плановое лечение (Kang S.G. et al., 2016; Saal H.M., 2016; Betances E.M. et al., 2025). Вначале тщательно изучается медицинский анамнез (Суфианов А.А. и соавт., 2015).

Для определения этиологии краниосиностоза, основное внимание уделяется семейному анамнезу с необычной формой головы, курению матери во время беременности, пренатальному воздействию тератогенов (такие как вальпроевая кислота, нитрофурантоин и сертралин), свидетельствам внутриутробного ограничения вследствие многоплодной беременности, аномального положения плода или олигогидрамниона (Климова И.В. и соавт., 2025; Betances E.M. et al., 2025). Заболевания щитовидной железы и сахарный диабет также могут predispose к развитию краниосиностоза (Stanton E et al., 2022).

Таким образом, краниосиностоз достаточно частое встречающееся заболевание (с частотой 1:2000-2500), с преобладанием у мужского пола. Краниосиностоз может протекать бессимптомно, однако зачастую сопровождается различными неврологическими, когнитивными нарушениями различной выраженности и аномалиями развития, особенно при синдромальных формах. Вовремя не пролеченный, осложнённый синостоз может привести к

серьезным, инвалидизирующим, последствиям и даже смерти. Все это еще раз подчёркивает важность своевременного выявления, грамотной диагностики и лечения данного заболевания (Ha JY et al., 2026).

1.2 Нелучевые методы диагностики краниосиностозов

Обследование ребенка с краниосиностозом направлено на подтверждение диагноза, выявление сопутствующих синдромальных признаков, установление причин патологии и раннее обнаружение осложнений, что в совокупности позволяет своевременно начать лечение и улучшить неврологические, когнитивные и общие показатели развития (Иванов В.П. и соав., 2024; Shruthi N.M. et al., 2025). При обследовании ребенка с краниосиностозом крайне важно собрать детальный анамнез. Необходимо уточнить возраст появления первых признаков, динамику развития патологии (особенно важно при вторичном приобретенном характере заболевания), а также наличие неврологической симптоматики - головных болей, рвоты, зрительных нарушений, дисфункции черепных нервов, судорог, сенсорных расстройств, парезов, патологических движений, атаксии или нистагма (Girard A.O. et al., 2022; Alperovich M. et al., 2025). Также следует обратить внимание на возможные системные проявления со стороны опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистой или дыхательной систем. Особое значение имеет тщательный анализ перинатального периода, включая возможные пренатальные осложнения (аномалии внутриутробного развития, задержку роста плода, маловодие, многоплодную беременность), воздействие тератогенных факторов (прием противосудорожных средств, радиационное облучение и др.). Не менее важны данные о развитии ребенка и семейный анамнез, что в совокупности помогает установить этиологию заболевания (Zavala C.A. et al 2023; Tibesar R.J. et al., 2024).

Клинический осмотр - важная часть, в ходе которой выявляются возможные врожденные аномалии (например, широкий, радиально отклоненный большой

палец при синдроме Пфайффера или синдактилия при синдроме Аперта), дисморфические черты лица (гипер- или гипотелоризм, гипоплазия средней зоны лица, асимметрия, положение, форма и размер ушей), форма черепа со всех сторон, измерение окружности головы для расчета цефалического индекса (отношение максимальной ширины к максимальной длине черепа) (Zaleckas L. et al., 2015; Hersh DS et al., 2021). Также следует оценить наличие швов, заметных кровеносных сосудов на коже головы, размер, форму и напряжение родничков (Lynch ME et al., 2024).

При осмотре, ребенку с подозрением на краниосиностоз, прежде всего измеряют окружность головы - наличие микро- или макроцефалии помогает различить первичную и вторичную формы заболевания. Особое внимание уделяют состоянию родничков: переднего (который может быть как открытым, так и закрытым) и заднего, отмечая их размеры, форму и возможное выбухание, свидетельствующее о повышенном внутричерепном давлении (Whitsell N. et al., 2021; Shruthi N.M. et al., 2025).

Обязательно проверяют наличие нейрокожных маркеров и различных диспластических признаков. К ним относятся: асимметрия лица, гипоплазия средней зоны, гипер- или гипотелоризм, низко расположенные уши, смещение глазниц или ушных раковин. При синдроме Аперта наблюдается синдактилия, а для синдрома Пфайффера характерны широкие большие пальцы на руках и ногах. Также отмечают аномальную форму черепа, наличие костных гребней, расщелину нёба и другие стигмы дисэмбриогенеза (Zaleckas L. et al., 2015; Fine A. et al., 2022).

Неврологическое обследование должно быть максимально полным. Оценивают функцию черепных нервов, проверяют глазное дно на предмет застойных дисков зрительных нервов или их атрофии, выявляют возможные очаговые неврологические симптомы. Завершает осмотр оценка психомоторного развития ребенка, которая помогает определить степень влияния краниосиностоза на ЦНС (Kalmar C.L. et al., 2022; Moreno-Villagómez J. et al., 2024; Shruthi N.M. et al., 2025).

Диагностика внутричерепной гипертензии (ВЧГ) у детей представляет значительные сложности. Хотя «золотым стандартом» остается прямое измерение ВЧД через инвазивный мониторинг, этот метод требует госпитализации, общего наркоза и сопряжен с рисками инфекции, кровотечения, ликвореи и технических неисправностей (Tamburrini G et al., 2005; Rufai SR et al., 2023). К неинвазивным офтальмологическим методам диагностики ВЧД относят фундоскопию и исследование зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) (Haredy MM et al., 2019; Burns HR et al., 2022).

В настоящее время комплексное обследование, включающее тщательный физикальный осмотр, детальный сбор анамнеза и применение нелучевых диагностических методик, дает возможность с высокой долей вероятности установить диагноз краниосиностоза, выявить характерные клинические проявления и заподозрить возможные осложнения данного патологического состояния. Тем не менее, для окончательного подтверждения диагноза и разработки оптимальной лечебной стратегии в каждом конкретном случае необходимо обязательное проведение лучевых методов исследования, которые остаются «золотым стандартом» диагностики. Современные визуализационные технологии позволяют не только верифицировать диагноз, но и точно оценить степень поражения, что крайне важно для определения дальнейшей тактики ведения пациента и выбора между консервативным и хирургическим методами лечения.

1.3 Лучевые методы диагностики краниосиностозов

В настоящее время в диагностике краниосиностозов применяется комплекс лучевых методов, каждый из которых занимает свою нишу в диагностическом алгоритме. Особое значение имеют четыре основных метода: ультразвуковое исследование (нейросонография), краниография, КТ и МРТ, которые взаимно дополняют друг друга (Озерова В.И. и соавт., 2009; Джанджгава Н.Н. и соавт.,

2021; Щербаков А.В. и соавт., 2022; Иова А. С. и соавт., 2022; Katouni K et al., 2023).

Ультразвуковой метод диагностики

Согласно литературным данным, УЗИ может рассматриваться как первичный диагностический метод при обследовании детей, что подтверждается его высокой диагностической точностью - исследования демонстрируют значительные показатели чувствительности и специфичности данного подхода (Иова А. С. и соавт., 2022; Rozovsky K et al., 2016; Pogliani L et al., 2017). Исторически метод ультразвуковой диагностики черепных швов был впервые описан в научной литературе в 1997 году (Soboleski D et al., 1997), а уже в следующем, 1998 году появилась фундаментальная работа, детально описывающая характерные ультразвуковые признаки преждевременного закрытия черепных швов, что заложило основу для дальнейшего развития этого диагностического направления (Soboleski D et al., 1998).

В исследование А.В. Щербаков и соавт., (2022) был проведен ретроспективный анализ эффективности ультразвуковой диагностики краниосиностозов у 49 пациентов в возрасте до 14 месяцев с клиническими признаками преждевременного закрытия черепных швов. Основную группу обследовали с использованием аппарата экспертного класса, при этом дополнительно 10 пациентов в возрасте от 2 до 10 месяцев прошли сравнительное исследование как на аппарате экспертного, так и среднего класса для оценки возможностей оборудования разного уровня. Результаты показали высокую диагностическую эффективность метода - у 42 пациентов было выявлено 48 случаев преждевременного закрытия швов, при этом только в двух наблюдениях были отмечены расхождения с данными МСКТ с 3D-реконструкцией, которые показали полное закрытие швов в тех случаях, когда УЗИ фиксировало лишь частичное закрытие. Статистический анализ продемонстрировал высокую точность метода с показателями чувствительности 95,8% и специфичности 100%. Особый интерес представляют данные сравнительного исследования на аппаратах разного класса - во всех 10 случаях преждевременно закрытые швы были

одинаково выявлены как на экспертной, так и на средней по характеристикам ультразвуковой системе. На основании полученных данных авторы приходят к важному клиническому выводу, что УЗИ может и должно рассматриваться как метод первого выбора при диагностике краниосиностозов у детей грудного возраста, учитывая его высокую точность, неинвазивность и доступность, причем диагностическая ценность метода сохраняется даже при использовании аппаратуры среднего класса, что особенно важно для широкого практического применения в различных медицинских учреждениях. Эти выводы подтверждают возможность минимизации лучевой нагрузки на детский организм за счет первичного использования УЗИ с последующим, только при необходимости, применением более сложных методов визуализации (Щербаков А.В. и соавт., 2022).

В своем исследовании И.В. Климова и соавт., (2025), на примере клинического случая, сделали выводы о том, что пренатальная ультразвуковая диагностика изолированного сагиттального синостоза представляет значительные сложности, однако современные методики УЗИ позволяют установить данный диагноз уже в III триместре беременности. Авторы подчеркивают, что при обнаружении характерной скафоцефалической формы головки плода крайне важен расчет цефалического индекса (ЦИ) - его прогрессирующее снижение по мере увеличения срока гестации служит важным диагностическим критерием. В таких случаях исследователи настоятельно рекомендуют проведение трехмерного ультразвукового сканирования с применением методов объемной реконструкции, которые существенно улучшают визуализацию костных структур черепа плода и позволяют достоверно идентифицировать преждевременное закрытие сагиттального шва, а также оценить характер его структурных изменений. Особое значение авторы придают своевременности диагностики, отмечая, что раннее выявление краниосиностоза позволяет: во-первых, оптимизировать тактику ведения родового процесса, минимизируя риски родового травматизма и снижая показатели перинатальной заболеваемости; во-вторых, заблаговременно планировать сроки хирургической коррекции, что в значительной степени

предотвращает развитие характерных осложнений и создает условия для нормального нейрокогнитивного развития ребенка. При этом исследователи акцентируют внимание на необходимости дальнейшего совершенствования методов пренатальной диагностики данной сложной аномалии развития, подчеркивая важность продолжения научных изысканий в этом направлении для повышения эффективности раннего выявления патологии и улучшения долгосрочных результатов лечения (Климова И.В. и соавт., 2025)

В исследовании CA DeFreitas et al., (2022) авторы провели сравнительный анализ пренатальных ультразвуковых данных 22 плодов с последующим подтвержденным несиндромальным краниосиностозом и 22 плодов контрольной группы, сопоставимых по гестационному возрасту. Методология исследования включала тщательный отбор поперечных ультразвуковых срезов на уровне стандартного измерения бипариетального размера с последующей параметризацией формы черепа для создания дифференциальных диагностических критериев. Особое значение придается тому, что полученные результаты количественного анализа формы черепа были сопоставлены с данными простого визуального осмотра снимков, проводимого "вслепую". Среди обследованных случаев преобладал сагиттальный синостоз (11 наблюдений), затем следовал метопический синостоз (6 случаев). Средний гестационный возраст на момент проведения ультразвукового исследования составил 26 недель и 6,8 дней - период, соответствующий рубежу между вторым и третьим триместром беременности. Проведенный статистический анализ продемонстрировал достоверные различия ($p < 0,001$) между профилями формы черепа в сравниваемых группах. Разработанный алгоритм автоматической классификации с использованием перекрестной проверки по методу "вычитания одного наблюдения" показал высокую эффективность - правильная классификация изображений достигла 85% (чувствительность 82%, специфичность 87%). Примечательно, что традиционно используемый цефалический индекс оказался малоинформативным для диагностики сагиттального синостоза (чувствительность всего 45%), а результаты визуальной

оценки демонстрировали лишь умеренную точность (40-50% совпадений) с коэффициентом каппа в диапазоне 0,09-0,23, что указывает на минимальную согласованность таких оценок. На основании проведенного анализа авторы приходят к важным клиническим выводам: применение формализованного анализа формы черепа позволяет выявлять краниосиностозы при пренатальном УЗИ с достаточно высокой чувствительностью. В то же время подчеркивается неэффективность использования только цефалического индекса и визуальной оценки, которые демонстрируют низкую диагностическую ценность. Эти результаты имеют значительные практические последствия, указывая на необходимость внедрения более совершенных методов компьютерного анализа ультразвуковых изображений в рутинную практику пренатальной диагностики (DeFreitas CA et al., 2022).

В систематическом обзоре I Whittall et al., (2021) авторы предприняли масштабную работу по анализу современных подходов к диагностике краниосиностозов, уделив особое внимание спорным вопросам выбора оптимальных методов визуализации. Они отмечают существующую дискуссию в профессиональном сообществе относительно диагностических протоколов, где традиционные методы (краниография и 3D МСКТ головы), несмотря на свою информативность, сопряжены с неизбежной лучевой нагрузкой. В этом контексте ультразвуковое исследование черепных швов рассматривается как перспективная альтернатива, однако, как подчеркивают авторы, его применение до сих пор не получило широкого распространения в клинической практике. Методология исследования включала тщательный систематический анализ всей доступной научной литературы, посвященной использованию ультразвука для диагностики краниосиностозов. В результате было отобрано и проанализировано 12 исследований, охватывающих в общей сложности 1062 пациента. Из них у 300 пациентов (28,2%) был подтвержден диагноз краниосиностоза. Особое значение имеет тот факт, что в 369 случаях (34,7%) диагноз (наличие краниосиностоза или открытых швов) был верифицирован с помощью дополнительных методов визуализации помимо ультразвука, что повышает достоверность полученных

данных. Анализ диагностической точности ультразвукового метода показал высокие результаты: специфичность варьировала от 86 до 100%, а чувствительность - от 71 до 100% в различных исследованиях. На основании проведенного анализа авторы делают важные выводы, имеющие значительные практические последствия. Они убедительно демонстрируют, что УЗИ представляет собой надежный и точный диагностический инструмент для выявления одношовных форм краниосиностоза, особенно в случаях, когда данные физикального обследования недостаточно информативны. Хотя авторы признают наличие определенной кривой обучения, связанной с техническими аспектами проведения ультразвукового исследования и интерпретации его результатов, они подчеркивают, что при надлежащей подготовке специалистов метод позволяет достичь высокой диагностической точности у пациентов с подозрением на краниосиностоз. Эти выводы особенно важны в контексте минимизации лучевой нагрузки на детский организм и развития безопасных методов ранней диагностики. На основании анализа современных исследований можно заключить, что УЗИ является высокоэффективным и безопасным методом диагностики краниосиностозов, особенно в педиатрической практике. Метод демонстрирует высокую диагностическую точность (чувствительность 71-100%, специфичность 86-100%) при выявлении одношовных форм, не уступая по информативности КТ, но при этом полностью исключая лучевую нагрузку. Важными преимуществами УЗИ выступают его доступность, возможность многократного применения и хорошие результаты даже на аппаратах среднего класса. Особую ценность метод приобретает при пренатальной диагностике в III триместре с использованием 3D-технологий и динамической оценки цефалического индекса. Однако следует учитывать оператор-зависимость метода, необходимость специальной подготовки специалистов и ограниченную информативность при сложных многошовных формах. Оптимальным представляется использование УЗИ в качестве первичного скринингового метода с последующим, при необходимости, применением КТ в сложных диагностических случаях. Дальнейшее совершенствование ультразвуковых

протоколов и внедрение компьютерных технологий анализа изображений позволят расширить диагностические возможности метода и повысить его роль в клинической практике (I Whittall et al., 2021)

Традиционная краниография

В современной клинической практике, согласно российским клиническим рекомендациям по хирургическому лечению несиндромальных краниосиностозов у детей (2015 г.) краниография утратила свое значение как диагностический метод из-за недостаточной информативности и сложностей получения качественного исследования у детей младшего возраста. Однако в рекомендациях Faasse M et al., (2023) рентгенография может быть выполнена в некоторых случаях, но ее интерпретация также требует значительного опыта, как и УЗИ, а само исследование сопряжено с лучевой нагрузкой. По сравнению с КТ, традиционная рентгенография менее точна в визуализации черепных швов. Тем не менее это экономически эффективный метод, как инструмент скрининга, у детей с низким риском краниосиностоза. Одним из его преимуществ является то, что не требуется общая анестезия (Zaleckas L. et al., 2015).

Компьютерная томография

Компьютерная томография считается наиболее точным методом визуализации краниосиностоза (Озерова В.И. и соавт., 2009; Tao W. et al., 2025; Margulies I.G. et al., 2022 Le DM et al., 2026). С помощью этого метода можно оценить состояние всех швов. Кроме того, КТ позволяет оценить головной мозг на предмет возможных структурных аномалий (например, венрикуломегалии, агенезии мозолистого тела и черепно-мозговой асимметрии) (Баширян Б. А. и соавт., 2025; Badve S.A., 2013).

Несмотря на то, что КТ является «золотым стандартом» при диагностике краниосиностоза, основным его недостатком является наличие лучевой нагрузки, особенно при необходимости повторных исследований (Bruce MK et al., 2021). В связи этим постоянно прилагаются усилия, чтобы сбалансировать соотношение необходимости применения КТ и риска неблагоприятных последствий ионизирующего излучения. Многие научные труды в настоящее время

сосредоточены на снижение лучевой нагрузки при рентгенологических исследованиях с сохранением высокого качества визуализации (Braniff C et al., 2025; Ernst C.W. et al., 2016; Kaasalainen, T., et al 2015; Tao W et al., 2025).

В исследовании C. Braniff et al., (2025) авторами была проведена комплексная оценка эффективности инновационного подхода к снижению лучевой нагрузки при КТ у детей с подозрением на краниосиностоз. В работе использовался специально разработанный фантом детской головы с искусственно смоделированными черепными швами, позволяющий точно воспроизводить анатомические особенности патологии. Исследование проводилось на двух компьютерных томографах, оснащенных различными типами спектральных фильтров (Tin и SilverBeam), которые обеспечивают селективное пропускание рентгеновского излучения. Методология включала поэтапное снижение объемного индекса дозы облучения (CTDIvol) от стандартных педиатрических протоколов с шагом от 89,2% до рекордных 99,9% для фильтра SilverBeam. Каждый полученный набор изображений подвергался анализу с использованием как количественных методов оценки (измерение пиксельной интенсивности в области швов, расчет пространственного разрешения), так и качественного экспертного анализа двумя независимыми детскими радиологами. Результаты исследования показали высокую эффективность предложенной технологии. При использовании фильтра Tin минимальная достигнутая доза облучения составила 89,2% от стандартного протокола, в то время как фильтр SilverBeam продемонстрировал еще более значительное снижение - до 91,4%. Максимальный зафиксированный показатель снижения лучевой нагрузки достиг 161% при использовании SilverBeam-фильтра с 99,9% уменьшением CTDIvol. Важно отметить, что даже при таких экстремально низких дозах основные анатомические ориентиры - контуры черепа и орбит - оставались четко визуализируемыми по оценкам экспертов. Однако исследование выявило и определенные ограничения методики: при снижении дозы более чем на 90% отмечалось ухудшение визуализации коронарных швов, а также наблюдались статистически значимые изменения пиксельной интенсивности в области швов.

Тем не менее, полученные данные убедительно свидетельствуют о том, что применение спектральной фильтрации позволяет достичь уровня лучевой нагрузки, сопоставимого или даже ниже, чем при стандартной четырехпроекционной краниографии (0,09 мЗв), что открывает новые перспективы в диагностике краниосиностозов у детей. Авторы подчеркивают, что их работа является первым в мировой практике систематическим исследованием возможностей спектральной фильтрации в условиях ультранизкодозной педиатрической нейровизуализации. Полученные результаты имеют важное клиническое значение, поскольку демонстрируют принципиальную возможность замены традиционной краниографии на более информативный КТ-метод при сопоставимой лучевой нагрузке. Особый интерес представляет потенциал технологии для скрининговых исследований и динамического наблюдения за пациентами с краниосиностозами. В то же время исследователи отмечают необходимость дальнейших клинических испытаний на реальных пациентах для уточнения диагностической ценности метода, особенно в отношении визуализации отдельных групп черепных швов при максимальном снижении дозы облучения. Проведенная работа закладывает научные основы для разработки новых безопасных протоколов лучевой диагностики, что может существенно изменить существующие алгоритмы обследования пациентов с подозрением на преждевременное закрытие черепных швов (Braniff C et al., 2025).

В исследовании W. Tao et al., (2025) авторы провели сравнительный анализ эффективности инновационного ультранизкодозного протокола КТ с применением оловянного фильтра для диагностики краниосиностозов у детей. Как отмечают исследователи, КТ уже заменила краниографию в качестве «золотого стандарта» диагностики данной патологии, однако проблема радиационного облучения у этой чувствительной группы пациентов остается актуальной. В работе участвовали 27 пациентов, которым проводили ультранизкодозную КТ с оловянным фильтром, и контрольная группа, сопоставимая по возрасту, проходившая стандартное КТ-исследование по другим показаниям. Методология исследования включала тщательный анализ нескольких

ключевых параметров. Во-первых, проводилось сравнение дозиметрических показателей между двумя группами с использованием двустороннего t-критерия для независимых выборок. Во-вторых, оценивались количественные параметры качества изображения, в частности соотношение сигнал-шум. В-третьих, анализировались заключения радиологов на предмет выявления сопутствующих патологических изменений, которые невозможно обнаружить при стандартной краниографии. Такой комплексный подход позволил авторам всесторонне оценить преимущества и ограничения нового протокола. По результатам исследования, средняя эффективная доза в группе ультранизкодозной КТ составила всего 0,14 мЗв, что на 92% меньше по сравнению с контрольной группой. Авторы делают обоснованный вывод о том, что ультранизкодозная КТ с оловянным фильтром позволяет диагностировать краниосиностоз при снижении лучевой нагрузки на 92% по сравнению со стандартными протоколами. Несмотря на некоторое снижение качества изображения, все исследования обеспечили адекватную диагностическую информативность. Особо подчеркивается дополнительное преимущество метода - возможность выявления сопутствующих патологических изменений, недоступных для диагностики при краниографии (Tao W et al., 2025).

Компьютерная томография используется в клинической практике не только, как метод выявления пораженных швов, но и в оценке степени деформации черепа при краниосиностозах, посредством морфометрических изменений (Иванов В.П. и соавт., 2022; Anolik RA et al., 2016; Beiriger JW et al., 2024; Al-Shaqsi S et al., 2023). Существуют множественные морфометрические измерения, которые опционально используются в каждом конкретном случае (Иванов В.П. и соавт., 2024; Wang J.Y. et al., 2016; Patel K.B. et al., 2016; Tolhuisen M.L. et al., 2018; Gabrick K.S. et al., 2020; Makar K.G. et al., 2021; Sakamoto Y. et al., 2024).

В исследовании R.A. Anolik et al., (2016) авторы изучили практическую ценность ранее валидированного межфронтального угла для оценки степени тяжести метопического синостоза и принятия решений о необходимости хирургического вмешательства. Методология включала привлечение экспертной

группы, которая проанализировала 30 клинических случаев с различной степенью выраженности тригоноцефалии - от минимальных проявлений до тяжелых форм. На основании анализа КТ-изображений черепа и клинических фотографий эксперты классифицировали степень тяжести патологии по 4-балльной шкале (1 - норма, 2 - легкая, 3 - умеренная, 4 - тяжелая) и определили рекомендуемую тактику лечения (0 - консервативное, 1 - оперативное). Полученные оценки сопоставлялись с величиной межфронтального угла, рассчитанного для каждого случая. Результаты показали четкую зависимость между остротой межфронтального угла и оценкой тяжести состояния экспертами - чем острее был угол, тем выше балл тяжести. Наибольшая согласованность экспертных оценок наблюдалась в крайних категориях - норма (1) и тяжелая степень (4), где корреляция была статистически значимой ($p < 0,0001$). Однако в диапазоне углов от 114,3 до 136,1 градусов была выявлена "серая зона" со значительными расхождениями в оценках экспертов. Установлен пороговый угол 118,2 градуса, при котором в 87,6% случаев рекомендации экспертов совпадали с показанием к операции. Авторы делают важные выводы о клинической значимости межфронтального угла. Хотя ранее этот показатель уже подтвердил свою ценность как простой, точный и воспроизводимый метод диагностики тригоноцефалии, в данной работе продемонстрирована его дополнительная полезность для объективной оценки степени тяжести патологии. Полученные данные свидетельствуют о том, что межфронтальный угол может служить ценным дополнением к клиническому обследованию, помогая стандартизировать процесс принятия решений при метопическом синостозе (Anolik R.A. et al., 2016).

В исследовании J.Y. Wang et al., (2016) авторы представили новый антропометрический метод оценки метопического синостоза - так называемый метопический индекс (МИ), который позволяет объективно и воспроизводимо оценивать степень выраженности тригоноцефалии. Методология исследования включала ретроспективный анализ высокоразрешающих КТ-сканов головы 69 пациентов с метопическим краниосиностозом в возрасте от 0 до 24 месяцев. Для сравнения использовалась контрольная группа из 316 младенцев (324 КТ-

исследования) без патологий, влияющих на форму и размер головы, включая специально подобранную подгруппу из 112 пациентов, строго соответствующих по возрасту и полу. Особое внимание уделялось анализу 3D-реконструкций - предоперационных (15 случаев), послеоперационных (9 случаев, средний срок после операции 7,1 месяцев) и их сравнению с контрольными группами. Авторы разработали простую методику измерения МИ, которая может выполняться как по КТ-данным, так и путем пальпации черепных ориентиров, что делает метод применимым в клинической практике. Результаты показали значимые различия между группами: среднее значение предоперационного МИ у пациентов с тригоноцефалией составило 0,48 (SD 0,05), что существенно ниже контрольных показателей 0,57 (SD 0,04) для всей контрольной группы и 0,58 (SD 0,04) для подобранной по возрасту и полу подгруппы ($p < 0,001$). Послеоперационные измерения продемонстрировали нормализацию индекса до 0,55 (SD 0,03), что статистически не отличалось от контрольных значений ($p = 0,30$), но было достоверно выше предоперационных показателей ($p = 0,001$). Важно отметить хорошую корреляцию между измерениями, выполненными по КТ и с помощью калипера в клинических условиях ($p = 0,141$), что подтверждает практическую применимость метода. Авторы делают вывод, что метопический индекс представляет собой простой, но эффективный количественный инструмент для оценки степени тяжести тригоноцефалии при метопическом синостозе. Его ключевые преимущества - объективность, воспроизводимость и возможность использования как при КТ-исследовании, так и в клинических условиях путем пальпации черепных ориентиров. Это делает МИ ценным инструментом для предоперационного планирования, интраоперационной коррекции и послеоперационного мониторинга, позволяя стандартизировать подходы к лечению данной патологии. Разработанный метод устраняет существующий пробел в объективной оценке метопического синостоза, предоставляя клиницистам надежный количественный показатель, дополняющий традиционные клинические и эстетические критерии (Wang J.Y. et al., 2016).

В исследовании KS. Gabrick et al., (2020) авторы изучили долгосрочные нейрокогнитивные исходы у пациентов с метопическим краниосиностозом после хирургической коррекции, проведенной в младенческом возрасте. Методология исследования включала комплексное нейропсихологическое тестирование 20 пациентов, достигших краниальной зрелости после хирургической коррекции метопического синостоза в младенчестве. Оценивались возрастно-нормированные показатели коэффициента интеллекта (IQ), академической успеваемости и зрительно-моторной интеграции. Особое внимание уделялось корреляции этих показателей с предоперационной рентгенологической тяжестью состояния, оцениваемой по эндокраниальному бифронтальному углу (умеренная форма $>124^\circ$, тяжелая $<124^\circ$). Для повышения достоверности результатов использовался множественный регрессионный анализ с поправкой на возраст на момент операции, возраст при тестировании, уровень образования родителей и доход семьи. Результаты показали, что в целом пациенты демонстрировали IQ выше среднего ($111,7 \pm 13$) и академическую успеваемость, сопоставимую с национальными нормами (чтение слов – 53,4%, понимание прочитанного – 53,4%, комплексный показатель чтения – 53,5%, правописание – 44%, математика – 52,9%). При стратификации по степени тяжести выявлены значимые различия: пациенты с тяжелой формой (64% случаев) имели более низкие показатели IQ и хуже справлялись со всеми тестами академической успеваемости. Статистически значимые различия обнаружены в тестах на чтение слов (113 против 95; $p=0,035$) и комплексном показателе чтения (109 против 98; $p=0,014$). Авторы делают важные выводы о том, что пациенты с скорректированным метопическим краниосиностозом в целом демонстрируют когнитивные показатели выше среднего. Однако выявлена четкая корреляция между степенью предоперационной рентгенологической тяжести и долгосрочными нейрокогнитивными исходами – более тяжелые случаи ассоциированы с худшими результатами тестирования. Эти данные подчеркивают важность ранней диагностики и своевременной хирургической коррекции, особенно в случаях с выраженными рентгенологическими изменениями, а также необходимость

длительного нейропсихологического мониторинга таких пациентов. Полученные результаты расширяют понимание долгосрочных последствий метопического краниосиностоза и могут быть использованы для совершенствования подходов к ведению таких пациентов (Gabrick KS et al., 2020).

В исследовании J.W. Beiriger et al., (2024) авторы представили инновационный подход к объективной оценке тяжести метопического краниосиностоза, разработав количественные метрики и удобный инструмент для клинического применения. Методология исследования включала сбор и анализ КТ-изображений из нескольких медицинских учреждений, охватывающих весь спектр тяжести патологии. Всего в исследование вошли 254 пациента с метопическим краниосиностозом и 92 пациента контрольной группы в возрасте от 6 до 18 месяцев, проходивших КТ-исследование в период с 2019 по 2021 год. Для обработки изображений использовался автоматизированный инструмент CranioRate, основанный на методах машинного обучения без учителя. Разработанный веб-интерфейс (craniorate.org) был протестирован на 46 КТ-изображениях из 10 учреждений. Результаты продемонстрировали высокую эффективность предложенных метрик. Среднее значение MSS составило $0,0 \pm 1,0$ в контрольной группе и $4,9 \pm 2,3$ у пациентов с метопическим синостозом ($p < 0,001$), а показатели CMD – $85,2 \pm 19,2$ и $189,9 \pm 43,4$ соответственно ($p < 0,001$). Эти данные подтверждают способность алгоритмов достоверно дифференцировать нормальную морфологию черепа от патологической. Разработанный инструмент point-of-care успешно прошел валидацию, обработав десятки изображений из различных медицинских центров. Авторы делают важные выводы о том, что предложенные количественные метрики MSS и CMD превосходят традиционные методы оценки по способности автоматически классифицировать случаи метопического краниосиностоза (Beiriger J.W. et al., 2024).

В исследовании Y. Sakamoto et al., (2024) авторы предприняли попытку прояснить спорные вопросы диагностики метопического краниосиностоза (тригоноцефалии) с использованием методов геометрического морфометрического анализа. Методология исследования включала тщательный

анализ формы черепа с использованием 235 анатомических ориентиров и полуориентиров, нанесенных на всю поверхность черепа по данным КТ-изображений. Применение методов геометрической морфометрии позволило количественно оценить вариации формы нейрокраниума. Статистический анализ основывался на вычислении главных компонент вариаций формы, полученных из матрицы ковариации прокрустовых остатков всех образцов. Такой подход обеспечил объективную оценку различий в краниальной морфологии между группами. Результаты анализа выявили важные закономерности. Исследование формы эндокраниума, лобной и затылочной костей не показало значимых различий между группой с легкой тригоноцефалией и контрольной группой с нормальной анатомией. В то же время "истинная" тригоноцефалия демонстрировала статистически значимые отличия как от легких форм, так и от нормы. Эти данные свидетельствуют о принципиальном различии между изолированным метопическим гребнем и истинной тригоноцефалией с точки зрения краниальной морфологии. Авторы приходят к обоснованному выводу, что наличие изолированного метопического гребня при отсутствии других изменений не может рассматриваться как патологическое состояние и, вероятно, представляет вариант нормальной морфологии (Sakamoto Y. et al., 2024).

В исследовании S. Al-Shaqsi et al., (2023) авторы провели ретроспективный анализ результатов применения методики дистракционного остеогенеза заднего свода черепа для коррекции туррибрахицефалии у детей с синдромальными и несиндромальными краниосиностозами. Методология исследования включала ретроспективный обзор всех случаев дистракции заднего свода черепа, выполненных одним хирургом в специализированном детском центре с 2008 по 2022 год. Для оценки морфометрических результатов использовались компьютерно-томографические исследования до и после операции с расчетом индекса туррицефалия (TI) и объема заднего черепного отдела (PCV). Дополнительно анализировались клинические исходы и осложнения. В исследование вошли 41 пациент (25 девочек, 16 мальчиков) со средним возрастом 11 месяцев, среди которых 32 случая синдромальных и 9 случаев

несиндромальных краниосиностозов. Основным показанием к операции (63% случаев) являлась выраженная туррицефалия. Результаты показали, что среднее расстояние distraction составило 25,9 мм, при этом достигнуто среднее уменьшение индекса туррицефалии на 18% и увеличение объема заднего черепного отдела на 19,7%. Несмотря на то, что у 13 пациентов (32%) наблюдались осложнения, летальных исходов зафиксировано не было. Эти данные свидетельствуют об эффективности методики в коррекции вертикального размера черепа и увеличении внутричерепного объема. Особенно важно, что полученные результаты были достигнуты у пациентов с различными формами краниосиностозов, включая сложные синдромальные случаи. Авторы делают обоснованный вывод о том, что distractionный остеогенез заднего черепного свода представляет собой безопасный и эффективный метод первого этапа хирургического лечения детей с краниосиностозами, сопровождающимися внутричерепной гипертензией и/или туррицефалией (Al-Shaqsi S. et al., 2023).

Современные исследования в области морфометрической оценки краниосиностозов по данным КТ демонстрируют значительное разнообразие подходов и методик измерений, при этом основное внимание в литературе уделено метопическому краниосиностозу (тригоноцефалии), тогда как другие формы патологии остаются менее изученными. Существующие методы варьируются от относительно простых измерений (межфронтальный угол, метопический индекс) до сложных компьютерных алгоритмов (Metopic Severity Score, Cranial Morphology Deviation) и методов геометрической морфометрии, что создает проблему стандартизации и сравнения результатов между различными исследованиями (Anstadt EE et al., 2023).

Особую сложность представляет дифференциальная диагностика между физиологическими вариантами развития черепа (например, изолированным метопическим гребнем) и истинными патологическими формами, где комплексные морфометрические методы показывают наибольшую эффективность. При этом большинство методик требуют проведения КТ, что ограничивает их использование для скрининга, за исключением отдельных

показателей, таких как метопический индекс, который может быть измерен и клинически (Bloch K et al., 2024).

Сложившаяся ситуация характеризуется отсутствием универсального протокола первичной КТ диагностики, что подчеркивает необходимость разработки комплексной стандартизированной системы оценки, которая бы объединила преимущества различных морфометрических подходов (Al-Shaqsi S. et al., 2023; Anstadt EE et al., 2023; Bloch K et al., 2024; Barnes C et al., 2025)

Перспективным направлением видится создание методики, сочетающей стандартизированные антропометрические измерения для скрининга, автоматизированный анализ КТ-изображений с использованием алгоритмов искусственного интеллекта, клинически значимые пороговые значения для разных форм краниосиностозов и возможность практического внедрения в клиническую практику. Такая система позволила бы не только объективизировать диагностику, но и улучшить преемственность между медицинскими центрами, а также оптимизировать показания к хирургическому лечению. Дальнейшие исследования должны быть направлены на валидацию существующих методик для различных форм краниосиностозов, изучение возможностей их комбинации и разработку унифицированного диагностического алгоритма, который бы учитывал как морфометрические показатели, так и клинические данные (Abdel-Alim T et al., 2024).

Магнитно-резонансная томография

Магнитно-резонансная томография является ведущим методом для оценки состояния головного мозга, хотя и менее точным в визуализации черепных швов по сравнению с КТ (Озерова В.И. и соавт., 2009; Tan A.P. et al., 2018; Tripathy K et al., 2025). Как правило, по мнению многих авторов, МРТ назначается пациентам, у которых КТ выявила церебральные аномалии головного мозга (Романов П.А. и соавт., 2023; Johnson D., 2011; Zaleckas L. et al., 2015; Tan A.P. et al., 2018; Sun T. et al., 2022). Кроме того, она является важным методом визуализации в сочетании с УЗИ, особенно у младенцев с подозрением на внутричерепные аномалии и

сопутствующие осложнения краниосиностоза (т.е. синдромальные краниосиностозы) (Bolotnikova IV et al., 2024; Varlas VN et al., 2024).

В статье P. Spazzapan et al., (2024) авторы утверждают, что МРТ играет важную, но избирательную роль в диагностике краниосиностозов. При изолированных формах краниосиностозов МРТ применяется ограниченно, так как значимые аномалии головного мозга в таких случаях встречаются редко и могут быть выявлены с помощью УЗИ. Однако в сложных диагностических случаях, когда клиническое обследование не позволяет однозначно подтвердить краниосиностоз, МРТ становится ценным инструментом визуализации. Основная ценность МРТ проявляется при синдромальных формах краниосиностозов, где метод позволяет выявлять сопутствующие аномалии центральной нервной системы. Ключевые показания для МРТ-исследования включают диагностику мальформации Киари, сирингомиелии, гидроцефалии и других структурных нарушений. Метод особенно важен для оценки состояния головного мозга при подозрении на повышение внутричерепного давления, которое может быть выявлено по косвенным признакам, таким как отек диска зрительного нерва или изменения конфигурации желудочков. При планировании хирургического лечения МРТ предоставляет детальную информацию об анатомии головного мозга и краниовертебрального перехода, что особенно важно у пациентов с синдромальными формами, где часто встречаются сочетанные патологии (Spazzapan P. et al., 2024).

Метод МРТ обладает высокой тканевой дифференцировкой и высоким разрешением изображений, что позволяет детально оценивать структуру органов. Кроме того, МРТ предлагает множество специальных методик исследования, которые возможно применять у пациентов с краниосиностозами (Мадина Р. и соавт., 2018).

В исследовании A.T. Wilson et al., (2022) авторы провели анализ взаимосвязи между площадью поверхности коры головного мозга (CSA) и внутричерепным объемом (ICV) у пациентов с синдромальными краниосиностозами. Работа основана на ретроспективном анализе данных 140

пациентов (64 мужского и 76 женского пола, средний возраст 8 лет 6 месяцев $\pm$ 5 лет 6 месяцев, диапазон от 1 года 2 месяцев до 24 лет 2 месяцев), включающем клиническую информацию и результаты МРТ. Всего было проанализировано 203 МРТ-исследования: 148 пациентов с мутациями гена FGFR (рецептора фактора роста фибробластов), 19 пациентов с мутациями TWIST1 и 36 пациентов контрольной группы. Результаты исследования показали, что средний внутричерепной объем был значительно больше у пациентов с FGFR-ассоциированными синдромами ($1519 \text{ см}^3 \pm 269 \text{ см}^3$, $p=0,016$) по сравнению с пациентами с TWIST1-мутациями ($1304 \text{ см}^3 \pm 145 \text{ см}^3$) и контрольной группой ($1405 \text{ см}^3 \pm 158 \text{ см}^3$). Анализ выявил различные закономерности масштабирования площади корковой поверхности относительно внутричерепного объема: для FGFR-группы коэффициент составил 0,68 (95% ДИ 0,61-0,76), для TWIST1 – 0,81 (95% ДИ 0,50-1,12), а в контрольной группе - 0,77 (95% ДИ 0,61-0,93). Лобарный анализ продемонстрировал сниженное масштабирование в теменной (0,50, 95% ДИ 0,42-0,59) и затылочной (0,67, 95% ДИ 0,54-0,80) долях у пациентов с FGFR по сравнению с контрольной группой. Важно отметить, что пациенты с FGFR-мутациями чаще нуждались в адаптированных образовательных программах. Авторы делают важный вывод о том, что несмотря на нормальные или увеличенные показатели внутричерепного объема у пациентов с FGFR-опосредованными краниосиностозами, развитие корковой поверхности оказывается сниженным, что указывает на нарушение нормального развития мозга, особенно в теменной и затылочной долях. Эти морфологические особенности коррелируют с более частой необходимостью специальных образовательных подходов у данной группы пациентов. Полученные данные подчеркивают важность комплексной оценки не только краниофациальных аномалий, но и особенностей развития мозга при синдромальных краниосиностозах, что имеет значение для прогнозирования когнитивного развития и планирования оперативных вмешательств (Wilson A.T. et al., 2022).

В исследовании C.A. de Planque et al., (2022) авторы изучили микроструктурные особенности белого вещества головного мозга у

неоперированных пациентов раннего возраста (0-2 года) с синдромальными краниосиностозами, используя метод диффузионно-тензорной томографии (ДТИ, DTI). Работа является продолжением предыдущих исследований, в которых у оперированных пациентов 7-15 лет уже были выявлены аномалии белого вещества. В исследование включены данные 51 пациента с синдромальными краниосиностозами (медиана возраста 0,40 года) и 17 здоровых детей контрольной группы (медиана возраста 1,20 года). Все МРТ-исследования выполнены на аппарате 1.5 Тл, обработка данных проводилась с помощью программного пакета ExploreDTI. Результаты исследования выявили значимые различия в радиальной диффузии (λ_2 и λ_3) в двух структурах: колоне мозолистого тела и гиппокампальном сегменте поясного пучка ($\eta^2 > 0,14$), что свидетельствует о выраженном эффекте. Последующий регрессионный анализ показал, что возраст и степень вентрикуломегалии (FOHR) являются статистически значимыми взаимодействующими факторами, влияющими на показатели радиальной диффузии в этих трактах ($p < 0,025$). При этом сам по себе синдромальный краниосиностоз не оказал значимого влияния на основные проводящие пути белого вещества. Авторы делают важный вывод о том, что расширение желудочков мозга (вентрикуломегалия) является ключевым фактором, ассоциированным с изменениями радиальной диффузии в колоне мозолистого тела и гиппокампальной части поясного пучка. По мнению цитируемых авторов специальные методики МРТ открывают новые возможности в диагностике и понимании патогенеза краниосиностозов, позволяя выявлять микроструктурные изменения белого вещества и нарушения коркового развития. Эти данные подчеркивают, что МРТ-визуализация позволяет не только оценивать черепно-лицевые аномалии, но и выявлять тонкие нейробиологические изменения, коррелирующие с когнитивными нарушениями. Таким образом, современные МРТ-методики становятся незаменимым инструментом для комплексной оценки пациентов с краниосиностозами, обеспечивая важную информацию для прогнозирования развития и планирования персонализированного лечения (de Planque C.A. et al., 2022).

Попыткой объединить в одном методе возможность детальной оценки внутричерепных структур и швов при диагностике краниосиностозов, избегая лучевой нагрузки, стала разработка импульсной последовательности «BlackBone» (BB) с возможностью построения объемных 3D-реконструкций, основанной на T1-градиентное эхо с коротким TR и TE, малым углом поворота (Vyas KS et al., 2022; Ganau M et al., 2022; Valeggia S et al., 2025).

В исследовании Valeggia S et al., (2025) авторы оценили возможность применения метода BB - специальной МР-техники визуализации костных структур - как альтернативы КТ при обследовании височных костей у пациентов с краниосиностозами. В ретроспективное исследование включены 48 пациентов детской больницы София (Медицинский центр Эразмус, Роттердам), проходивших как BB-MPT, так и КТ в период с 2016 по 2021 год. Оба метода были независимо оценены тремя радиологами "вслепую" с анализом визуализации структур височных костей и черепных нервов, а также выявленных патологических изменений, при этом окончательная верификация аномалий проводилась старшим детским рентгенологом. Результаты показали, что КТ превосходила BB-MPT по четкости визуализации анатомических структур (глобальное $p=0,0002$), однако при оценке анатомии и патологии височных костей оба метода демонстрировали сопоставимые результаты (глобальное $p=0,58$). Межнаблюдательское согласие по визуализации структур было выше для КТ, в то время как при оценке "норма/патология" оба метода показали высокие значения согласованности между экспертами (BB: 0,75-1; КТ: 0,88-1). Эти данные позволяют авторам сделать вывод о перспективности BB-MPT как скринингового метода выявления патологии височных костей у пациентов с краниосиностозами, которым уже показано МР-исследование. Хотя КТ остается «золотым стандартом», BB-технология может стать ценной альтернативой для снижения лучевой нагрузки, особенно при необходимости динамического наблюдения (Valeggia S et al., 2025).

По мнению других авторов A. Saarikko et al., (2020), которые рассматривали возможность применения метода BB-MPT в качестве альтернативы КТ при

предоперационной диагностике краниосиностоза. В исследовании приняли участие 9 пациентов с различными формами краниосиностоза, включая скафоцефалию, односторонний коронарный и лямбдовидный синостоз. Диагностические изображения, полученные с помощью ВВ-МРТ и 3D-КТ, были независимо оценены группой экспертов, включая челюстно-лицевых и детских нейрохирургов, а также рентгенологов. Результаты показали, что ВВ-МРТ обеспечивает высокую точность в идентификации пораженных швов, сопоставимую с 3D-КТ. При этом внутри- и межэкспертная согласованность оценки состояния швов оказалась высокой, хотя надежность анализа внутричерепных вдавлений оставалась ограниченной для обоих методов. Важным преимуществом ВВ-МРТ является возможность одновременного изучения как костных структур, так и мягких тканей мозга в рамках одного исследования, что исключает необходимость дополнительной лучевой нагрузки. Авторы приходят к выводу, что ВВ-МРТ может служить эффективной неинвазивной заменой 3D-КТ в диагностике краниосиностоза, обеспечивая комплексную оценку черепных аномалий без использования ионизирующего излучения. Этот подход особенно актуален в педиатрической практике, где минимизация радиационного воздействия является критически важной (Saarikko A. et al., 2020).

Суммируя, можно сделать вывод, что специальная методика МРТ «BlackBone» представляет собой перспективную альтернативу КТ при диагностике краниосиностозов, сочетая возможность 3D-визуализации костных структур с отсутствием лучевой нагрузки и одновременной оценкой мягкотканых компонентов.

По мнению отечественных и зарубежных авторов при краниосиностозе, в первую очередь, возникают нарушения внутримозгового кровотока за счет компрессии вещества мозга костями черепа в области закрытых швов, а такие клинические проявления, как задержка речевого развития, неврозоподобные расстройства и внутричерепная гипертензия могут развиваться намного позже возникновения краниоцеребральной диспропорции (Суфианов А.А. и соавт., 2015;

Иванов В.П. и соавт., 2016; Lekovic GP et al., 2004; Hurth H et al., 2023; Russo C et al., 2024).

В исследовании Н. Hurth et al., (2023) авторы поставили перед собой задачу - изучить особенности ВЧД, церебральной ауторегуляции и мозговой перфузии у детей с несиндромальными формами краниосиностоза во время первичного хирургического вмешательства. В проспективное исследование были включены 43 младенца, которым проводились комплексные периоперационные измерения среднего артериального давления, ВЧД и показателей мозгового кровотока до и после декомпрессивных операций. Особое внимание уделялось стандартизации физиологических параметров с учетом возраста пациентов. Для оценки состояния церебральной ауторегуляции использовался индекс реактивности к давлению (PRx), рассчитываемый на основе корреляции между изменениями среднего артериального давления и ВЧД. Результаты исследования показали, что бипариетальная декомпрессия выполнялась преимущественно детям с сагиттальным синостозом (29 случаев, средний возраст $6,1 \pm 1,3$ месяца), тогда как фронтально-орбитальное продвижение применялось при метопическом (10 случаев) и одностороннем коронарном синостозе (4 случая) у детей более старшего возраста ($11,6 \pm 2,1$ месяца). Анализ выявил значительную частоту повышенного ВЧД (>15 мм рт.ст.) - у 20 из 26 пациентов с сагиттальным синостозом (среднее значение $21,7 \pm 4,4$ мм рт.ст.), что достоверно превышало показатели при других формах ($p=0,002$). Послеоперационные измерения продемонстрировали значительное снижение ВЧД у пациентов с сагиттальным синостозом ($p<0.001$), сопровождавшееся улучшением показателей церебрального кровотока - относительный церебральный кровоток и скорость кровотока достоверно увеличились после декомпрессии. Эти изменения перфузии коррелировали с нормализацией показателей ВЧД, что свидетельствует о восстановлении адекватного кровоснабжения мозговой ткани после хирургического вмешательства. Особый интерес представляют данные о нарушении механизмов церебральной ауторегуляции у пациентов со средним ВЧД выше 12 мм.рт.ст. (PRx $0,26 \pm 0,32$ против $-0,37 \pm 0,07$ в группе с нормальным давлением, $p=0.001$).

Полученные результаты опровергают распространенное мнение о редкости значимого повышения ВЧД при изолированных краниосиностозах, особенно при сагиттальной форме. Улучшение перфузионных показателей после операции подтверждает наличие гемодинамических нарушений и демонстрирует положительный эффект хирургической декомпрессии на мозговое кровообращение. Эти выводы, основанные на комплексной оценке ВЧД, ауторегуляции и перфузионных параметров, имеют важное значение для оптимизации сроков и показаний к оперативному лечению несиндромальных краниосиностозов у младенцев (Hurth H et al., 2023).

На сегодняшний день существуют научные работы, посвященные оценке внутримозгового кровотока у детей с краниосиностозами с применением однофотонной-эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) и МРТ с методикой бесконтрастной ASL-перфузии (ASL – Arterial spin labeling) (Попов В.В. и соавт., 2024; Barik M et al., 2014; Doerga PN et al., 2019; Caudron Y. et al., 2019).

В исследовании M. Barik et al., (2014) авторы предприняли попытку восполнить пробел в данных о корреляции различных методов визуализации с клиническими проявлениями при краниосиностозах, уделив особое внимание оценке роли ОФЭКТ с технецием-99 ((99m)Tc-ECD). Было проведено проспективное исследование с участием 85 пациентов, которым выполнялось ОФЭКТ с (99m)Tc-ECD, а полученные результаты сопоставлялись с радиологическими и хирургическими данными. Результаты исследования продемонстрировали наличие региональных перфузионных нарушений в полушариях головного мозга, соответствующих зонам пораженных швов, которые выявлялись в предоперационном периоде, но полностью регрессировали после хирургического вмешательства (Barik M. et al., 2014).

В исследовании PN. Doerga et al., (2019) авторы сосредоточили внимание на изучении особенностей церебрального кровотока у детей с синдромальными краниосиностозами в сравнении с контрольной группой, что представляет особый интерес в связи с известными аномалиями венозной анатомии и повышенным

риском ВЧГ у этой категории пациентов. Особенностью работы стало применение современного неинвазивного метода MPT ASL-перфузии для оценки региональных особенностей церебрального кровотока, что позволило получить новые данные о постнатальном развитии мозгового кровообращения при краниосиностозах. В исследование были включены 76 пациентов с синдромальными краниосиностозами (средний возраст 4,5 года) и 86 контрольных субъектов (средний возраст 6,4 года), которые были стратифицированы по четырем возрастным категориям для сравнительного анализа показателей церебрального кровотока в различных отделах мозга, включая большие полушария, мозжечок, супратенториальную кору и белое вещество. Полученные результаты выявили значимые различия в характере церебрального кровотока между группами: у неоперированных пациентов в возрасте до 1 года отмечалось снижение церебрального кровотока по сравнению с контрольной группой, тогда как в старших возрастных категориях эти показатели постепенно нормализовались. Проведенное исследование позволило авторам сделать важные выводы о характере нарушений церебральной гемодинамики при синдромальных краниосиностозах: выявленное снижение церебрального кровотока у младенцев с синдромальными краниосиностозами младше 1 года и его последующая нормализация после хирургического вмешательства и с возрастом указывают на компенсаторные возможности мозгового кровообращения, однако задержка в достижении физиологического пика церебрального кровотока свидетельствует о нарушении нормального процесса созревания цереброваскулярной системы. По данным авторов, диагностика перфузионных нарушений головного мозга у детей с краниосиностозами приобретает особую клиническую значимость в свете современных исследований, демонстрирующих, что нарушения внутримозгового кровотока, вызванные механической компрессией мозга в области пораженных швов, развиваются задолго до появления клинических симптомов, таких как задержка развития, неврологические расстройства или внутричерепная гипертензия. Это принципиально меняет подход к диагностике и лечению данной патологии, делая

раннее выявление перфузионных нарушений критически важным для своевременного хирургического вмешательства (Doerga PN et al., 2019).

Динамическая контрастная МР-перфузия головного мозга (Dynamic Susceptibility Contrast-Enhanced MR Perfusion, DSC-перфузия) – хорошо известная методика, которая применяется для диагностики злокачественных опухолей головного мозга и их рецидивов (Суханов В.А. и соавт., 2021; Rebrikova V.A. et al., 2019; Pons-Escoda A. et al., 2023; Bayraktar ES et al., 2024). Также DSC-перфузия применяется в диагностике острого нарушения мозгового кровообращения по ишемическому типу для разграничения «ядра ишемии» (зона необратимых изменений) и зоны «ишемической полутени» (потенциально обратимых изменений). (Zhang SX et al., 2015; Gopinath G et al., 2022). Применение DSC-перфузии позволяет провести оценку большего количества показателей мозгового кровообращения, по сравнению с ASL-перфузией, такие как: объем церебрального кровотока (Cerebral Blood Volume — CBV), измеряемый по площади под кривой; время достижения пиковой концентрации (Time to Peak — TTP), соответствующей центру тяжести или пиковым значениям на графике; и среднее время транзита контрастного вещества (Mean Transit Time— MTT), определяемого по ширине кривой. Скорость церебрального кровотока (Cerebral Blood Flow — CBF) вычисляют по формуле (Rebrikova VA. Et al., 2019; Kaydu NE et al., 2023) (1):

$$CBF = CBV / MTT \quad (1)$$

При оценке относительных перфузионных показателей мозга по данным использования любого метода необходимо учитывать нормальные значения асимметрии церебрального кровотока между полушариями головного мозга (Latchaw RE et al., 2003). В литературе данные несколько разнятся и зависят от метода диагностики и конкретной патологии у обследуемых пациентов. Однако многие авторы приходят к выводам, что в норме асимметрия перфузионных показателей между полушариями головного мозга не должна превышать 10% (Wirestam R et al., 2000; Chatterjee NR et al., 2015; Kellner-Weldon F et al., 2018).

Резюме

Таким образом, современные исследования убедительно доказывают необходимость комплексного подхода к диагностике краниосиностозов, сочетающего оценку степени деформации черепа и выявление сопутствующих нарушений мозгового кровообращения. Морфометрический анализ по данным КТ позволяет точно определить характер и выраженность костных изменений, при этом разработаны различные количественные показатели, имеющие прогностическую ценность. Одновременно оценка церебральной гемодинамики с помощью современных методов нейровизуализации выявляет ранние нарушения перфузии, которые часто предшествуют клиническим проявлениям. Рядом авторов установлена четкая взаимосвязь между степенью анатомических изменений, выраженностью гемодинамических нарушений и долгосрочными когнитивными исходами. Хирургическая коррекция приводит не только к улучшению анатомических параметров, но и к нормализации показателей мозгового кровотока, что подтверждает единство структурных и функциональных изменений при данной патологии. Комплексный подход к диагностике, учитывающий как морфометрические, так и перфузионные параметры, открывает новые возможности для оптимизации сроков хирургического лечения и улучшения функциональных результатов. Перспективным направлением представляется разработка комплексных диагностических алгоритмов, сочетающих современные методы визуализации с автоматизированным анализом полученных данных, что позволит повысить точность диагностики и индивидуализировать лечебную тактику.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика обследованных пациентов

Научная работа была выполнена на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Министерства Здравоохранения Российской Федерации в период с 2023 по 2026 годы.

Исследование является ретро- и проспективным, когортным, по типу «случай-контроль».

В исследование были включены 51 ребенок. Возраст пациентов составил от 3 до 96 месяцев. Средний возраст пациентов – 18,82 месяцев (Таблица 1, Рисунок 1).

Таблица 1 – Распределение пациентов по полу и возрасту

Пол	Абс. (%)	Средний возраст (месяцев) ± стандартное отклонение	Медиана [Q1; Q3]
Мужской	34 (67%)	19,6±21,5	11,5 [7,00; 20,8]
Женский	17 (33%)	17,3±13,3	14,0 [8,00; 18,0]

Из таблицы 1 видно, что в выборке преобладали пациенты мужского пола с соотношением 2:1. Средний возраст пациентов мужского пола в группе равнялся 19,6±21,5, женского 17,3±13,3.

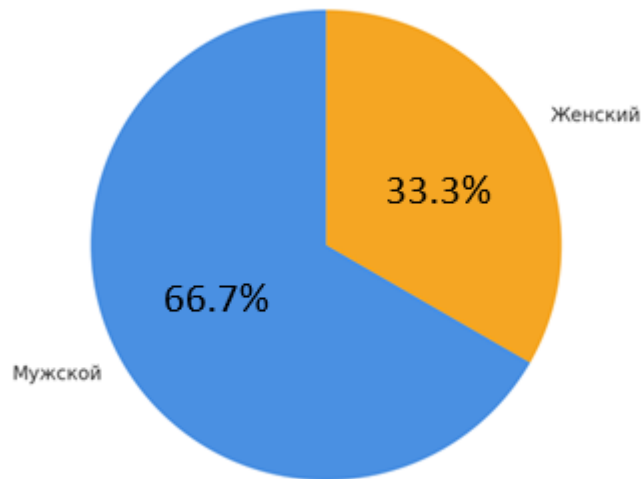


Рисунок 1 – Круговая диаграмма распределения пациентов по полу

Распределение пациентов по группам выполнялось в зависимости от выявленного вида краниосиностоза (Таблица 2, Рисунок 2):

- 11 (22%) – сагиттального шва (скафоцефалия, «С»);
- 13 (25%) – метопического шва (тригоноцефалия, «Т»);
- 3 (5,9%) – сагиттальный и бикоронарный синостоз (оксицефалия, «О»);
- 10 (20%) – коронарного шва с одной стороны (передняя плагиоцефалия, «ПП»);
- 3 (5,9%) – бикоронарный синостоз (брахицефалия, «Б»);
- 3 (5,9%) – односторонний лямбдовидный синостоз (задняя плагиоцефалия, «ЗП»);
- 8 (16%) – комбинированный синостоз («К»).

Таблица 2 – Распределение пациентов по группам, количеству и возрасту

Группа	Абс. (%)	Средний возраст (месяцев) ± стандартное отклонение	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Б	3 (5,9%)	29,00 ±22,52	16,00 [16,00; 35,50]	16,00	55,00
ЗП	3 (5,9%)	17,33 ±6,11	16,00 [14,00; 20,00]	12,00	24,00
К	8 (16%)	14,00 ±13,66	10,00 [5,50; 16,50]	3,00	45,00
О	3 (5,9%)	25,00 ±21,52	26,00 [14,50; 36,00]	3,00	46,00
ПП	10 (20%)	26,90 ±27,52	15,50 [9,50; 35,50]	7,00	96,00
С	11 (22%)	21,73 ±23,31	9,00 [6,50; 32,50]	3,00	75,00
Т	13 (25%)	9,69 ±3,50	8,00 [7,00; 14,00]	6,00	15,00

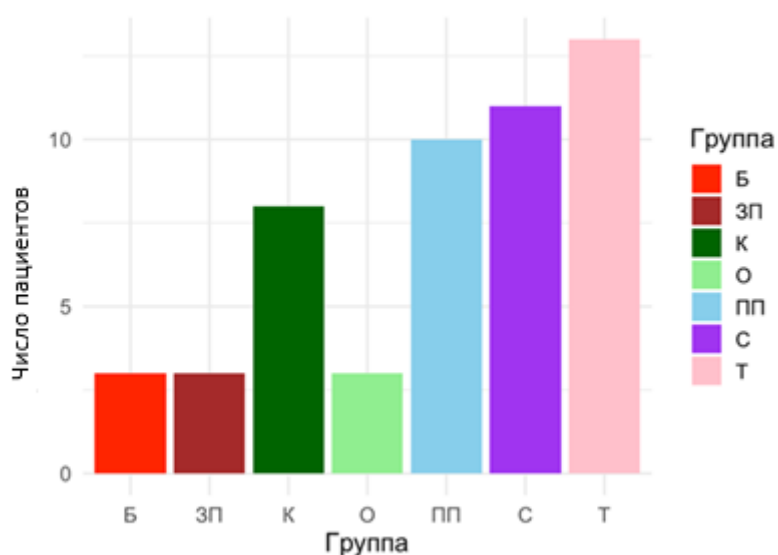


Рисунок 2 – Столбчатая диаграмма распределения пациентов по группам

К группе «К» относили всех пациентов с многошовным поражением, которые не подходили под критерии остальных групп, согласно классификации.

Из таблицы 2 следует, что наибольшее количество пациентов было в группе «Т» (13 (25%)). Самый старший средний возраст был выявлен у пациентов в группе «Б» (29,00 месяцев $\pm 22,52$), самый младший в группе «Т» (9,69 месяцев $\pm 3,50$). Пациенты самого старшего возраста были выявлены в группе «ПП» (96,00 месяцев), самого младшего в группах «К», «О» и «С» (3,00 месяцев).

Включение пациентов в исследование сопровождалось обязательным соблюдением всех отечественных и международных требований к проведению исследований: родителями или законными представителями пациентов было подписано согласие на участие в исследовании и гарантирована конфиденциальность данных («Правила клинической практики Российской Федерации», утвержденные Приказом Минздрава России от 19.06.2003г. №266; Декларация Всемирной Медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., г. Хельсинки).

Диссертационное исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России (выписка № 1210-23 из протокола заседания ЛЭК № 10-23 от 2 октября 2023 г.))

Для включения пациентов в исследования необходимо было соответствовать следующим критериям:

1. Наличие подписанного и дотированного информированного добровольного согласия законным представителем ребенка, указывающее на то, что он был проинформирован обо всех аспектах клинического исследования;

2. Установленный нейрохирургом диагноз: краниосиностоз.

Также были установлены критерии невключения в исследование:

1. Абсолютные противопоказания к проведению МРТ (искусственные водители ритма, ферромагнитные инородные тела, кохлеарные импланты).

2. Аномалии развития и патологические образования головного мозга.

2.2 Клинико-инструментальные методы обследования

Все пациенты были осмотрены врачом-неврологом и врачом-нейрохирургом, со сбором анамнеза матери и ребенка, а также оценкой неврологического статуса, которая включала:

- оценка сознания;
- оценка активности и участия ребенка в играх, по шкале Лански;
- оценка речевых нарушений;
- черепно-мозговые нервы;
- зрачки, реакция зрачков на свет;
- глазные щели, поля зрения (ориентировочным методом), движения глазных яблок, конвергенция, нистагм, корнеальный рефлекс;
- чувствительность на лице;
- лицевая мускулатура;
- ориентировочная оценка этапов развития ребенка;
- мышечный тонус, объем движений в крупных суставах.
- сухожильные рефлексy;
- брюшные рефлексy живые;
- оценка захвата предмета.

Также был проведен осмотр головы для измерения ее окружности и оценки краниоцеребральной диспропорции.

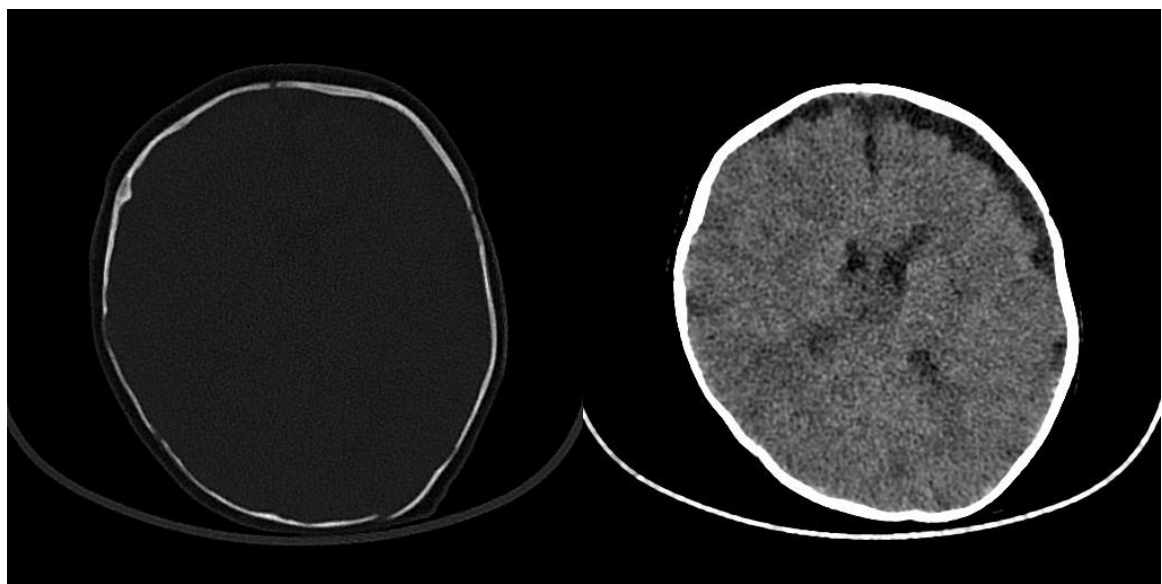
2.3 Методика компьютерной томографии

Компьютерную томографию выполняли на аппарате Somatom Definition Force (Siemens) – две рентгеновских трубки, 384 среза. К столу томографа присоединялся специальный подголовник. Была обеспечена правильная укладка (без наклонов в стороны) и фиксирована голова. Пациента укладывали на спину, головой в гентри, без применения анестезиологического пособия. Разметка лучей

лазера была проведена так, чтобы горизонтальная линия проходила по козелку уха, а перпендикулярная линия проходила через подбородок

Срезы выстраивали параллельно верхнечелюстной или нижнечелюстной поверхности зубов. Сканирование выполняли в направлении от подбородка к макушке. Исследование начинали с выполнения прямой и боковой цифровых топограмм, и выбиралась зона интереса от основания черепа до верхней точки теменных костей.

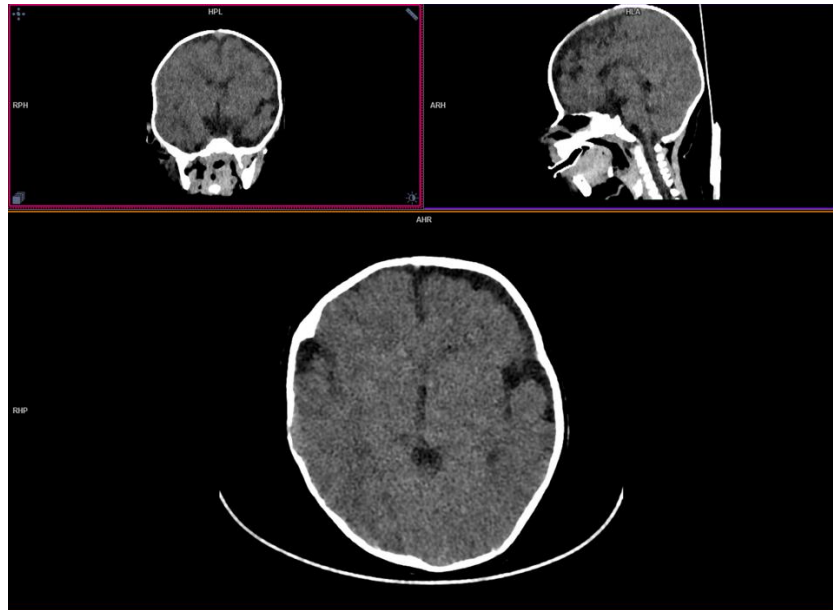
После сканирования была проверена симметричность укладки сторон по слуховым косточкам и создавалась аксиальная реконструкция с костным фильтром (1x0,5 мм, окно 600/4000 единиц Хаунсфилда - HU) и мягкотканым фильтром (3x1,5 мм, окно 40/80 единиц Хаунсфилда) (Рисунок 3).



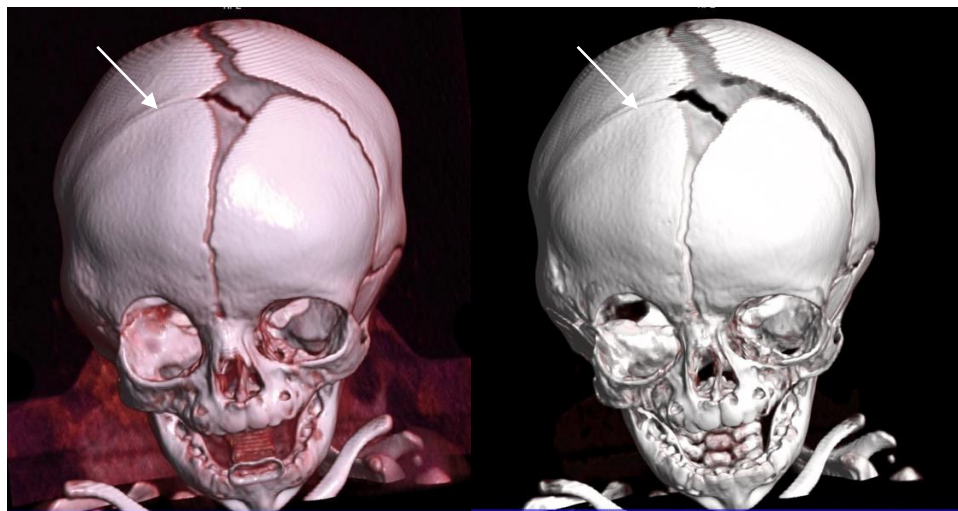
а б
Рисунок 3 – КТ-реконструкции головы с костным (а) и мягкотканым (б) фильтрами (Пациентка В., 9 месяцев №ИБ 55807/А17)

После получения нативных изображений, до и после оперативного лечения, проводилась оценка костных структур, состояния швов черепа и металлоконструкций с построением мультипланарных (Multiplanar reformation (MPR)) и трехмерных (3D) реконструкций - VRT (Volume Rendering Technique, техника объемной визуализации) и SSD (Shaded Surface Display, отображение

затененной поверхности) с помощью специализированного программного обеспечения (Рисунок 4).



а



б

в

Рисунок 4 – Построение MPR-реконструкции (а), VRГ (б) и SSD (в) реконструкций по данным КТ головы пациентки с правосторонним коронарным краниосиностомозом (пораженный шов указан стрелкой) (Пациентка В., 9 месяцев №ИБ 55807/A17)

После построения мультипланарной реконструкций все изображения корректировались относительно анатомических ориентиров, для получения единообразной аксиальной проекции. На сагиттальных изображениях горизонтальная линия выстраивалась вдоль направления мозолистого тела. На

корональных изображениях вертикальная линия выравнивалась вдоль межполушарной щели головного мозга, на уровне боковых желудочков. Продольная линия на аксиальных изображениях выстраивалась вдоль направления боковых и III желудочка мозга (Рисунок 5).

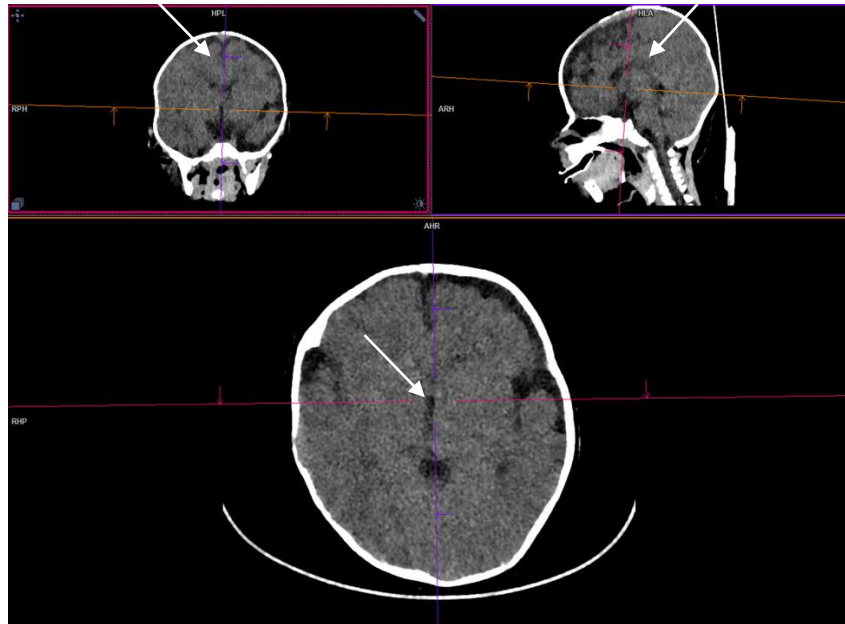


Рисунок 5 – Построение MPR-реконструкции с получением аксиальных изображений относительно анатомических ориентиров головного мозга (указаны стрелками) (Пациентка В., 9 месяцев №ИБ 55807/A17)

На полученных аксиальных изображениях, в режиме «костного окна» проводились измерения черепа для дальнейших расчетов морфометрических показателей:

- Цефалический индекс (ЦИ) рассчитывается как отношения поперечного размера черепа (бипариетального размера) к продольному (лобно-затылочному), выраженная в процентах (Рисунок 6).

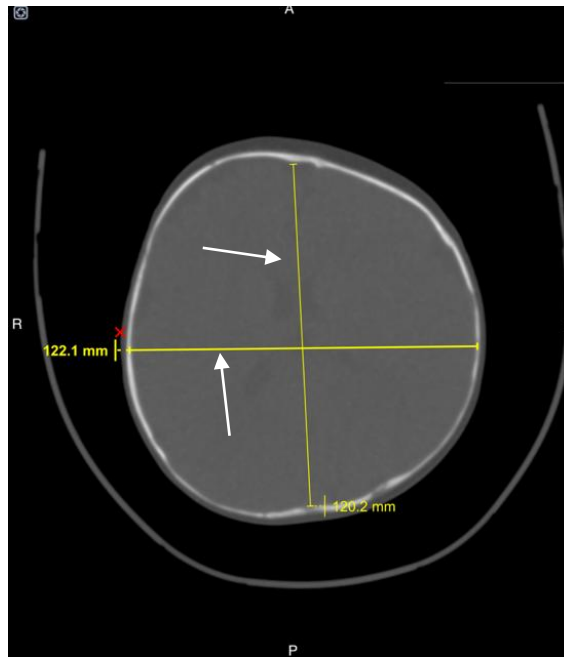


Рисунок 6 – Проведение измерений для оценки цефалического индекса (ЦИ) (указаны стрелками) (Пациентка В., 7 месяцев №ИБ 1796/A18)

Мезоцефалии, или нормоцефалии, соответствует цефалический индекс в диапазоне от 71% до 84%, показатель ниже 71% свидетельствует о долихоцефалии (скафоцефалии), в то время как значение, превышающее 84%, является признаком брахицефалии.

- Индекс асимметрии свода черепа (ИАСЧ) рассчитывается путем деления разницы длин двух отрезков, проведенных под углом 30 градусов относительно средней линии, на длину более протяженного из этих отрезков, выраженное в процентах (Рисунок 7).

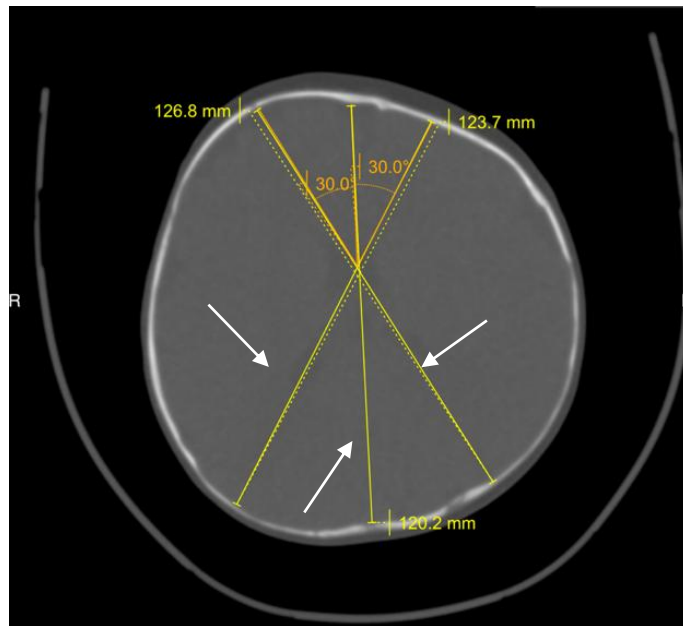


Рисунок 7 – Проведение измерений для расчёта индекса асимметрии свода черепа (ИАСЧ) (указаны стрелками) (Пациентка В., 7 месяцев №ИБ 1796/A18)

Оценка степени деформации осуществлялась по установленным градациям: нормальным считалось значение ниже 3,5%. При результатах от 3,5% до 6,25% констатировали лёгкую асимметрию, от 6,25% до 8,75% — умеренную. Показатели в пределах 8,75–11% указывали на тяжёлую деформацию, а всё, что превышало 11%, расценивалось как очень тяжёлая деформация.

- Фронтальный угол (ФУ) строится между точками птерион (точка на боковой поверхности черепа, в месте соединения швов между теменной, височной и клиновидной костями) и назион (антропометрическая точка на черепе, являющаяся местом пересечения носолобного шва) (Рисунок 8);

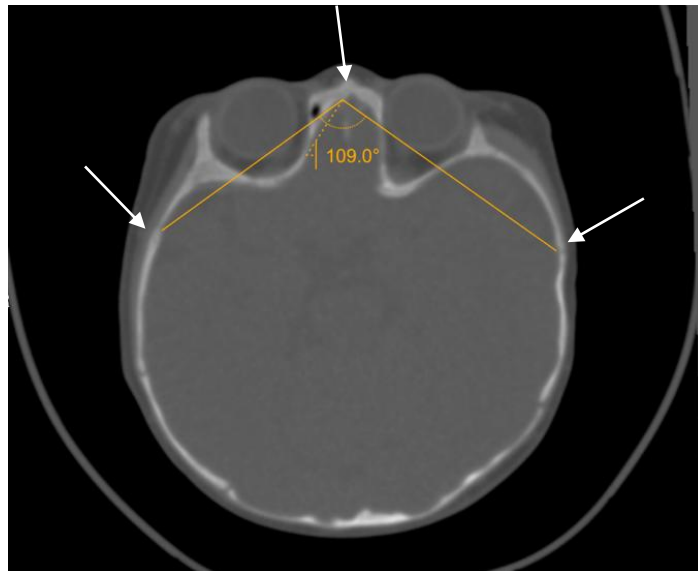


Рисунок 8 – Проведение измерений фронтального угла (ФУ) (анатомические ориентиры указаны стрелками) (Пациент П., 9 месяцев №ИБ 9911/А18)

Согласно классификации, предложенной von der Meulen J. (2012 г.), степень деформации определялась на основе величины фронтального угла:

- Отсутствие деформации: значение угла составляет 104° и более.
- Лёгкая степень: угол находится в диапазоне от 96° до 103° .
- Умеренная степень: показатели угла варьируются от 90° до 95° .
- Тяжёлая степень: угол меньше 89° .

- Фронтальный стеноз (ФС) рассчитывается как отношение межпариетального расстояния к межкоронарному (Рисунок 9).

Нормальным значением фронтального стеноза считается 1,21.

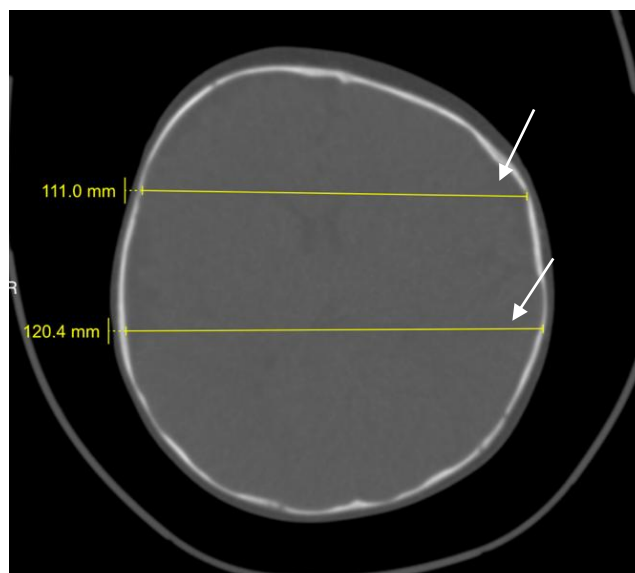


Рисунок 9 – Проведение измерений для расчёта фронтального стеноза (ФС) (указаны стрелками) (Пациент Щ., 7 месяцев №ИБ 8025/A18)

Следовательно, компьютерная томография головы была выполнена на современном сертифицированном оборудовании по стандартизированному протоколу, что обеспечило точное позиционирование пациента и высокое качество изображений. Для всестороннего анализа были получены мультипланарные и трехмерные реконструкции, которые затем корректировали относительно четких анатомических ориентиров. На основе аксиальных срезов проведён комплекс морфометрических измерений (ЦИ, ИАСЧ, ФУ и ФС) для объективной количественной оценки деформации черепа.

Таким образом, методика позволяет получить детальные данные о состоянии костных структур и точно классифицировать степень выявленных нарушений.

2.4 Методика магнитно-резонансной томографии

Магнитно-резонансную томографию головного мозга выполняли на аппарате с индукцией магнитного поля 1,5 Тл (Magnetom Espree, Siemens), с использованием головной радиочастотной катушки Head Coil, с внутривенным болюсным введением парамагнитного контрастного вещества в дозировке 0,1

ммоль/кг. Пациенты находились в состоянии медикаментозного сна. МРТ головного мозга выполнялась в двух временных точках – до и после оперативного лечения.

Положение пациента в томографе лежа на спине, голова ребенка фиксировалась специальными наушниками для ограничения движений, первичное центрирование проводилось стандартно (Рисунок 10). Исследование проводилось под контролем врача-анестезиолога, с постоянным контролем жизненных показателей. Каждая импульсная последовательность оценивалась на наличие артефактов и при необходимости переделывалась.



Рисунок 10 – Укладка пациента для проведения МРТ головного мозга

Для оценки анатомических структур головного и с целью исключения патологических образований и аномалий был использован стандартный протокол обследования, который включал следующие импульсные последовательности (Таблица 3).

Таблица 3 – Используемые импульсные последовательности и плоскости сканирования при проведении МРТ головного мозга

Локалайзеры в трех плоскостях (localizer)
T2-ВИ в аксиальной плоскости (T2_tse_tra)
TIRM-ВИ в аксиальной плоскости (T2_TIRM_tra)
T2-ВИ в корональной плоскости (T2_tse_cor)
T1-ВИ в аксиальной плоскости (T1_tse_tra)
T1-MPRAGE в сагиттальной плоскости (T1_MPRAGE_sag_iso)

Импульсную последовательность T2-взвешенные изображения (T2-ВИ) использовали для общей оценки анатомических структур, оболочек головного мозга, костных и мягкотканых структур головы для исключения объёмных образований и аномалий. Параметры импульсной последовательности T2-ВИ указаны в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры импульсной последовательности T2-ВИ

Время исследования	2:03
Размер вокселя	0,7x0,7x5,0 мм ³
Геометрия	FoV – 230 мм (матрица 320x320), 27 срезов, толщина среза – 4 мм, угол поворота – 140°
Временные параметры	TR – 4000 мс, TE – 113 мс

Для исключения отечных, глиозных изменений и кровоизлияний использовали импульсную последовательность инверсия восстановления (TIRM), параметры которой указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры импульсной последовательности TIRM

Время исследования	3:04
Размер вокселя	0,7x0,7x5,0 мм ³
Геометрия	FoV – 230 мм (матрица 320x320), 27 срезов, толщина среза – 4 мм, угол поворота – 140°
Временные параметры	TR – 7000 мс, TE – 93 мс

Для более детальной оценки анатомических структур, выявленных изменений и оценки их размеров были использованы T1-ВИ (T1 взвешенные

изображения) в сагиттальной плоскости (Таблица 6), T2-ВИ в корональной плоскости (Таблица 7).

Таблица 6 – Параметры импульсной последовательности T1-ВИ в сагиттальной плоскости

Время исследования	1:12
Размер вокселя	1,0x1,0x1,2 мм ³
Геометрия	FoV – 256 мм (матрица 512x512), 27 срезов, толщина среза – 4 мм, угол поворота – 70°
Временные параметры	TR – 280 мс, TE – 2,46 мс

Таблица 7 – Параметры импульсной последовательности T2-ВИ в корональной плоскости

Время исследования	1:27
Размер вокселя	0,7x0,7x3,5 мм ³
Геометрия	FoV – 220 мм (матрица 640x640), 35 срезов, толщина среза – 3,5 мм, угол поворота – 120°
Временные параметры	TR – 2300 мс, TE – 2,98 мс

Для выявления признаков зон патологического накопления парамагнитного контрастного препарата, а также оценки оболочек, пространств и сосудов головного мозга была использована импульсная последовательности T1-MPRAGE с изотропным вокселем до и после контрастирования (Таблица 8), с последующим построением MPR-реконструкций.

Таблица 8 – Параметры импульсной последовательности T1-MPRAGE

Время исследования	6:03
Размер вокселя	1,0x1,0x1,2 мм ³
Геометрия	FoV – 256 мм (матрица 256x232), 172 среза, толщина среза – 1 мм, гол поворота – 160°
Временные параметры	TR – 2300 мс, TE – 2,83 мс

Далее стандартный протокол сканирования дополняли динамической контрастной T2*-MP-перфузии (DSC-перфузия) - «ep2d_perf», параметры которой указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Параметры импульсной последовательности динамическая контрастная T2*-МР-перфузия

Время исследования	1:59
Размер вокселя	1,8x1,8x5,0 мм ³
Геометрия	FoV – 230 мм (матрица 128x128), 550 срезов, толщина среза – 5,0 мм, гол поворота – 90°
Временные параметры	TR – 1960 мс, TE – 51 мс

Построение цветных перфузионных карт скорости мозгового кровотока (Cerebral blood flow - CBF), объема мозгового кровотока (Cerebral blood volume - CBV), время достижения пиковой концентрации (Time to peak - TTP) и время транзита контрастного вещества (Mean transit time - MTT) осуществляли с помощью системы syngo.via (Siemens).

После получения перфузионных карт, ручным способом проводилась разметка зон интереса (Region of Interest, ROI) – кортикально-субкортикальные отделы наиболее подверженные компрессии и наиболее интактные доли головного мозга противоположного полушария головного мозга. Зона интереса выстраивалась в размере не менее 1 см², при исключении из нее крупных сосудов и ликворных пространств. Показатели перфузии в зонах компрессии рассчитывались относительно («г» - relative) интактных зон, принятых за 100% (Рисунок 11).

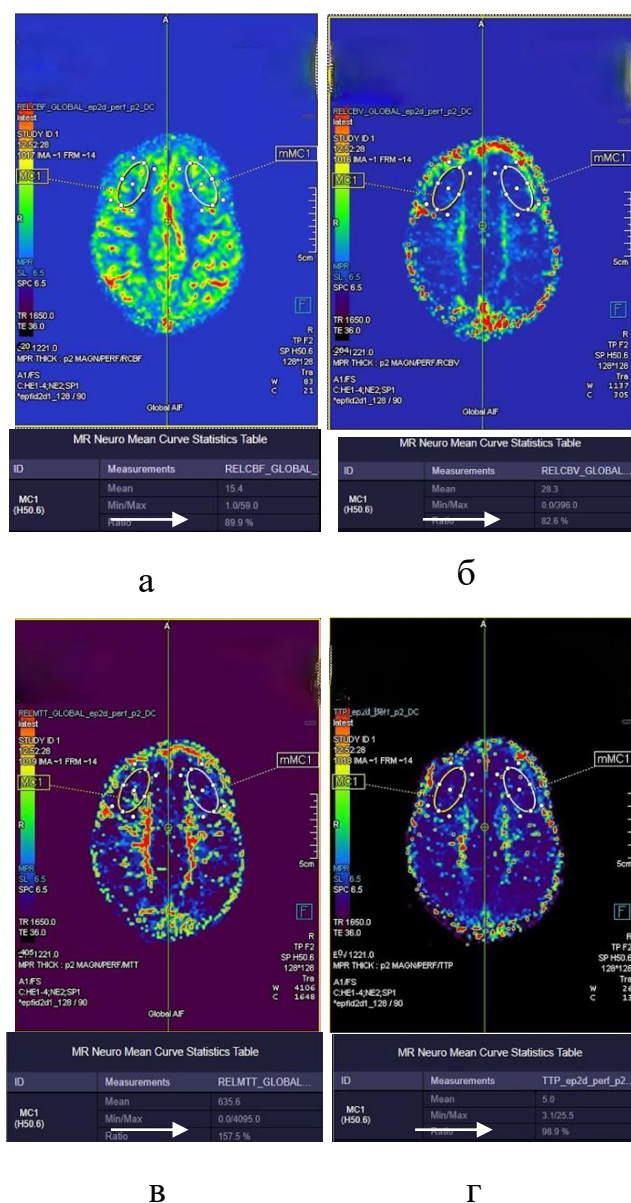


Рисунок 11 – Построение цветных перфузионных карт CBF (а), CBV (б), MTT (в), TTP (г) и разметка зон интереса у пациента с правосторонним коронарным краниосиностозом, с получением относительных показателей (указаны стрелками на рисунке) (Пациент О., 17 месяцев №ИБ 68347/А16)

Данный клинический случай, представленный в рисунке 11, демонстрирует, что при визуальной оценке, на фоне асимметрии правой и левой лобных долей за счет деформации справа, значимого снижения интенсивности сигнала не выявлено. Однако при разметке зоны интереса в кортикально-субкортикальных отделах правой лобной доли и сравнении показателей относительно интактной левой лобной доли, путем «отзеркаливания», было выявлено снижение

показателей $rCBF$ (89,9%), $rCBF$ (82,6%), повышение показателя $rMTT$ (157,5%), без значимого изменения показателя $rTTP$ (98,9%).

Таким образом, МРТ головного мозга проводилась на аппарате 1,5 Тл с использованием стандартизированного протокола, включающего набор различных импульсных последовательностей (T1-ВИ, T2-ВИ, TIRM, T1-MPRAGE) для детальной оценки анатомических структур и исключения патологий.

Исследование дополнялось динамической контрастной перфузией, что позволило построить количественные карты мозгового кровотока (CBF, CBV, MTT, TTP).

Анализ относительных перфузионных показателей в зонах интереса выявил наличие асимметрии данных параметров, что объективно характеризовало функциональные нарушения, вызванные деформацией черепа.

2.5 Методы статистического анализа полученных результатов

Статистическую обработку и визуализацию данных выполняли в среде R (версия 4.4.1). Для каждого сравнения указывали фактическое число наблюдений, включённых в расчёты. Количественные переменные оценивали с учётом характера распределения (по совокупности графической оценки и формальных критериев: критерий Шапиро-Уилка), после чего представляли либо как среднее значение и стандартное отклонение с 95% доверительными интервалами, либо как медиану и межквартильный размах. Категориальные признаки описывали абсолютными значениями и долями.

Сравнение независимых групп по количественным показателям при распределении, близком к нормальному, выполняли методом однофакторного дисперсионного анализа с последующими попарными апостериорными сравнениями по Тьюки. При отклонении распределения от нормального использовали критерий Краскела–Уоллиса; для апостериорных попарных

сопоставлений применяли критерий Данна с поправкой Холма на множественные сравнения. Для анализа изменений показателей в динамике у одних и тех же пациентов (две временные точки) использовали парный t-критерий либо критерий Уилкоксона для связанных выборок (в зависимости от распределения). Сравнение долей в таблицах сопряжённости проводили с использованием критерия хи-квадрат.

Для оценки взаимосвязей между морфометрическими и перфузионными параметрами применяли корреляционный анализ (коэффициенты Пирсона или Спирмена в зависимости от распределения и шкалы переменных) с представлением результатов в виде корреляционных матриц. Для многомерной интерпретации и выявления структур данных использовали метод главных компонент (PCA), тепловые карты с иерархической кластеризацией, а также линейный дискриминантный анализ (LDA) для оценки делимости групп по совокупности признаков. Во всех анализах применяли двусторонние критерии; статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$, а при множественных проверках гипотез использовали корректировку уровня значимости (поправка Бенджамини-Хохберга).

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Результаты анализа морфометрических показателей черепа у детей с краниосиностозами по данным компьютерной томографии

Морфометрический анализ данных КТ является устоявшимся методом в современной клинической практике для оценки размеров и симметричности черепа. Хотя для различных клинических случаев, включая краниосиностозы, применяется множество отдельных замеров, применяемые отдельно.

В диссертационном исследовании был разработан унифицированный алгоритм измерений, позволивший комплексно охарактеризовать тип и выраженность деформации черепа у пациентов с краниосиностозами, независимо от их вида. Внедрение этого подхода обеспечит лечащих врачей более полными данными о состоянии пациента для определения дальнейшей лечебной тактики, а также может быть использовано в качестве инструмента послеоперационного мониторинга.

Основу алгоритма составляет предложенный нами набор морфометрических параметров: цефалический индекс, индекс асимметрии свода черепа, фронтальный угол и фронтальный стеноз.

Цефалический индекс представляет собой процентное соотношение ширины черепа (бипариетальный размер) к его длине (лобно-затылочный размер). Оценку цефалического индекса проводили до (ЦИ) и после оперативного лечения (ЦИ2) (Таблица 10).

Таблица 10 – Показатели цефалического индекса до операции (ЦИ)

Группа	Среднее значение параметра ЦИ ± стандартное отклонение (%)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	79,69±4,94	80,00 [77,00; 83,00]	72,00	87,00
Б	118,00±4,58	119,00 [116,00; 120,50]	113,00	122,00
ПП	89,40±5,78	90,50 [86,75; 92,75]	78,00	98,00
ЗП	83,33±3,06	84,00 [82,00; 85,00]	80,00	86,00
О	69,00±1,00	69,00 [68,50; 69,50]	68,00	70,00
С	63,18±3,19	63,00 [62,00; 64,50]	56,00	68,00
К	90,75±5,18	92,50 [86,00; 93,50]	83,00	98,00

Из таблицы 10 следует, что в группе С было выявлено самое низкое среднее значение ЦИ (63,18±3,19%); самое высокое значение данного показателя определялось в группе Б (118,00±4,58%), что соответствуют виду деформации черепа у пациентов в этих группах и общепринятым классификациям. В группах ЗП и Т средние значения показателя ЦИ определялись в пределах референсных значений, тогда как в остальных группах О, ПП и К выходили за их границы. Расчет индекса асимметрии свода черепа производили на основе измерения двух отрезков, проведенных под углом 30° к срединной линии. Показатель определяется как процентное отношение разницы их длин к величине наибольшего из отрезков. Оценку индекса асимметрии свода черепа проводили до (ИАСЧ) и после оперативного лечения (ИАСЧ2) (Таблица 11).

Таблица 11 – Показатели индекса асимметрии свода черепа до операции (ИАСЧ)

Группа	Среднее значение параметра ИАСЧ ± стандартное отклонение (%)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	4,33±0,53	4,15 [3,92; 4,92]	3,75	5,25
Б	1,84±0,89	2,32 [1,57; 2,36]	0,82	2,39
ПП	4,90±1,65	4,23 [3,70; 5,27]	3,59	8,65
ЗП	12,38±1,05	12,54 [11,89; 12,94]	11,25	13,34
О	5,24±1,11	5,25 [4,69; 5,80]	4,12	6,34
С	4,30±0,77	3,92 [3,71; 4,96]	3,57	5,43
К	9,22±2,63	9,25 [7,19; 9,89]	6,24	14,65

Из таблицы 11 следует, что самые высокие средние значения ИАСЧ определялись в группах ЗП ($12,38 \pm 1,05\%$) и К ($9,22 \pm 2,63\%$), что трактовалось как очень тяжелая и тяжелая деформация (соответственно). В группах Т, ПП, О и С данный показатель минимально повышался относительно нормальных значений, что трактовалось как легкая деформация. Показатель ИАСЧ в группе Б определялся в пределах нормальных значений.

Вершинами фронтального угла являются точки птерион, назион. Оценку фронтального угла проводили до (ФУ) и после оперативного лечения (ФУ2) (Таблица 12).

Таблица 12 – Показатели фронтального угла до операции (ФУ)

Группа	Среднее значение параметра ФУ $\pm$ стандартное отклонение (°)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	$90,98 \pm 7,53$	91,00 [89,00; 95,00]	73,70	103,00
Б	$117,20 \pm 6,37$	115,30 [113,65; 119,80]	112,00	124,30
ПП	$94,22 \pm 5,14$	94,90 [90,67; 98,28]	85,50	101,00
ЗП	$112,63 \pm 2,57$	113,00 [111,45; 114,00]	109,90	115,00
О	$109,33 \pm 2,52$	109,00 [108,00; 110,50]	107,00	112,00
С	$89,19 \pm 5,22$	91,00 [87,90; 93,00]	77,00	94,00
К	$101,49 \pm 15,36$	100,90 [94,50; 108,03]	78,30	128,90

Из таблицы 12 следует, что средние значения показателя ФУ в группах Т ($90,98 \pm 7,53^\circ$), ПП ($94,22 \pm 5,14^\circ$) и С ($89,19 \pm 5,22^\circ$) были наиболее низкими и трактовались, как умеренная деформация. В группе К средние значения данного показателя снижались минимально ($101,49 \pm 15,36^\circ$), что трактовалось как легкая деформация. В группах Б, ЗП и О средние значения ФУ были в пределах нормы.

Для количественной оценки фронтального стеноза вычисляли соотношение между межпариетальным и межкоронарным размерами черепа. Оценку фронтального стеноза проводили до (ФС) и после оперативного лечения (ФС2) (Таблица 13).

Таблица 13 – Показатели фронтального стеноза до операции (ФС)

Группа	Среднее значение параметра ФС ± стандартное отклонение	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	1,36±0,10	1,36 [1,30; 1,38]	1,22	1,61
Б	1,26±0,03	1,25 [1,24; 1,27]	1,23	1,25
ПП	1,23±0,02	1,23 [1,22; 1,25]	1,22	1,27
ЗП	1,13±0,07	1,17 [1,11; 1,17]	1,05	1,18
О	1,11±0,11	1,05 [1,04; 1,14]	1,04	1,23
С	1,14±0,05	1,14 [1,12; 1,17]	1,05	1,21
К	1,23±0,16	1,23 [1,11; 1,33]	0,99	1,49

Из таблицы 13 следует, что средние значения показателя ФС в группах Т (1,36±0,10), Б (1,26±0,03), ПП (1,23±0,02) и К (1,23±0,16) определялись выше нормального значения, с наибольшей величиной в группе Т. Средние значения ФС в группах ЗП, О и С были в пределах нормы.

После оперативного лечения было проведено сравнение показателя цефалического индекса в двух временных точках (Таблица 14, Рисунок 12).

Таблица 14 – Сравнении показателей цефалического индекса до (ЦИ) и после операции (ЦИ2)

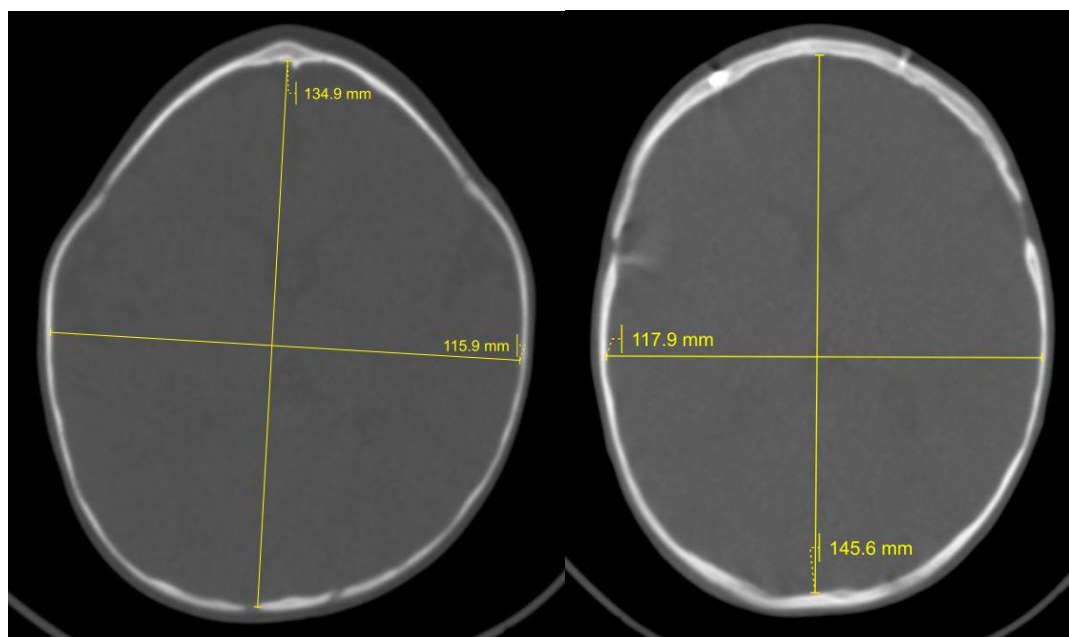
Группа	Среднее значение параметра ЦИ ± стандартное отклонение (%)	Среднее значение параметра ЦИ2 ± стандартное отклонение (%)	p<0,05
Т	79,69±4,94	78,38±3,18	0,194
Б	118,00±4,58	107,00±3,00	0,174
ПП	89,40±5,78	91,40±1,90	0,174
ЗП	83,33±3,06	79,00±2,00	0,0001*
О	69,00±1,00	76,00±1,73	0,25
С	63,18±3,19	75,45±5,75	0,0001*
К	90,75±5,18	86,50±7,69	0,09
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Из таблицы 14 следует, что после оперативного лечения средние значения ЦИ в группах Т (p<0,194), ЗП (p<0,0001), оставались в пределах нормы, с незначительным изменением данного параметра. В группах О (p<0,25) и С (p<0,0001) улучшались средние значения данного показателя до нормальных

значений. Средние значения показателя ЦИ в группах Б ($p<0,174$), ПП ($p<0,174$) и К ($p<0,09$) улучшались, однако оставались за границами нормы, с самым большим отклонением в группе Б, что обоснованно видом деформации черепа у данной группы пациентов.

Анализ данных показывает избирательное воздействие оперативного вмешательства на разные группы пациентов. Наблюдается статистически значимое улучшение в группах С и ЗП. В группе С зафиксирован наиболее выраженный положительный эффект — средний показатель вырос на 12,27%, до уровня нормальных значений. В группе ЗП отмечено статистически значимое снижение показателя на 4,33%, до уровня нормальных значений. Для остальных групп (Т, Б, ПП, О, К) не выявлено достоверных изменений, хотя в группе О наблюдается положительная тенденция. Важно отметить, что в нескольких группах (Б, ПП, ЗП) после операции снизилось стандартное отклонение, что указывает на большую однородность и стабильность результатов пациентов.

Таким образом, можно сделать вывод, что операция оказала целенаправленное и эффективное воздействие лишь на определенные категории пациентов, что подтверждается статистически значимым улучшением показателя ЦИ до нормы в группах С ($p<0,0001$) и ЗП ($p<0,0001$), а также снижением стандартного отклонения в группах Б, ПП и ЗП, указывающим на большую стабильность результатов



а

б

Рисунок 12 – Сравнение показателей ЦИ до (а) и после операции (б) у пациента с тригоноцефалией (Пациент Г., 10 месяцев №ИБ 42933/А18)

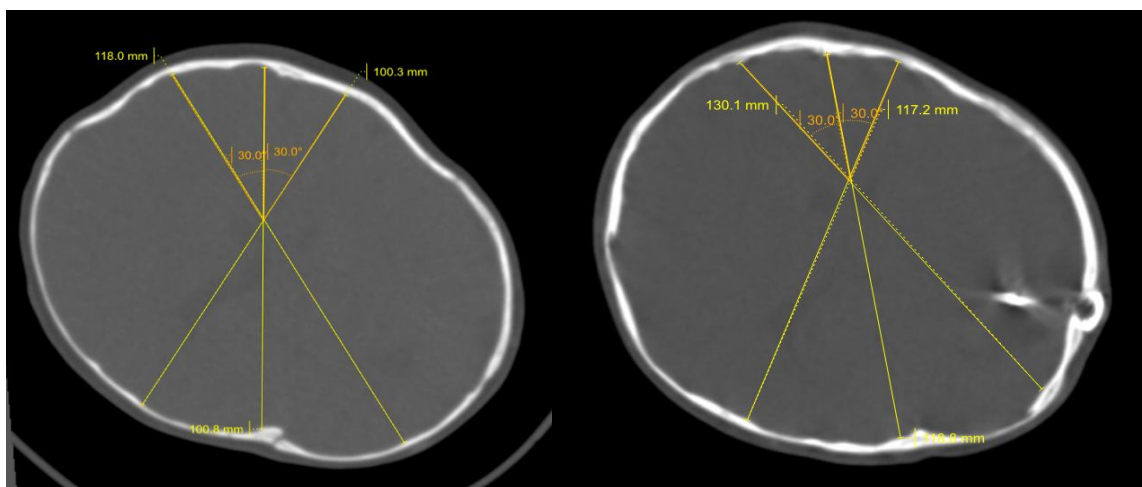
Согласно рисунку 12 у пациента с тригоноцефалией было выявлено минимальное повышение ЦИ относительно нормальных значений до оперативного лечения (86%) и нормальные значения данного показателя после операции (80%).

После оперативного лечения было проведено сравнение показателя ИАСЧ в двух временных точках (Таблица 15, Рисунок 13).

Таблица 15 – Сравнение показателей индекса асимметрии свода черепа до (ИАСЧ) и после (ИАСЧ2) операции

Группа	Среднее значение параметра ИАСЧ ± стандартное отклонение (%)	Среднее значение параметра ИАСЧ2 ± стандартное отклонение (%)	p<0,05
Т	4,33±0,53	2,78±0,54	0,001*
Б	1,84±0,89	0,72±0,02	0,25
ПП	4,90±1,65	2,69±1,05	0,0001*
ЗП	12,38±1,05	4,34±0,39	0,25
О	5,24±1,11	2,57±0,50	0,25
С	4,30±0,77	2,38±0,88	0,003*
К	9,22±2,63	4,26±1,40	0,0001*
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Из таблицы 15 следует, что после оперативного лечения средние показатели ИАСЧ улучшались в группах Т ($p < 0,001$), ПП ($p < 0,0001$), О ($p < 0,25$), С ($p < 0,003$) до нормальных значений. В группах ЗП ($p < 0,25$) и К ($p < 0,0001$) средние значения данного показателя улучшались, однако оставались за границей нормы и трактовались как легкая деформация. В группе Б ($p < 0,25$) средний показатель ИАСЧ оставался в пределах нормальных значений, с незначимым изменением данного параметра. Таким образом, анализ данных демонстрирует положительное влияние оперативного вмешательства на показатель ИАСЧ в большинстве исследуемых групп. Наблюдается статистически значимое снижение данного параметра в группах Т, ПП, С и К. Наиболее существенное улучшение зафиксировано в группе К, где значение ИАСЧ снизилось в среднем с 9,22% до 4,26%. При этом в группах Б, ЗП и О, несмотря на видимое снижение средних значений, отмеченные изменения не являются статистически достоверными, что вероятно связано с малой выборкой в этих группах. Важно отметить, что после операции в нескольких группах (например, ЗП) также произошло уменьшение стандартного отклонения, что свидетельствует о большей стабильности и однородности результатов лечения. Следовательно, можно заключить, что операция оказала эффективное и достоверное воздействие, приведя к значительному улучшению состояния пациентов в четырех из семи наблюдаемых групп.



а б
Рисунок 13 – Сравнении показателей ИАСЧ до (а) и после операции (б) у пациентки с задней плагиоцефалией (Пациентка Д., 12 месяцев №ИБ 6282/А18)

Данное клиническое наблюдение, представленное на рисунке 13, демонстрирует, что у пациентки с задней плагиоцефалией было выявлено выраженное повышение ИАСЧ до оперативного лечения (15,3%), что трактовалось как очень тяжелая деформация и улучшение данного показателя после операции (10%), что трактовалось, как тяжелая деформация.

После оперативного лечения было проведено сравнение показателя фронтального угла в двух временных точках (Таблица 16, Рисунок 14).

Таблица 16 – Сравнение показателей фронтального угла до (ФУ) и после операции (ФУ2)

Группа	Среднее значение параметра ФУ ± стандартное отклонение (°)	Среднее значение параметра ФУ2 ± стандартное отклонение (°)	p<0,05
Т	90,98±7,53	102,14±3,78	0,0001*
Б	117,20±6,37	113,33±9,02	0,25
ПП	94,22±5,14	104,32±4,02	3,96
ЗП	112,63±2,57	108,83±0,76	0,25
О	109,33±2,52	105,97±5,45	0,25
С	89,19±5,22	101,20±3,46	0,0001*
К	101,49±15,36	105,87±5,45	0,366
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Из таблицы 16 следует, что после оперативного лечения средние значения показателя ФУ в группах ПП (p<3,96) и К (p<0,366) улучшались до нормальных значений. Средние значения данного показателя улучшались в группах Т (p<0,0001), С (p<0,0001), однако минимально отклонялись от нормы и трактовались, как легкая деформация. В группах Б (p<0,25) и ЗП (p<0,25) средние показатели ФУ оставались в пределах нормальных значений, с незначимыми изменениями данного параметра. Анализ данных демонстрирует положительное влияние оперативного вмешательства на показатель ФУ в определенных группах.

Выявлено статистически значимое увеличение ФУ в группах Т и С. В группе ПП также зафиксировано существенное улучшение (с 94,22° до 104,32°), однако представленное значение p (<3,96) требует дополнительной проверки, так как превышает общепринятый порог значимости и вероятно связано с малой

выборкой. При этом в группах Б, ЗП, О и К не выявлено статистически достоверных изменений показателя ФУ, несмотря на некоторые колебания средних значений. Важно отметить, что в группах со значимым улучшением (Т и С) также произошло заметное снижение стандартного отклонения, что указывает на не только улучшение, но и большую стабильность и однородность результатов лечения после операции.

Таким образом, можно заключить, что оперативное вмешательство оказало целенаправленное и эффективное воздействие, приведя к значительному и стабильному улучшению функционального состояния в двух-трех из семи наблюдаемых групп.

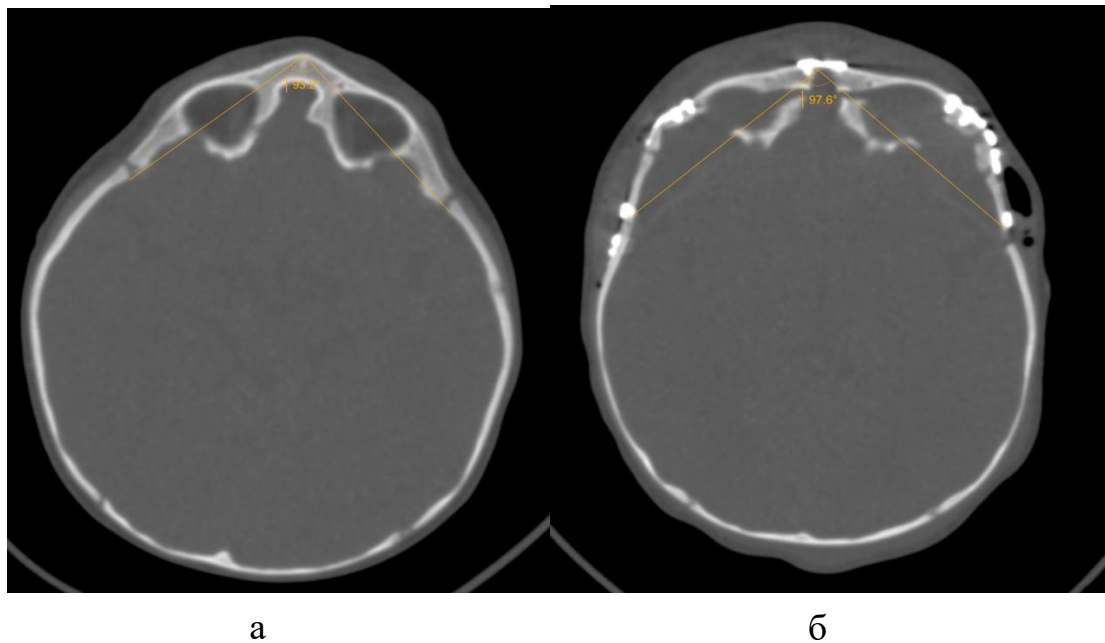


Рисунок 14 – Сравнение показателей ФУ до (а) и после операции (б) у пациента с тригоноцефалией (Пациент Ч., 7 месяцев №ИБ 7 5758/А19)

Клиническое наблюдение, представленное на рисунке 14, демонстрирует, что у пациента с тригоноцефалией было выявлено минимальное снижение ФУ до оперативного лечения (93°), что трактовалось как умеренная деформация и улучшение данного показателя после операции (98°), что трактовалось, как легкая деформация.

После оперативного лечения было проведено сравнение показателя фронтального стеноза в двух временных точках (Таблица 17, Рисунок 15).

Таблица 17 – Сравнение показателей фронтального стеноза до (ФС) и после операции (ФС2)

Группа	Среднее значение параметра ФС ± стандартное отклонение	Среднее значение параметра ФС2 ± стандартное отклонение	p<0,05
Т	1,36±0,10	1,16±0,04	0,0001*
Б	1,26±0,03	1,18±0,05	0,25
ПП	1,23±0,02	1,13±0,07	3,96
ЗП	1,13±0,07	1,06±0,12	0,371
О	1,11±0,11	1,06±0,09	0,25
С	1,14±0,05	1,12±0,09	0,0001*
К	1,23±0,16	1,12±0,11	0,01*
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Из таблицы 17 следует, что после оперативного лечения средние значения показателя ФС в группах Т (p<0,0001), Б (p<0,25), ПП (p<3,96) и К (p<0,01) улучшались до нормальных значений. Средние значения данного показателя в группах ЗП (p<0,371), О (p<0,25), С (p<0,0001) оставались в пределах нормы, с незначительными изменениями данного параметра. Анализ данных демонстрирует неоднозначное влияние оперативного вмешательства на функциональный показатель (ФС) в различных группах. Наблюдается статистически значимое улучшение в группах Т, С и К, что подтверждается низкими значениями p, свидетельствующими о достоверности результатов. Особенно выраженный положительный эффект отмечен в группе Т, где значение ФС снизилось с 1,36 до 1,16. В группе ПП зафиксировано существенное численное улучшение (с 1,23 до 1,13), однако представленное значение p (3,96) требует дополнительной проверки, так как значительно превышает общепринятый порог статистической значимости и вероятно связано в малой выборкой. При этом в группах Б, ЗП и О не выявлено статистически достоверных изменений показателя ФУ, несмотря на незначительное снижение средних значений. Важно отметить, что в группах со значимым улучшением также наблюдается тенденция к снижению стандартного отклонения, что может указывать на большую стабильность результатов после операции.

Таким образом, можно заключить, что оперативное вмешательство оказало избирательное воздействие, показав наибольшую эффективность в трех из семи наблюдаемых групп.

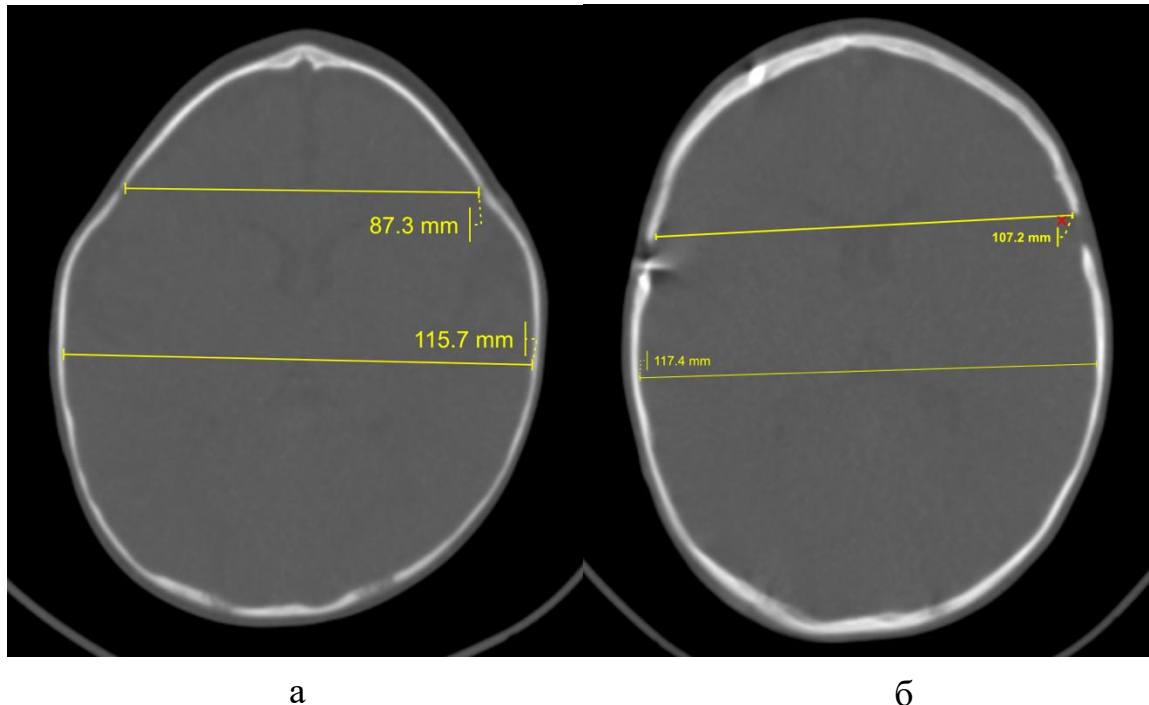


Рисунок 15 – Сравнение показателей ФС до (а) и после операции (б) у пациента с тригоноцефалией (Пациент Г., 10 месяцев №ИБ 42933/А18)

Клиническое наблюдение, представленное на рисунке 15, демонстрирует повышение показателя ФС относительно порогового значения до оперативного лечения (1,33) и улучшение данного показателя после операции до уровня нормальных значений (1,11).

Таким образом, разработанный унифицированный алгоритм морфометрического анализа на основе КТ-данных доказал свою клиническую значимость для комплексной оценки деформаций черепа у детей с краниосиностозами. Применение данного алгоритма позволило объективно оценить тип и выраженность деформации до операции, выявив характерные отклонения по ЦИ, ИАСЧ, ФУ и ФС в различных группах.

Послеоперационный анализ продемонстрировал избирательную эффективность хирургического вмешательства: наиболее значимые улучшения

наблюдались в группах С и ЗП по ЦИ, в группах Т, ПП, С и К по ИАСЧ, и в группах Т, С и К по ФС.

Важным результатом стало не только улучшение средних значений показателей, но и снижение стандартного отклонения после операции, что свидетельствует о достижении большей стабильности и однородности анатомических результатов.

Статистически значимое улучшение ФУ было отмечено лишь в группах Т и С, что указывает на ограниченное воздействие операции на данный параметр.

Полученные результаты подтверждают, что разработанный алгоритм является ценным инструментом не только для предоперационного планирования, но и для объективного мониторинга послеоперационных результатов. Однако некоторые значения ($p < 3,96$ в группе ПП) требуют дополнительной проверки и могут указывать на необходимость корректировки методики измерений для отдельных параметров и большего количества пациентов в данной группе. В целом, исследование демонстрирует, что предложенный алгоритм обеспечивает комплексный подход к оценке краниосиностозов и позволяет дифференцированно оценивать эффективность хирургического лечения для различных типов деформаций.

3.2 Результаты анализа перфузионных показателей головного мозга у детей краниосиностозами по данным магнитно-резонансной томографии

Нами внедрен в клиническую практику стандартизированный протокол динамической контрастной T2*-МР-перфузии для объективной оценки церебральной гемодинамики у детей с краниосиностозами. Методика основана на регистрации эффекта магнитной восприимчивости, возникающего при первом прохождении болюса парамагнитного контрастного вещества через церебральную микрососудистую сеть, что позволяет построить перфузионные карты. По этим

данным, в результате математической обработки кривых «концентрация-время» были получены четыре ключевых параметра:

- скорость мозгового кровотока (Cerebral blood flow - CBF),
- объем мозгового кровотока (Cerebral blood volume - CBV),
- среднее время транзита контрастного вещества (Mean transit time - MTT),
- время достижения пиковой концентрации (Time to peak - TTP).

Данный протокол применяется для выявления скрытых нарушений перфузии, связанных краниocereбральной диспропорции, а также для оценки эффективности хирургического лечения путем сравнения показателей до и после краниопластики. При оценке изображений стандартного протокола сканирования головного мозга с внутривенным контрастированием у обследованных пациентов не было выявлено объемных образований, сосудистых аномалий развития и значимых изменений белого или серого вещества головного мозга.

Стандартный протокол сканирования головного мозга был дополнен выполнением динамической контрастной T2*-МР-перфузией. На первом этапе была проведена оценка относительных перфузионных показателей (rCBF, rCBV, rMTT, rTTP) головного мозга у детей с краниосиностозами до операции (Таблица 18- 21). Значимыми изменениями относительных показателей перфузии считались превышающие 10% интервал.

Таблица 18 – Перфузионный показатель rCBF на дооперационном этапе

Группа	Среднее значение показателя rCBF ± стандартное отклонение (%)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	72,28±7,94	72,50 [66,70; 75,20]	60,00	90,20
Б	66,80±4,96	69,20 [65,15; 69,65]	61,10	70,10
ПП	82,06±11,53	83,00 [76,93; 91,47]	64,00	95,80
ЗП	77,13±9,77	73,50 [71,60; 80,85]	69,70	88,20
О	75,70±18,55	72,60 [65,75; 84,10]	58,90	95,60
С	72,70±12,66	77,20 [63,10; 83,15]	50,70	90,10
К	77,71±10,53	78,85 [70,00; 85,73]	60,60	90,50

Из таблицы 18 следует, что показатель $rCBF$ был снижен во всех группах, с наименьшим значением в группе Б ($66,80 \pm 4,96\%$) и наибольшим в группе ПП ($82,06 \pm 11,53\%$). Данный показатель в группах Т ($72,2 \pm 7,94\%$), ЗП ($77,13 \pm 9,77\%$), О ($75,70 \pm 18,55\%$), С ($72,70 \pm 12,66\%$) и К ($77,71 \pm 10,53\%$) снижался относительно одинаково.

Таблица 19 – Перфузионный показатель $rCBV$ на дооперационном этапе

Группа	Среднее значение показателя $rCBV$ $\pm$ стандартное отклонение (%)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	$70,37 \pm 15,65$	70,10 [57,30; 84,30]	40,80	91,80
Б	$66,10 \pm 6,32$	68,20 [63,60; 69,65]	59,00	71,10
ПП	$88,73 \pm 4,78$	87,60 [85,17; 93,22]	82,60	95,20
ЗП	$57,33 \pm 2,61$	56,30 [55,85; 58,30]	55,40	60,30
О	$87,17 \pm 6,69$	84,40 [83,35; 89,60]	82,30	94,80
С	$78,06 \pm 10,72$	81,30 [67,70; 85,35]	63,20	92,20
К	$79,45 \pm 9,53$	80,40 [72,40; 86,85]	64,20	91,20

Из таблицы 19 следует, что показатель $rCBV$ был снижен во всех группах, с наименьшими значениями в группах ЗП ($57,33 \pm 2,61\%$) и Б ($66,10 \pm 6,32\%$). Данный показатель в группах Т ($70,37 \pm 15,65\%$), С ($78,06 \pm 10,72\%$), К ($79,45 \pm 9,53\%$) снижался относительно одинаково. Значение $rCBV$ в группах ПП ($88,73 \pm 4,78\%$) О ($87,17 \pm 6,69\%$) было минимально снижено относительно нормальных пороговых значений.

Таблица 20 – Перфузионный показатель $rMTT$ на дооперационном этапе

Группа	Среднее значение показателя $rMTT$ $\pm$ стандартное отклонение (%)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
1	2	3	4	5
Т	$112,92 \pm 5,01$	112,70 [110,30; 116,00]	104,20	121,00
Б	$117,70 \pm 1,80$	117,20 [116,70; 118,45]	116,20	119,70
ПП	$112,52 \pm 13,56$	106,50 [102,80; 116,90]	102,30	142,30
ЗП	$115,63 \pm 3,84$	116,60 [114,00; 117,75]	111,40	118,90

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5
О	108,00±3,44	107,4 [106,2; 109,6]	104,9	111,70
С	114,39±12,76	109,50 [105,65; 117,40]	103,90	145,30
К	113,16±10,17	113,20 [104,17; 121,95]	102,10	124,30

Из таблицы 20 следует, что среднее значение показателя гМТТ было значимо повышено во всех группах, за исключением группы О (108,00±3,44%). Самое высокое значение данного показателя было зафиксировано в группе Б (117,70% ±1,80). В остальных группах Т (112,92±5,01%), ПП (112,52±13,56%), ЗП (115,63% ±3,84) С (114,39% ±12,76) и К (113,16% ±10,17) показатель гМТТ минимально превышал допустимые значения.

Таблица 21 – Перфузионный показатель гТТР на дооперационном этапе

Группа	Среднее значение показателя гТТР ± стандартное отклонение (%)	Медиана [Q1; Q3]	Мин.	Макс.
Т	110,83±8,74	108,00 [103,60; 119,60]	101,40	124,70
Б	121,10±0,70	121,40 [120,85 121,50]	120,30	121,60
ПП	110,20±10,51	104,60 [103,22; 116,45]	102,40	131,00
ЗП	108,33±1,15	108,30 [107,75; 108,90]	107,20	109,50
О	103,70±,82	101,70 [101,50; 104,90]	101,30	108,10
С	106,69±4,42	105,90 [103,30; 109,65]	101,90	116,30
К	109,86±5,97	107,50 [105,28; 112,85]	104,80	121,40

Из таблицы 21 следует, что средний показатель гТТР был наиболее высоким в группе Б (121,10±0,70%). Средние значения данного показателя минимально превышали допустимые нормальные значения в группах Т (110,83±8,74%) и ПП (110,20±10,51%). В группах ЗП (108,33±1,15%), О (103,70±,82%), С (106,69±4,42%), К (109,86±5,97%) средние показатели гТТР не превышали допустимые различия между полушариями головного мозга.

После оперативного лечения было проведено сравнение перфузионных показателей головного мозга в двух временных точках (Таблица 22, 23, 24, 25).

Таблица 22 – Сравнение показателей скорости мозгового кровотока до (rCBF) и после оперативного лечения (rCBF2)

Группа	Среднее значение параметра rCBF ± стандартное отклонение (%)	Среднее значение параметра rCBF2 ± стандартное отклонение (%)	p<0,05
Т	72,28±7,94	93,24±3,98	8,96
Б	66,80±4,96	91,23±3,95	0,25
ПП	82,06±11,53	95,17±3,73	0,0001*
ЗП	77,13±9,77	93,17±4,28	0,25
О	75,70±18,55	90,53±8,46	0,25
С	72,70±12,66	93,05±5,04	0,0001*
К	77,71±10,53	93,44±3,76	0,0001*
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

На основании анализа данных таблицы 22 показателя перфузии rCBF до и после оперативного вмешательства можно сделать следующие выводы. Оперативное лечение привело к статистически значимому улучшению показателей мозгового кровотока в группах ПП, С и К, о чем свидетельствуют низкие значения p (<0,0001). Во всех группах, включая те, где изменения не достигли статистической значимости (Т, Б, ЗП, О), средние значения rCBF после операции приблизились к нормальному диапазону, что указывает на положительную клиническую динамику. Особенно важно отметить, что в группах с изначально наиболее низкими показателями rCBF (Б – 66,80%, Т – 72,28%) достигнуты значения, соответствующие норме. Также во всех случаях отмечено снижение стандартного отклонения после операции, что свидетельствует о большей стабильности показателей перфузии и однородности результатов лечения. Наибольшее улучшение продемонстрировала группа ПП, где значения выросли с 82,06% до 95,17%.

Таким образом, можно заключить, что оперативное вмешательство оказалось эффективным в плане нормализации церебральной гемодинамики по

показателю rCBF у большинства пациентов, обеспечив достижение нормальных значений мозгового кровотока.

Таблица 23 – Сравнение показателей объема мозгового кровотока до (rCBV) и после оперативного лечения (rCBV2)

Группа	Среднее значение параметра rCBV ± стандартное отклонение (%)	Среднее значение параметра rCBV2 ± стандартное отклонение (%)	P<0,05
Т	70,37±15,65	92,88±4,95	0,0001*
Б	66,10±6,32	90,47±5,39	0,25
ПП	88,73±4,78	97,76±1,93	0,005*
ЗП	57,33±2,61	84,13±3,53	0,25
О	87,17±6,69	97,00±2,66	0,25
С	78,06±10,72	95,42±4,71	0,0001*
К	79,45±9,53	94,84±2,81	0,0001*
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Анализ данных таблицы 23 показателя перфузии rCBV демонстрирует положительное влияние оперативного вмешательства. Наблюдается статистически значимое улучшение показателя в группах Т, ПП, С и К, о чем свидетельствуют низкие значения р (<0,0001 и <0,005). Во всех группах, включая те, где изменения не достигли статистической значимости (Б, ЗП, О), которые вероятно обусловлены малой выборкой, средние значения rCBV после операции приблизились к нормальному диапазону. Особенно важно отметить, что в группе ЗП с изначально наиболее низким показателем (57,33%) достигнуто улучшение более чем на 26%. Также во всех случаях отмечено существенное снижение стандартного отклонения после операции, что свидетельствует о большей стабильности показателей и однородности результатов лечения.

Таким образом, оперативное вмешательство оказалось эффективным в плане нормализации церебральной гемодинамики по показателю rCBV у большинства пациентов, обеспечив достижение значений, близких к нормальным.

Таблица 24 – Сравнение показателей среднего времени транзита до (гМТТ) и после оперативного лечения (гМТТ2)

Группа	Среднее значение параметра гМТТ ± стандартное отклонение (%)	Среднее значение параметра гМТТ2 ± стандартное отклонение (%)	p<0,05
Т	112,92±5,01	105,01±2,43	0,0001*
Б	117,70±1,80	105,77±0,90	0,174
ПП	112,52±13,56	103,99±3,25	0,005*
ЗП	115,63±3,84	105,50±1,21	0,25
О	108,00±3,44	103,30±2,01	0,25
С	114,39±12,76	105,39±4,58	0,003*
К	113,16±10,17	105,64±4,10	0,01*
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Анализ данных таблицы 24 показателя перфузии гМТТ демонстрирует положительное влияние оперативного вмешательства на церебральную гемодинамику. Наблюдается статистически значимое улучшение показателя в группах Т, ПП, С и К, о чем свидетельствуют низкие значения р (<0,0001; <0,005; <0,003 и <0,01 соответственно). После операции средние значения гМТТ во всех группах снизились до нормального диапазона. Важно отметить, что в группах Б, ЗП и О, несмотря на видимое улучшение показателей, изменения не достигли статистической значимости, вероятно из-за малой выборки. Также во всех случаях отмечено существенное снижение стандартного отклонения после операции, что свидетельствует о большей стабильности показателей и эффективности лечения.

Таким образом, оперативное вмешательство оказалось успешным в нормализации показателя гМТТ, улучшив перфузионные характеристики мозга у большинства пациентов.

Таблица 25 – Сравнение показателей времени до пика до (гТТР) и после оперативного лечения (гТТР2)

Группа	Среднее значение параметра гТТР ± стандартное отклонение (%)	Среднее значение параметра гТТР2 ± стандартное отклонение (%)	p<0,05
Т	110,83±8,74	104,07±2,86	0,001*
Б	121,10±0,70	106,17±1,00	0,174
ПП	110,20±10,51	104,30±3,46	0,005*
ЗП	108,33±1,15	100,77±0,90	0,25
О	103,70±3,82	101,60±1,42	0,25
С	106,69±4,42	102,14±1,57	0,0001*
К	109,86±5,97	103,17±1,67	0,01*
Примечание: * — отмечены статистически значимые результаты			

Анализ данных таблицы 25 показателя перфузии гТТР демонстрирует положительное влияние оперативного вмешательства на церебральную гемодинамику. Наблюдается статистически значимое улучшение показателя в группах Т, ПП, С и К, о чем свидетельствуют низкие значения p (<0,001; <0,005; <0,0001 и <0,01 соответственно). После операции средние значения гТТР в этих группах снизились до нормального диапазона. Особенно значительное улучшение отмечено в группе Б, где показатель снизился с 121,10% до 106,17%, хотя это изменение не достигло статистической значимости, вероятно из-за малой выборки. Важно отметить, что во всех группах зафиксировано существенное снижение стандартного отклонения после операции, что свидетельствует о большей стабильности показателей и однородности результатов лечения.

Таким образом, оперативное вмешательство оказалось эффективным в нормализации перфузионного показателя гТТР, улучшив гемодинамические характеристики мозга у большинства пациентов.

Далее было проведено сравнение морфометрических измерений черепа по данным КТ и показателей перфузии головного мозга по данным МРТ до и после оперативного лечения у всех пациентов, включенных в исследование, без деления на группы (n=51), в двух временных точках (Таблица 26).

Таблица 26 – Сравнение показателей КТ и МРТ до и после оперативного лечения у детей с краниосиностозами в двух временных точках

Параметр	Метод анализа	Среднее изменение	95% доверительный интервал	Размер эффекта	p
rCBF	Парный t-тест	+18,02	[15,89; 20,15]	2,38	< 0,001
rCBV	Критерий Уилкоксона	+15,30	[14,30; 19,65]	0,87	< 0,001
rMTT	Критерий Уилкоксона	-7,30	[-9,35; -6,05]	0,87	< 0,001
rTTP	Критерий Уилкоксона	-3,90	[-7,95; -3,65]	0,87	< 0,001
ИАСЧ	Критерий Уилкоксона	-2,01	[-3,08; -1,79]	0,87	< 0,001
ФС	Критерий Уилкоксона	-0,09	[-0,13; -0,07]	0,76	< 0,001
ФУ	Парный t-тест	+7,41	[4,95; 9,88]	0,85	< 0,001
ЦИ	Парный t-тест	-0,41	[-2,92; 2,10]	-0,05	0,743
Примечание: rCBF — скорость мозгового кровотока; rCBV — объем мозгового кровотока; rMTT — среднее время транзита; rTTP — время до пика; ИАСЧ — индекс асимметрии свода черепа; ФС — фронтальный стеноз; ФУ — фронтальный угол; ЦИ — цефалический индекс					

Проведенный анализ данных таблицы 26 демонстрирует высокую эффективность оперативного лечения, оказавшую статистически значимое влияние на подавляющее большинство исследуемых параметров у 51 пациента.

Наиболее выраженные положительные изменения наблюдаются в показателях мозгового кровотока: rCBF и rCBV продемонстрировали сильный и достоверный прирост, в то время как время транзита rMTT и время до пика rTTP — значимое сокращение, что указывает на нормализацию показателей церебральной гемодинамики. Одновременно с этим отмечается существенное улучшение морфометрических характеристик черепа, выраженное в снижении ИАСЧ и показателя ФС, что свидетельствует об уменьшении деформации. Увеличение ФУ дополнительно подтверждает положительные структурные изменения. При этом цефалический индекс ЦИ, являющийся общей мерой

пропорций черепа, остался статистически неизменным, что связано с его измерениями, так как он является «двусторонним» («two-sided») и должен оцениваться для каждого вида деформации черепа отдельно в конкретной группе.

Важно отметить, что для всех значимых параметров зафиксирован крупный размер эффекта, подчеркивающий не только статистическую, но и клиническую значимость улучшений.

Таким образом, комплексное улучшение как гемодинамических, так и морфометрических параметров позволяет сделать вывод об общей высокой эффективности проведенного хирургического вмешательства.

3.3 Результаты сравнения морфометрических показателей по данным компьютерной томографии с показателями перфузии головного мозга по данным магнитно-резонансной томографии у детей с краниосиностозами

Взаимосвязь количественных данных морфометрических измерений черепа у пациентов с краниосиностозом по КТ и перфузионных показателей головного мозга по данным МРТ была изучена при помощи метода корреляции Спирмена. Были вычислены показатели изменчивости каждого параметра КТ и МРТ (Δ – дельта) у всех 51 пациента, с последующим их сравнением (Таблица 27).

Таблица 27 – Сравнение морфометрических показателей черепа по данным КТ и перфузионных показателей головного мозга по данным МРТ у детей с краниосиностозами до и после оперативного лечения

Параметр	Δ rcBF	Δ rcBV	Δ rMTT	Δ rTTP	Δ ФУ	Δ ФС	Δ ИАСЧ	Δ ЦИ
Δ rcBF	1	0,573	-0,184	-0,132	0,06	-0,042	0,133	0,131
Δ rcBV	0,573	1	-0,233	-0,218	-0,03	0,061	0,031	0,125
Δ rMTT	-0,184	-0,233	1	0,31	0,12	0,032	0,004	-0,011
Δ rTTP	-0,132	-0,218	0,31	1	0,137	0,07	-0,053	0,103
Δ ФУ	0,06	-0,03	0,12	0,137	1	0,016	0,35	0,193
Δ ФС	-0,042	0,061	0,032	0,07	0,016	1	-0,074	0,205
Δ ИАСЧ	0,133	0,031	0,004	-0,053	0,35	-0,074	1	0,114
Δ ЦИ	0,131	0,125	-0,011	0,103	0,193	0,205	0,114	1

Примечание: Δ (дельта) – показатель, отображающий разницу конкретного показателя до и после оперативного лечения

Из таблицы 27 обнаружена ожидаемая статистически значимая умеренная положительная корреляция между $\Delta rCBF$ и $\Delta rCBV$ ($\rho = 0,573$). Это подтверждает физиологическую взаимосвязь этих показателей. Параметры времени, такие как $\Delta rMTT$ и $\Delta rTTP$, демонстрируют ожидаемую слабую отрицательную корреляцию с объемными параметрами ($\Delta rCBV$) и слабую положительную корреляцию друг с другом ($\rho = 0,31$), что также соответствует их физиологической природе. Наиболее важным результатом является то, что между большинством перфузионных ($\Delta rCBF$, $\Delta rCBV$, $\Delta rMTT$, $\Delta rTTP$) и морфометрических (ΔFU , ΔFC , ΔIAC , ΔCI) показателей не выявлено значимых корреляций. Все коэффициенты находятся в диапазоне слабых и очень слабых связей (от -0,218 до 0,137). Единственное исключение - слабая положительная корреляция наблюдается между ΔFU и ΔIAC ($\rho = 0,35$), что указывает на некоторую согласованность в изменении этих морфометрических характеристик после операции.

На следующем этапе оценивали взаимосвязь между морфометрическими показателями и показателями перфузии отдельно в каждой группе пациентов (Таблица 28).

Таблица 28 – Значимые корреляции сравнения морфометрический показателей черепа по данным КТ и перфузионных показателей головного мозга по данным МРТ у детей с краниосиностозами до и после оперативного лечения по группам

Группа	Параметр 1	Параметр 2	r	p
ПП	$\Delta rCBF$	ΔFC	0,793	0,006
С	$\Delta rCBF$	$\Delta rCBV$	0,755	0,007
Т	$\Delta rCBF$	ΔFU	-0,691	0,009
К	$\Delta rCBF$	$\Delta rCBV$	0,81	0,015
К	ΔFC	ΔIAC	0,79	0,02
С	ΔFU	ΔCI	0,62	0,042
К	ΔFU	ΔCI	-0,719	0,045
Т	$\Delta rCBV$	ΔCI	0,554	0,049

На основе данных корреляционного анализа выявлены специфические взаимосвязи между изменениями перфузионных и морфометрических показателей в различных группах краниосиностозов. В группах С и К

наблюдается сильная положительная корреляция между динамикой $\Delta rCBF$ и $\Delta rCBV$, что подтверждает ожидаемую физиологическую взаимозависимость этих параметров. В группе ПП обнаружена особенно сильная связь между улучшением $\Delta rCBF$ и изменением ΔFC , что может указывать на ключевую роль данной морфометрической коррекции в нормализации перфузии именно при этом типе синостоза. В то же время, в группе Т выявлена отрицательная корреляция между $\Delta rCBF$ и ΔFU , предполагая, что изменение FU может по-разному влиять на гемодинамику. Противоречивые корреляции между ΔFU и ΔCI в группах С (положительная) и К (отрицательная), которая вероятно также связана с «двусторонним» характером показателя CI . Полученные данные свидетельствуют о том, что влияние хирургической коррекции на взаимосвязь гемодинамики и морфометрии сильно зависит от исходного типа краниосиностоза, что требует дифференцированного подхода к прогнозированию результатов лечения.

Проведенный корреляционный анализ демонстрирует, что хирургическое лечение краниосиностозов обеспечивает комплексное улучшение как морфометрических параметров черепа, так и показателей церебральной перфузии. При этом общий анализ не выявил значимых прямых корреляций между изменениями формы черепа и показателями гемодинамики, что свидетельствует об относительной независимости этих процессов. Подтверждена ожидаемая физиологическая взаимосвязь между перфузионными параметрами $rCBF$ и $rCBV$. Стратификация данных по типам краниосиностоза выявила специфические взаимосвязи, наиболее выраженные в группе ПП, где обнаружена сильная корреляция между $rCBF$ и FC . Противоречивый характер корреляций между изменениями FU и CI в разных группах указывает на разнонаправленное влияние хирургической коррекции. Полученные данные позволяют предположить, что улучшение перфузии опосредовано не столько механической декомпрессией, сколько нормализацией венозного оттока и внутричерепного давления.

Исследование подтверждает комплексный положительный эффект операции, реализуемый через относительно независимые морфологическую и гемодинамическую составляющие. Выявленные закономерности обосновывают необходимость индивидуального прогнозирования результатов в зависимости от типа краниосиностоза.

Комбинированное использование КТ-морфометрии и МР-перфузии предоставляет ценную информацию для объективной оценки эффективности лечения.

На основе проведенного исследования нами был предложен комплексный алгоритм диагностики краниосиностозов, который последовательно интегрирует современные методы нейровизуализации для точной оценки структурных и функциональных нарушений (Рисунок 16). Алгоритм начинается с клинического осмотра ребенка нейрохирургом с проведением антропометрических измерений головы, что позволяет выявить характерные деформации черепа и определить направление дальнейшего обследования. При наличии подозрений на краниосиностоз выполняется ультразвуковое исследование черепных швов через открытые роднички как безопасный метод первичного скрининга, особенно ценный у детей младшего возраста.

Для верификации диагноза осуществляется компьютерная томография с 3D-реконструкцией. На основе полученных КТ-данных проводится количественная морфометрия с расчетом четырех ключевых показателей: цефалического индекса (ЦИ), индекса асимметрии свода черепа (ИАСЧ), фронтального угла (ФУ) и фронтального стеноза (ФС).

Следующим этапом проводится магнитно-резонансная томография головного мозга, дополненная динамической контрастной T2*-МР-перфузией (DSC-перфузия) для оценки функциональных нарушений церебральной гемодинамики. При анализе перфузионных данных рассчитываются относительные показатели rCBF, rCBV, rMTT и rTTP в зонах максимальной компрессии мозга.

Полученные морфометрические и перфузионные данные интегрируются для определения типа краниосиностоза и степени выраженности нарушений.

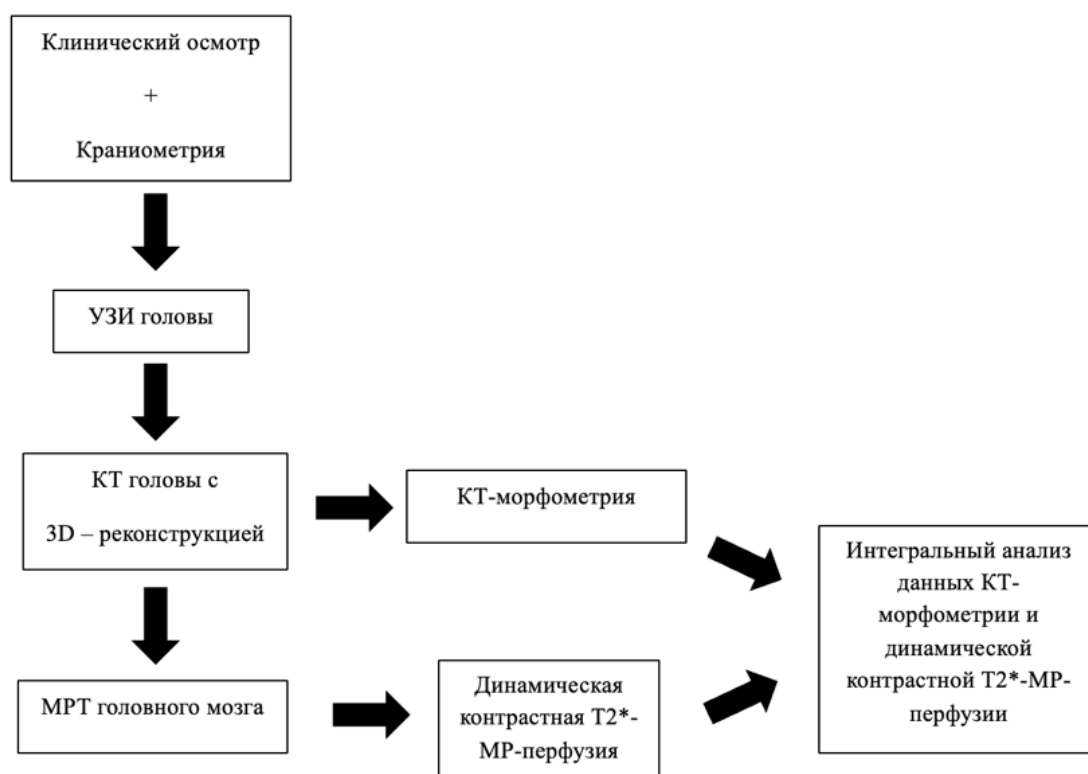


Рисунок 16 – Алгоритм обследования пациентов с краниосиностозами

Данный подход к диагностике позволяет получить все необходимые данные для лечащего врача о виде краниосиностоза, степени деформации черепа и возможных перфузионных нарушениях головного мозга в наиболее компримированных отделах.

Резюме

Проведенное исследование позволило разработать и внедрить унифицированный алгоритм диагностики краниосиностозов, интегрирующий клинический осмотр, ультразвуковое исследование швов, количественную КТ-морфометрию с расчетом цефалического индекса, индекса асимметрии свода черепа, фронтального угла и фронтального стеноза, а также динамическую

контрастную T2*-МР-перфузию для оценки церебральной гемодинамики. Дооперационный анализ с использованием данного подхода выявил характерные морфометрические изменения (наиболее низкий цефалический индекс при скафоцефалии, наиболее высокий — при брахицефалии, максимальную асимметрию при задней плагиоцефалии) и перфузионные нарушения в виде снижения скорости и объема мозгового кровотока с увеличением среднего времени транзита и времени до пика, наиболее выраженные при брахицефалии и задней плагиоцефалии. Послеоперационный анализ продемонстрировал высокую эффективность хирургического лечения: достигнуто статистически значимое улучшение перфузионных показателей во всех группах (прирост rCBF составил +18,02%, rCBV +15,30%) и достоверная коррекция морфометрических параметров, наиболее выраженная в группах скафоцефалии, плагиоцефалии и комбинированных форм краниосиностозов, при этом снижение стандартного отклонения послеоперационных показателей свидетельствует о достижении более стабильных и однородных результатов. Корреляционный анализ не выявил прямых связей между динамикой морфометрических и перфузионных изменений, что указывает на относительную независимость процессов структурной коррекции и нормализации гемодинамики, однако в отдельных группах обнаружены специфические взаимосвязи, подтверждающие физиологическую сопряженность параметров (корреляция rCBF и rCBV при комбинированных формах и скафоцефалии, связь перфузионных показателей с коррекцией фронтального стеноза при передней плагиоцефалии). Таким образом, предложенный комплексный диагностический алгоритм позволяет объективно оценивать тип и степень деформации черепа, выявлять скрытые нарушения мозгового кровотока и дифференцированно анализировать эффективность хирургической коррекции при различных видах краниосиностозов у детей.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Для всестороннего анализа количественных данных и наглядного сравнения изучаемых показателей между группами наблюдения в исследовании использовался описательный статистический анализ с построением диаграмм типа «ящик с усами» (box plot) (Рисунок 17).

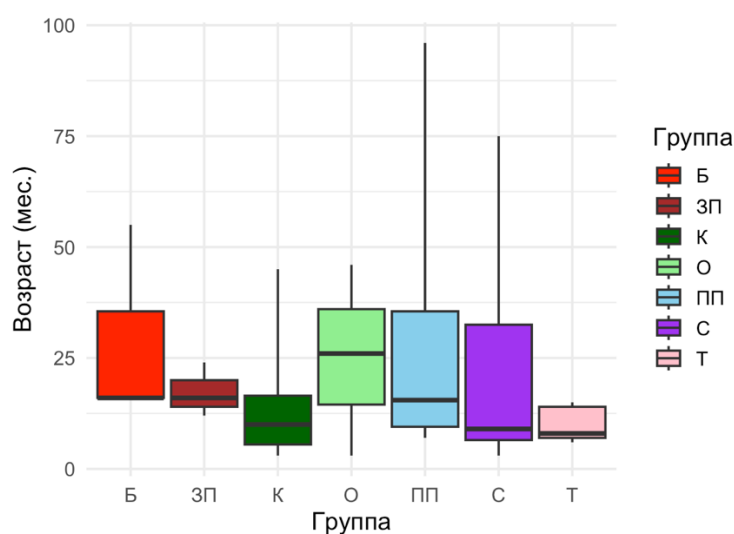


Рисунок 17 – Диаграмма размаха «ящик с усами» распределения пациентов по группам и возрасту

Диаграмма, представленная в рисунке 17, позволяет оценить распределение возраста в каждой группе пациентов, его медиану, вариативность и возможные выбросы. Медиана (центральная линия в ящике) показывает, что наименьший возрастной показатель наблюдается в группе Т (~8 месяцев), что указывает на молодых и однородных пациентов. Наибольшие медианы характерны для групп ПП и Б (~15–16 месяцев и выше), что соответствует более старшим пациентам. Ящик, ограниченный 1-м и 3-м квартилями (Q1–Q3), демонстрирует разброс 50% данных. В группах ПП и С ящик широкий, что свидетельствует о высокой вариативности возраста внутри группы. В группе Т ящик узкий, что подтверждает однородность. «Усы» показывают минимальные и максимальные значения. Так, в группе ПП максимальный возраст достигает 96 месяцев, значительно превышая

медиану, что указывает на наличие редких старших пациентов. В группе Т диапазон узкий (6–15 месяцев), резких отклонений нет.

Таким образом, диаграмма наглядно демонстрирует различия между группами:

- Группа Т — молодые и однородные пациенты;
- Группы ПП и С — более старшие пациенты с большим разбросом возрастных данных;
- Остальные группы (Б, ЗП, К, О) — средние значения возраста с умеренной вариативностью.

Диаграмма позволяет быстро оценить гетерогенность данных и выявить группы с высокими и низкими возрастными показателями, а также возможные выбросы, которые могут быть интересны для дальнейшего анализа.

Далее в исследовании проведён анализ морфометрических показателей по данным КТ (ЦИ, ФУ, ФС, ИАСЧ) и перфузионных показателей по данным динамической контрастной T2*-МР-перфузии (rCBF, rCBV, rMTT, rTTP) у детей с краниосиностозами до хирургического вмешательства с использованием метода главных компонент (РСА). РСА позволил выделить основные направления вариации данных: функциональные (перфузионные) и структурные (морфометрические). Результаты анализа продемонстрировали значимость дооперационной оценки показателей для понимания исходного состояния пациентов и планирования хирургической тактики. РСА позволяет свести многомерные данные к нескольким главным компонентам, которые объясняют наибольшую часть вариации и упрощают интерпретацию.

На рисунках 18, 19 представлены результаты анализа РСА: диаграмма рассеяния объектов в пространстве первых двух главных компонент с отображением векторов переменных и диаграммы вклада переменных в формирование PC1 и PC2.

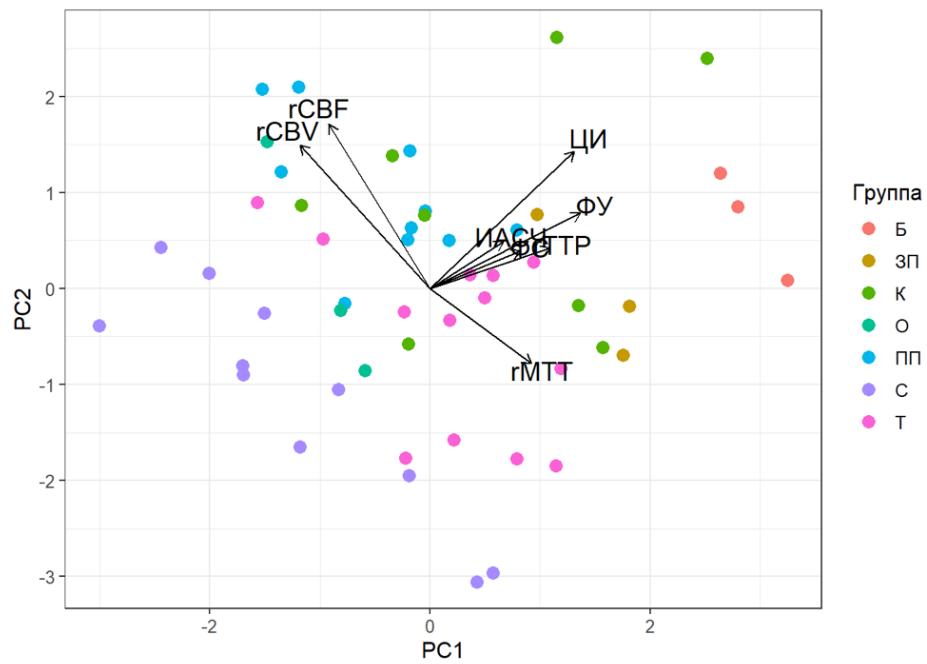


Рисунок 18 – Диаграмма рассеяния объектов по главным компонентам PC1 и PC2 с векторами переменных

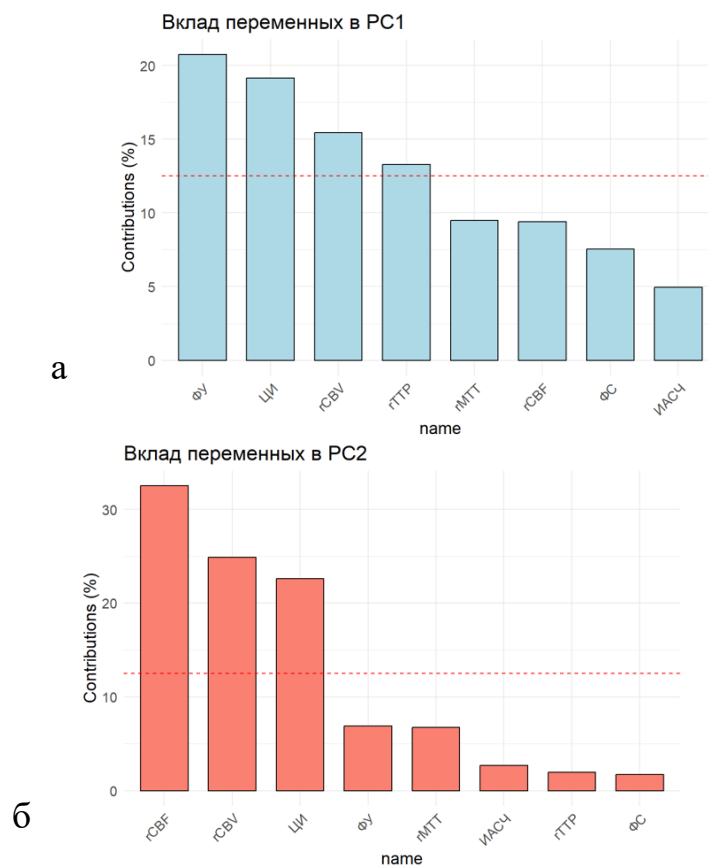


Рисунок 19 – Диаграмма вклада переменных в формирование первой (а) и второй (б) главных компонент

Анализ PCA показал, что группы пациентов разделяются в пространстве первых двух главных компонент. Первая главная компонента (PC1) в большей

степени отражает вариации морфометрических показателей. Основными показателями, формирующими PC1, являются ЦИ, ФУ, которые связаны с формой и симметрией черепа. Вторая главная компонента (PC2) преимущественно отражает вариации перфузионных параметров. Наибольший вклад в PC2 внесли показатели rCBF и rCBV, которые направлены в одну сторону. В противоположную сторону направлены векторы rMTT и rTTP, что подтверждает физиологическую взаимосвязь: противоположность показателей rCBF, rCBV и rMTT, rTTP. Таким образом, первая компонента характеризует морфологические изменения, а вторая – функциональное состояние кровотока. Диаграммы вклада переменных подтвердили, что ведущими переменными для PC1 являются ЦИ и ФУ, а для PC2 – rCBF и rCBV. Это демонстрирует, что перфузионные показатели являются более чувствительными к функциональным изменениям, тогда как морфометрические индексы отражают структурные особенности.

Анализ дооперационных данных позволяет выявить исходные структурные и функциональные особенности, которые необходимо учитывать при планировании хирургического вмешательства. Определение ведущих морфометрических и перфузионных показателей помогает оценивать ожидаемый эффект от операции.

В исследовании проведён корреляционный анализ морфометрических и перфузионных показателей у детей с краниосиностозами до операции. Были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона между всеми количественными переменными: rCBF, rCBV, rMTT, rTTP (перфузионные показатели) и ЦИ, ФУ, ФС, ИАСЧ (морфометрические показатели). Результаты визуализированы с помощью корреляционной матрицы (corrplot, Рисунок 20).

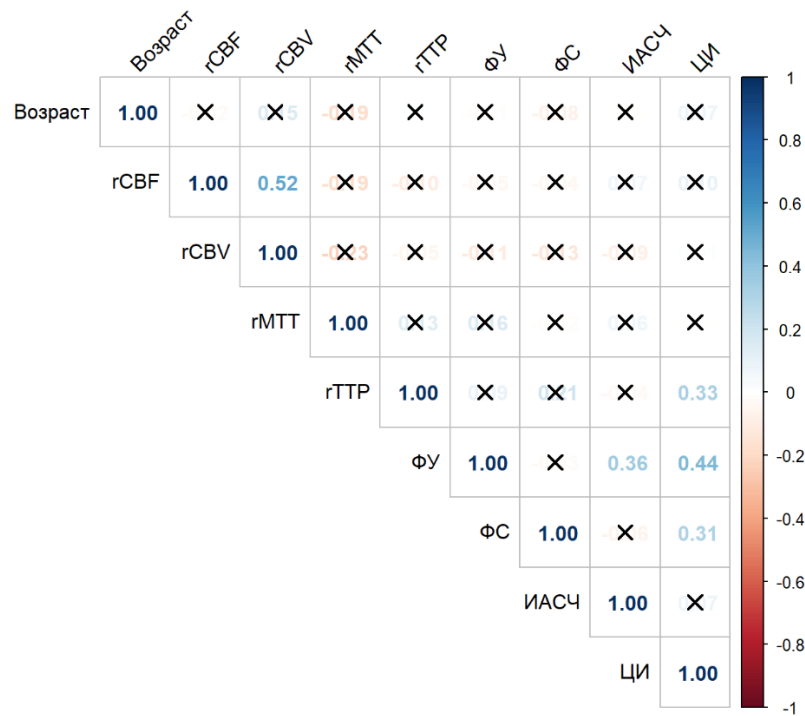


Рисунок 20 – Корреляционная матрица между морфометрическими и перфузионными показателями

По данным корреляционного анализа (Рисунок 20) выявлена статистически значимая умеренная положительная связь между перфузионными параметрами rCBF и rCBV ($\rho = 0,52$), что подтверждает их физиологическую взаимозависимость и согласованность изменений скорости и объема мозгового кровотока. Также обнаружены слабые отрицательные корреляции rMTT с rCBF ($\rho = -0,19$) и rCBV ($\rho = -0,23$), отражающие тенденцию к снижению объемных и скоростных показателей мозгового кровотока при увеличении временных. Взаимосвязи основных перфузионных показателей головного мозга с морфометрическими параметрами черепа статистически значимо не выявлено, что свидетельствует об отсутствии влияния формы и размеров черепа на характеристики кровотока в нашей выборке. Вместе с тем обнаружена слабая положительная корреляция между rTTP и ЦИ ($\rho = 0,33$), требующая дальнейшего изучения. Анализ морфометрических показателей демонстрирует их слабую и умеренную взаимосвязь: ФУ умеренно коррелирует с ЦИ ($\rho = 0,44$) и слабо — с ИАСЧ ($\rho = 0,36$), а ФС слабо связана с ЦИ ($\rho = 0,31$).

Таким образом, результаты подтверждают ожидаемые гемодинамические взаимосвязи и показывают комплексный характер изменчивости формы черепа, но не выявляют существенного влияния краниометрических параметров на мозговую гемодинамику.

Для визуальной оценки многомерных связей использована тепловая карта (heatmap) с иерархической кластеризацией. Интерпретация подкреплена сводными статистиками по группам (Среднее, Стандартное отклонение, Медиана [Q1; Q3], Мин–Макс) для всех параметров (Рисунок 21, 22)

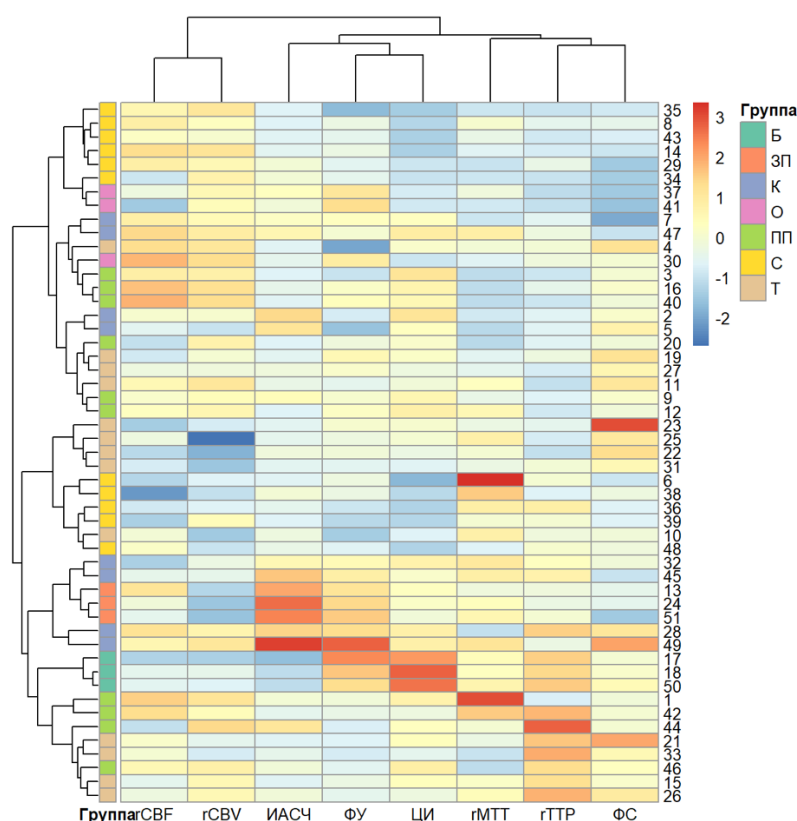


Рисунок 21 – Тепловая карта исходных (дооперационных) данных с иерархической кластеризацией

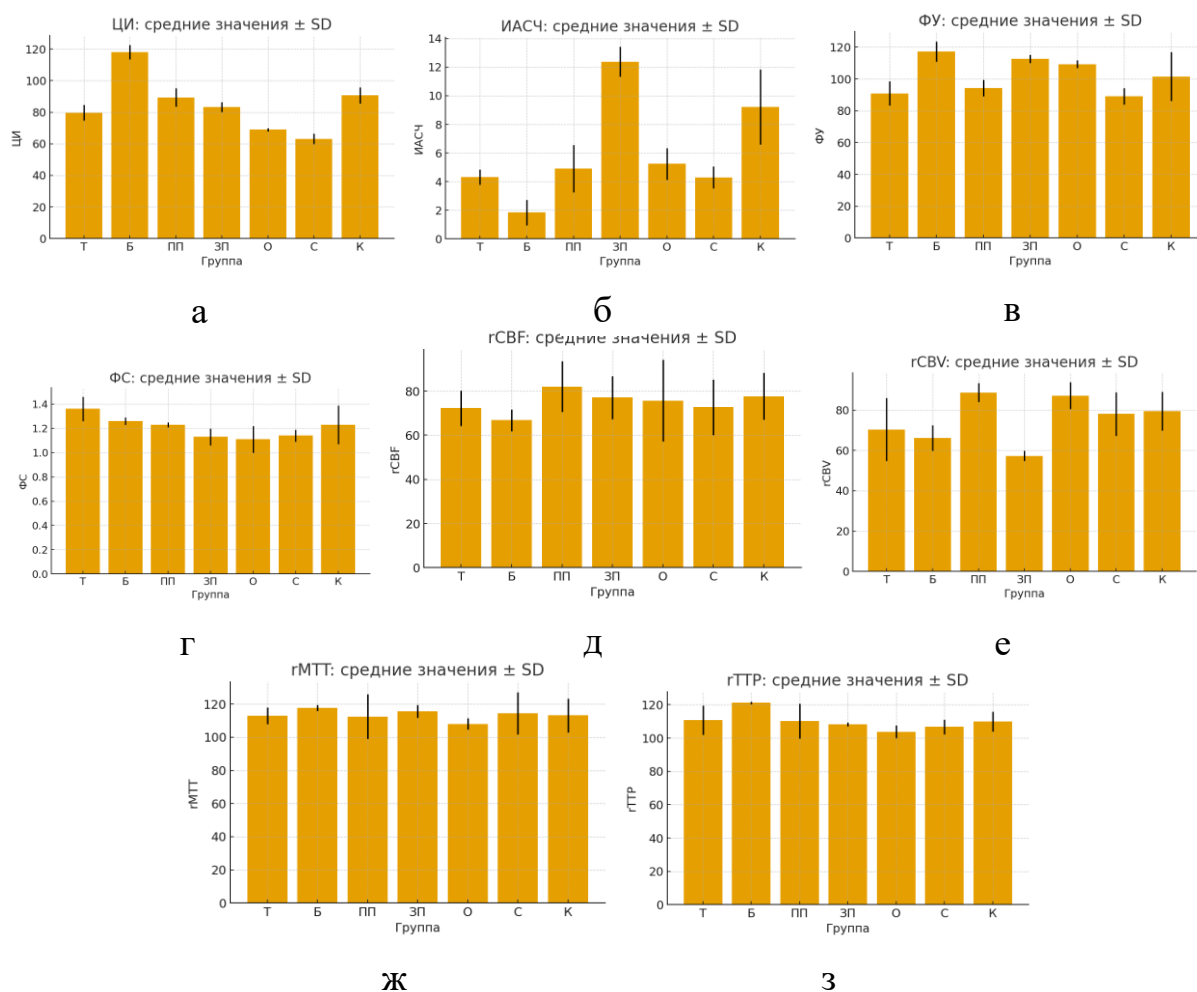


Рисунок 22 – Столчатые диаграммы параметров по группам.

Примечание: а – цефалический индекс (ЦИ); б – индекс асимметрии свода черепа (ИАСЧ); в – фронтальный угол (ФУ); г – фронтальный стеноз (ФС); д – скорость мозгового кровотока (гСВФ); е – объем мозгового кровотока (гСВВ); ж – среднее время транзита (гМТТ); з – время до пика (гТТР)

Из тепловой карты на рисунке 20 видно, что группы демонстрируют различный профиль параметров. Группа Б характеризуется наибольшими значениями ЦИ ($118,00 \pm 4,58\%$) и ФУ ($117,20 \pm 6,37^\circ$), что отражается красными оттенками в соответствующих областях тепловой карты. В противоположность этому, группы С и О имеют минимальные значения ЦИ ($63,18 \pm 3,19\%$ и $69,00 \pm 1,00\%$ соответственно), что отображено преобладанием синих и голубых цветов. Промежуточные значения характерны для группы ПП, где ЦИ составляет $89,40 \pm 5,78\%$, а ФУ – $94,22 \pm 5,14^\circ$. Группа ЗП демонстрирует устойчиво высокие значения ИАСЧ ($12,38 \pm 1,05\%$), что выделяется отдельным кластером.

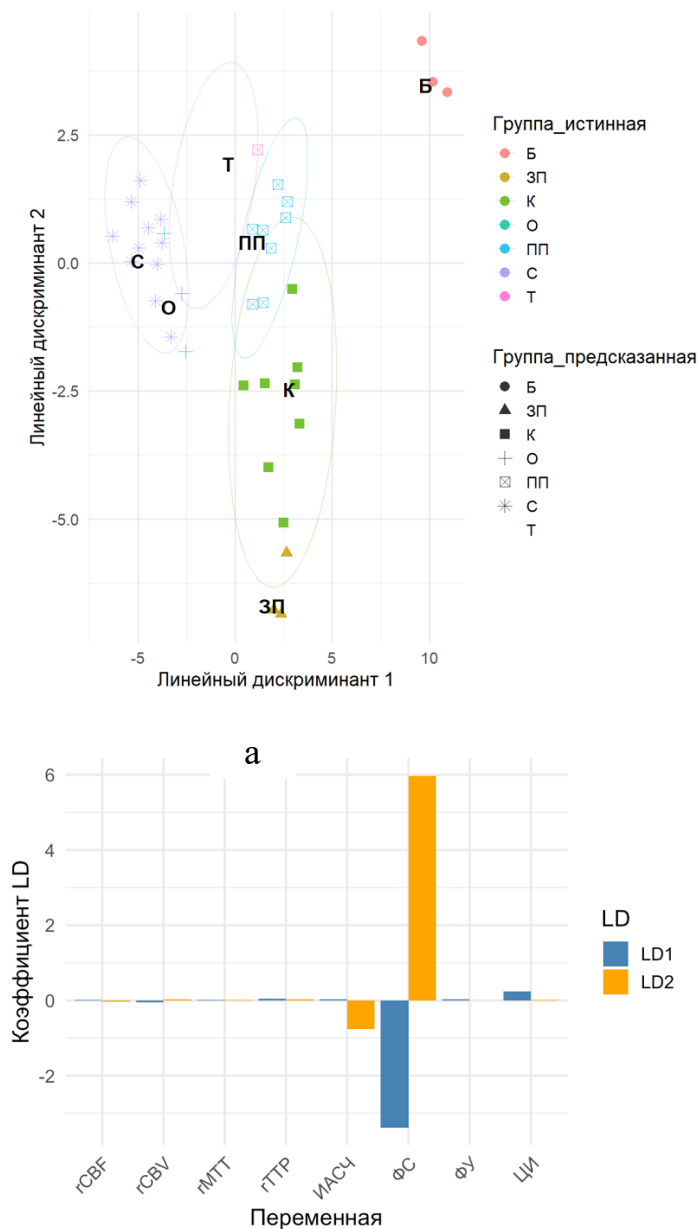
Кластерный анализ также показал сближение групп С и О, которые имеют схожий профиль низких параметров.

При рассмотрении параметров гемодинамики, группа Б выделяется наиболее высоким значением $rTTP$ ($121,10 \pm 0,70\%$), в то время как минимальные значения $rTTP$ наблюдаются в группе О ($103,70 \pm 3,82\%$). Группа ПП демонстрирует повышенные показатели $rCBF$ ($82,06 \pm 11,53\%$) и $rCBV$ ($88,73 \pm 4,78\%$), что позволяет отнести её к кластеру с более благоприятными характеристиками перфузии. Группа Т характеризуется умеренными значениями большинства параметров и занимает промежуточное положение на карте.

Таким образом, тепловая карта позволяет наглядно оценить межгрупповые различия и выявить характерные профили параметров. Наибольшее отклонение демонстрируют группы Б и ЗП (в сторону повышения), а также С и О (в сторону снижения показателей). Кластеризация подтверждает группировку исследуемых данных и подчёркивает клиническую значимость межгрупповых различий.

Для дальнейшей статистической обработки данных был использован линейный дискриминантный анализ (LAD) для того, чтобы оценить, в какой степени комбинация восьми ключевых параметров — перфузионных показателей ($rCBF$, $rCBV$, $rMTT$, $rTTP$) и морфометрических характеристик черепа (ФУ, ФС, ИАСЧ, ЦИ) — позволяет статистически значимо дифференцировать исследуемые группы. Это позволяет проверить гипотезу о наличии комплексных паттернов во взаимосвязи гемодинамики и краниометрии, которые неочевидны при анализе отдельных признаков. Интерпретация вклада каждого признака в дискриминантные функции помогает выявить, какие именно параметры вносят наибольший вклад в различение групп.

Таким образом, представленный далее рисунок 23 с распределением наблюдений в пространстве первых двух дискриминантов (LD1, LD2) демонстрирует степень успешности этой групповой сепарации.



б

Рисунок 23 – Линейный дискриминантный анализ (LDA) (а): проекция на LD1–LD2 (б)

Из рисунка 23 выявлено, что высокие значения ЦИ и ФС тянут наблюдения вправо по LD1 (характерно для группы Б), низкие значения этих показателей — влево (С и О). Повышенная ИАСЧ и rCBV определяют положение по LD2, что поддерживает отделение ЗП и К от С/О. Вклад rCBF и rMTT умеренный и влияет на тонкую подстройку позиционирования. Первые две функции обеспечивают наглядную сегрегацию групп. Наиболее информативными в классификации оказались морфометрические показатели ЦИ, ФС, ИАСЧ, которые целесообразно

использовать при разработке диагностических правил и построении упрощённых моделей. Анализ вкладов переменных в линейные дискриминанты показал, что для LD1 наибольшее влияние оказывают ФС (сильный отрицательный вклад) и ЦИ (значительный положительный вклад), при этом умеренный положительный вклад вносят rTTP и ФУ, а остальные переменные оказывают относительно небольшой эффект. Это указывает на то, что LD1 формируется в основном за счёт ФС и ЦИ, которые определяют различия между группами по первой линейной дискриминанте. Для LD2 ключевыми переменными являются ФС (очень сильный положительный вклад) и ИАСЧ (отрицательный вклад), в то время как вклад остальных переменных минимален. Таким образом, LD2 определяется преимущественно влиянием ФС и ИАСЧ, что отражает различия между группами по второй линейной дискриминанте, а все остальные переменные играют второстепенную роль.

После проведенного оперативного лечения была оценена динамика морфометрических показателей черепа по данным КТ и перфузионных изменений по данным МРТ (Рисунок 24-26).

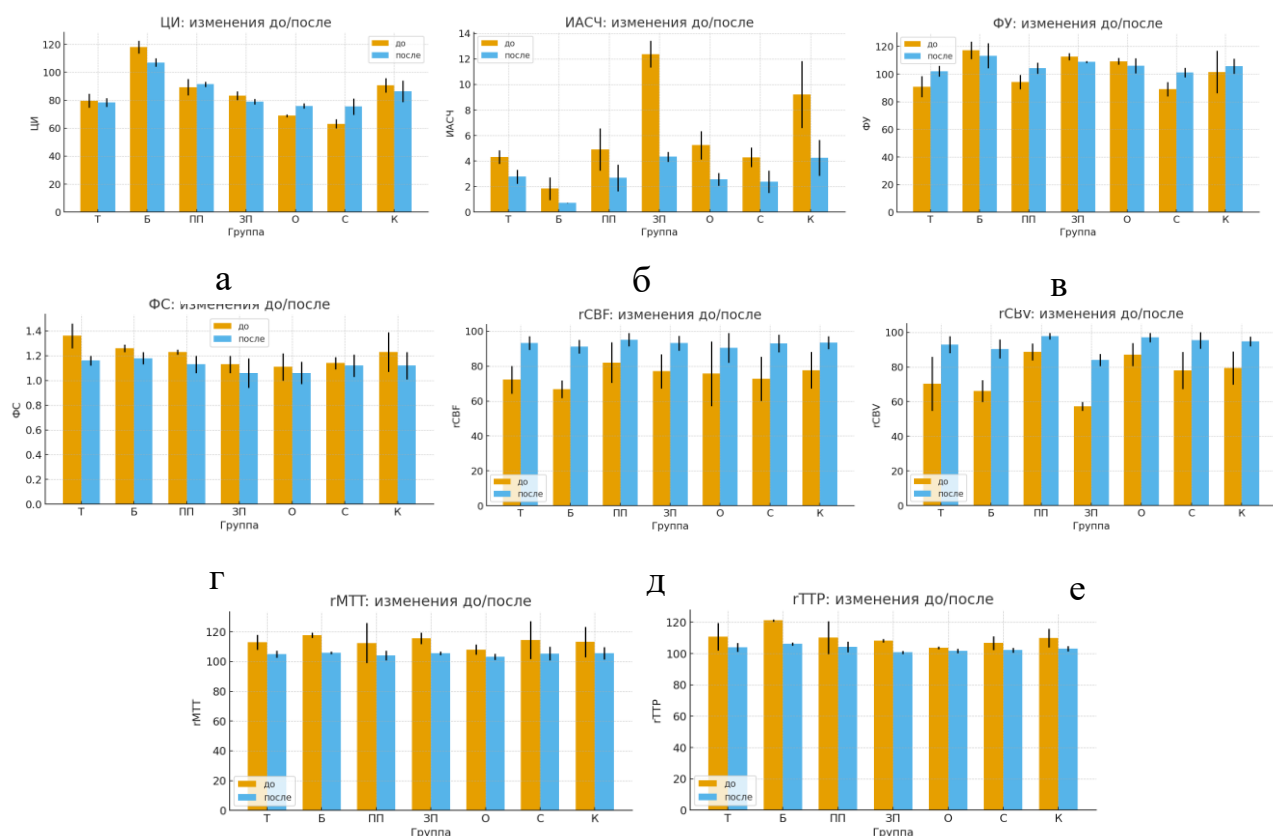


Рисунок 24 – Столбчатые диаграммы средних значений по группам до и после операции

Примечание: а – цефалический индекс (ЦИ); б – индекс асимметрии свода черепа (ИАСЧ); в – фронтальный угол (ФУ); г – фронтальный стеноз (ФС); д – скорость мозгового кровотока (гСВФ); е – объем мозгового кровотока (гСВУ); ж – среднее время транзита (гМТТ); з – время до пика (гТТР)

Проведённое сравнение показателей до и после оперативного лечения, изображенное на рисунке 24 позволило выявить чёткую динамику, характеризующуюся улучшением перфузионных характеристик и нормализацией морфометрических показателей. Перфузионные параметры гСВФ и гСВУ после операции значимо увеличивались в ряде групп, в то время как показатели гМТТ, гТТР снижались, что свидетельствует о тенденции к нормализации мозгового кровотока.

Морфометрические показатели также продемонстрировали положительные изменения: отмечалось снижение ИАСЧ, уменьшение ФС и повышение ФУ. Особенно выраженные и статистически значимые изменения зарегистрированы в группах ЗП и С для ЦИ, в группах Т, ПП, С и К для гСВФ и гСВУ, а также в группах Т, ПП и С для гМТТ и гТТР.

Такое распределение указывает на то, что разные группы реагировали на лечение по-разному, однако общий тренд однозначно указывает на положительное влияние вмешательства.

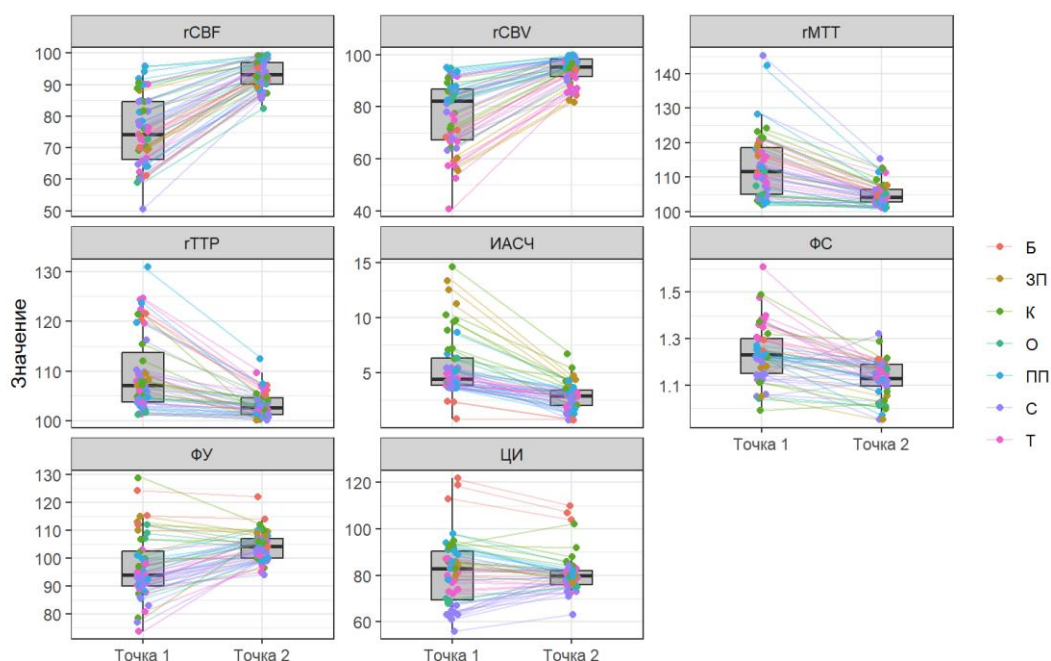


Рисунок 25 – Диаграммы размаха (ящики с усами) – индивидуальная динамика показателей

Примечание: скорость мозгового кровотока (rCBF); объем мозгового кровотока (rCBV); среднее время транзита (rMTT); время до пика (rTTP); цефалический индекс (ЦИ); индекс асимметрии свода черепа (ИАСЧ); фронтальный угол (ФУ); фронтальный стеноз (ФС)

Из рисунка 25 выявлено, что в rCBF и rCBV большинство линий направлены вверх, медианы смещены вправо/вверх, разброс уменьшается — это соответствует нормализации данных параметров после вмешательства. Для rMTT и rTTP линии в основном идут вниз, а распределения смещаются к меньшим значениям, что отражает снижение данных показателей. ИАСЧ демонстрирует выраженное снижение почти у всех пациентов. ФС уменьшается умеренно и становится более однородной. ФУ в целом повышается (особенно заметно у Т, ПП и С), хотя у части групп (Б, ЗП, О) наблюдается умеренное снижение. Для ЦИ отмечается гетерогенность: рост у С и О, умеренное повышение у ПП и снижение у Б, ЗП и К, что связано с его «двусторонним» характером.

В сумме диаграмма показывает, что большая часть пациентов демонстрирует улучшение перфузионных и морфометрических показателей после операции.

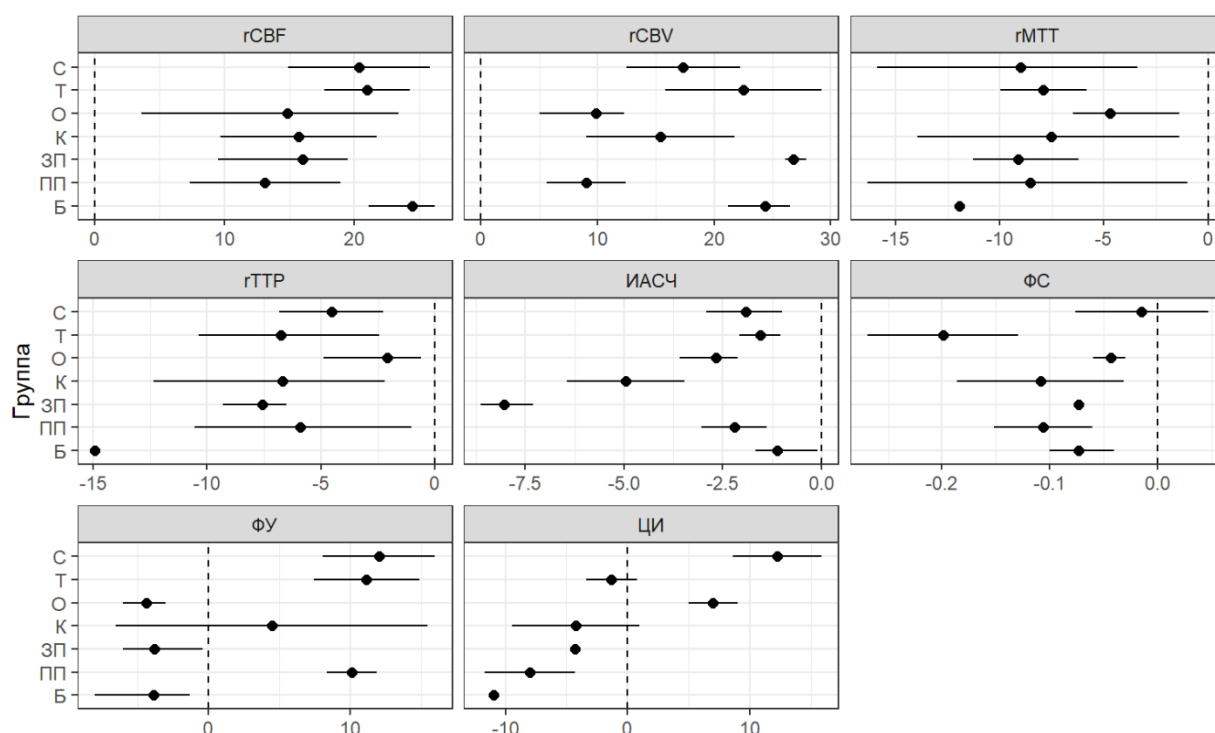


Рисунок 26 – «Лесные» диаграммы разностей (после - до) с доверительными интервалами по группам

Примечание: скорость мозгового кровотока (rCBF); объем мозгового кровотока (rCBV); среднее время транзита (rMTT); время до пика (rTTP); цефалический индекс (ЦИ); индекс асимметрии свода черепа (ИАСЧ); фронтальный угол (ФУ); фронтальный стеноз (ФС)

Из рисунка 26 выявлено, что для rCBF и rCBV все группы имеют положительный сдвиг; наибольшие эффекты наблюдаются у групп С, Т и К, а у Б, ЗП и О рост умеренный. По rMTT и rTTP отмечается однозначное снижение (точки слева от нуля) во всех группах. ИАСЧ также снижается; наиболее выраженные уменьшения у ЗП и К, заметные — у Т и ПП. ФС смещается в отрицательную зону (умеренное снижение) практически во всех группах, с более выраженными изменениями у Т и К. ФУ увеличивается преимущественно у Т, ПП, С и К, тогда как у Б, ЗП и О отмечается небольшое уменьшение. По ЦИ имеются разнонаправленные изменения: прирост у С и О, умеренное увеличение у ПП и снижение у Б, ЗП и К, что связано с его «двусторонним» характером.

Таким образом, диаграммы согласованно указывают на рост rCBF, rCBV и уменьшение rMTT rTTP, при межгрупповой вариабельности морфометрических показателей.

Резюме

Применение комплекса статистических методов позволило всесторонне оценить результаты исследования и объективно подтвердить ключевые закономерности. Описательный анализ с построением «ящиков с усами» наглядно продемонстрировал возрастную гетерогенность и однородность между сравниваемыми группами пациентов. Метод главных компонент (PCA) эффективно разделил многомерные данные, выявив, что структурные изменения черепа (ЦИ, ФУ) и функциональные параметры мозгового кровотока (rCBF, rCBV) формируют независимые направления вариабельности, что подтвердило комплексный характер патологии. Корреляционный анализ установил ожидаемые физиологические взаимосвязи между перфузионными показателями, но не выявил их значимой связи с морфометрией, что указывает на независимость гемодинамических нарушений от формы черепа в данной выборке. Визуализация с помощью тепловой карты и иерархической кластеризации объективно показала специфические паттерны показателей для каждой группы, выделив группы с наиболее выраженными отклонениями. Линейный дискриминантный анализ (LDA) подтвердил, что комбинация морфометрических параметров (ЦИ, ФС, ИАСЧ) позволяет надежно дифференцировать группы пациентов, определяя наиболее информативные диагностические признаки. Наконец, анализ динамики после операции с использованием различных типов диаграмм статистически значимо доказал положительные изменения как перфузионных, так и морфометрических показателей, подтвердив эффективность хирургического лечения. Таким образом, интеграция различных статистических подходов обеспечила глубокое, многомерное понимание данных, связав структурные и функциональные изменения в единую патогенетическую модель.

ГЛАВА 5. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленное исследование посвящено комплексной лучевой диагностике краниосиностозов у детей, что является чрезвычайно актуальной междисциплинарной проблемой в современной педиатрической нейрохирургии и неврологии (Рогинский В.В. и соавт., 2019; Иванов В.П. и соавт., 2022).

Высокая распространенность патологии, составляющая 1:2000-2500 новорожденных, и потенциально тяжелые неврологические последствия, включая повышение внутричерепного давления, гидроцефалию, когнитивные и неврологические нарушения, подчеркивают важность совершенствования диагностических алгоритмов (Суфианов А.М. и соавт., 2013; Озерова В.И. и соавт., 2009; Cornelissen et al., 2016; Tønne et al., 2020, John J et al., 2025). Ежегодно в Российской Федерации рождается от 3500 до 5000 детей с этим заболеванием, что создает серьезную медико-социальную проблему (Притыко А.Г. и соавт., 2000; Щербаков А.В. и соавт., 2019). Интерес к краниосиностозам неуклонно растет вследствие увеличения частоты диагностики и повышения уровня знаний о генетических причинах данной патологии (Лопатин С.А. и соавт., 2005; Назаренко Л.П. и соавт., 2019).

С современных позиций краниосиностоз представляет собой не просто преждевременное сращение черепных швов, приводящее к характерным деформациям черепа, но и комплексное патологическое состояние, в основе которого лежит концепция краниocereбральной диспропорции (Ларькин В.И. и соавт., 2003). Данное состояние отражает патологическое изменение пространственного соотношения интракраниальных структур (мозговой ткани, ликвора и крови) с последующим нарушением их функций, что в конечном итоге приводит к тяжелым неврологическим осложнениям, включая хроническую внутричерепную гипертензию, нарушение миелинизации, задержку психомоторного развития и даже атрофию зрительного нерва (Кульчиков А.Е. и соавт., 2015; Маматханов М.П. и соавт., 2023; Shakir S et al., 2022).

Патогенез осложнений связан с ограничением роста черепа в плоскости, перпендикулярной пораженному шву, и компенсаторным разрастанием вдоль остальных непораженных швов, что формирует характерные деформации (скафо-, тригоно-, плагио-, брахицефалию и др.) и создает условия для хронической компрессии мозга и нарушения церебральной гемодинамики (Жайлганов А.А. и соавт., 2020; Stanton E et al., 2022). Как показали результаты нашего исследования, наиболее выраженные нарушения церебральной перфузии отмечались при брахицефалии (снижение rCBF до 66,8% и rCBV до 66,1%), что свидетельствует о критическом нарушении кровоснабжения мозга при данной форме патологии.

Диагностика данной патологии требует комплексного подхода. Хотя диагноз часто устанавливается клинически на первом году жизни, лучевые методы обследования играют ключевую роль в подтверждении диагноза, оценке выраженности деформации, выявлении сопутствующих внутричерепных аномалий и планировании хирургического вмешательства (Harada A et al., 2019; Иванов В.П. и соавт., 2022). Современный диагностический алгоритм включает ультразвуковое исследование (нейросонографию) как безопасный метод первичного скрининга у младенцев через открытые роднички (DeFreitas CA et al., 2022; Щербаков А.В. и соавт., 2022). «Золотым стандартом» для оценки костных структур и подтверждения синостоза является МСКТ с 3D-реконструкцией, позволяющая с высокой точностью визуализировать состояние черепных швов и степень деформации (Озерова В.И. и соавт., 2009; Massimi L. et al., 2019).

Однако применение КТ ограничивается лучевой нагрузкой, что особенно актуально в педиатрической практике. В этом контексте активно разрабатываются и внедряются ультранизкодозные протоколы КТ со спектральными фильтрами и алгоритмами глубокого обучения, позволяющие снизить лучевую нагрузку на 90-95% (до 0,03-0,06 мЗв) при сохранении диагностической ценности (Lyoo Y., et al., 2023; Braniff C et al., 2025; Tao W et al., 2025). В нашем исследовании использовался современный 384-срезовы 2-х трубочный томограф, с усовершенствованными технологиями реконструкции изображений, который

позволяет выполнять исследования с высокой скоростью, тем самым снижая лучевую нагрузку, что особенно важно при обследовании детей раннего возраста.

MPT, уступая КТ в визуализации костных структур, является незаменимым методом для оценки состояния головного мозга, выявления сопутствующих аномалий (мальформация Киари, гидроцефалия, сирингомиелия) и последствий внутричерепной гипертензии без лучевой нагрузки (D'Amico A et al., 2022; Spazzapan P et al., 2024). Особое значение приобретают специальные методики МРТ, такие как диффузионно-тензорная томография (DTI), позволяющая выявлять микроструктурные изменения белого вещества, и перфузионные методики (ASL, DSC), направленные на оценку церебральной гемодинамики (Doerga PN Et al., 2019; de Planque CA et al., 2022; Hurth H et al., 2023).

Перспективной разработкой является импульсная последовательность «BlackBone» (BB), которая позволяет одновременно визуализировать костные структуры (аналогично 3D-КТ) и мягкие ткани мозга в рамках одного исследования, что открывает возможности для комплексной оценки без ионизирующего излучения (Saarikko A et al., 2020; Valeggia S et al., 2025). В нашем исследовании мы использовали стандартизированный протокол МРТ, дополненный динамической контрастной T2*-перфузией (DSC-перфузия), что позволило получить уникальные данные о состоянии церебральной гемодинамики у детей с краниосиностозами.

Таким образом, современная диагностика краниосиностозов эволюционирует от оценки исключительно морфологических изменений костей черепа к комплексному анализу, интегрирующему данные о структурных деформациях и функциональных нарушениях церебральной гемодинамики и метаболизма. Такой подход позволяет не только верифицировать диагноз, но и выявлять доклинические, функциональные нарушения, что крайне важно для определения оптимальных сроков хирургического вмешательства и улучшения долгосрочных неврологических и когнитивных исходов.

Проведенное исследование было направлено на достижение основной цели - улучшение диагностики структурных и перфузионных изменений головного

мозга и их прогнозирование у детей с краниосиностозами путем комплексного применения лучевых методов нейровизуализации.

В исследовании приняли участие 51 пациент в возрасте от 3 до 96 месяцев (средний возраст $18,82 \pm 19,3$ месяца), распределенных по семи группам в зависимости от типа краниосиностоза: скафоцефалия ($n=11$), тригоноцефалия ($n=13$), оксипцефалия ($n=3$), передняя плагиоцефалия ($n=10$), брахицефалия ($n=3$), задняя плагиоцефалия ($n=3$) и комбинированные формы ($n=8$).

Все пациенты прошли комплексное обследование, включавшее КТ с 3D-реконструкцией на аппарате Somatom Definition Force (384 среза, две рентгеновские трубки) и МРТ на аппарате 1,5 Тл с выполнением динамической контрастной T2*-МР-перфузии (DSC-перфузия).

Протокол исследования включал оценку четырех морфометрических параметров по данным КТ (ЦИ, ИАСЧ, ФУ, ФС) и четырех перфузионных показателей по данным динамической контрастной T2*-МР-перфузии (rCBF, rCBV, rMTT, rTTP).

Результаты исследования продемонстрировали высокую диагностическую ценность разработанного алгоритма. Анализ морфометрических параметров выявил характерные изменения для каждого типа краниосиностоза: максимальные значения ЦИ при брахицефалии ($118,0 \pm 4,58\%$) и минимальные при скафоцефалии ($63,18 \pm 3,19\%$), наиболее выраженное повышение ИАСЧ при задней плагиоцефалии ($12,38 \pm 1,05\%$) и комбинированных формах ($9,22 \pm 2,63\%$).

К аналогичным выводами в своем исследовании Kronig ODM et al., 2020 приходят авторы, которые также подчеркивают важность более подробного алгоритма описания степени деформации черепа при краниосиностозах. Данное исследование представило принципиально новый метод классификации деформаций черепа при краниосиностозе, основанный на объективном анализе формы черепа, по данным 3D-морфометрии, которое требует дополнительного программного обеспечения, в отличие от предложенного нами алгоритма. Исследование включало создание синусоидальных кривых из контуров черепа, полученных с КТ-сканов 25 пациентов с различными типами краниосиностоза и 5

детей контрольной группы, с использованием специального программного обеспечения и внешних анатомических ориентиров. Результаты продемонстрировали высокую воспроизводимость метода и выявили уникальные паттерны кривых для каждой деформации: при скафоцефалии наблюдались самые низкие значения ширины, при брахицефалии — наибольшее соотношение ширины к высоте лба, а при плагиоцефалии — характерное смещение лобного пика в сторону, противоположную поражению. Основные выводы авторов заключаются в том, что каждая форма краниосиностоза имеет уникальный «криволинейный отпечаток», а предложенная методика превосходит традиционные индексы своей универсальностью и объективностью. В заключении подчеркивается, что этот метод открывает путь для неинвазивной диагностики с помощью 3D-фотограмметрии, что позволит в будущем избежать лучевой нагрузки при наблюдении за пациентами и оценке результатов лечения.

После хирургического лечения отмечено статистически значимое улучшение всех морфометрических показателей: увеличение ЦИ в группах скафоцефалии (с 63,18% до 75,45%, $p < 0,0001$) и задней плагиоцефалии (с 83,33% до 79,00%, $p < 0,0001$); улучшение ИАСЧ в группах тригоноцефалии (с 4,33% до 2,78%, $p < 0,001$), передней плагиоцефалии (с 4,90% до 2,69%, $p < 0,0001$) и комбинированного синостоза (с 9,22% до 4,26%, $p < 0,0001$); коррекция ФС в группах тригоноцефалии (с 1,36 до 1,16, $p < 0,0001$) и комбинированного синостоза (с 1,23 до 1,12, $p < 0,01$).

Схожие результаты были получены в исследовании Fischer S et al., 2021, в которого авторы поставили перед собой цель проанализировать динамику внутричерепного объема (ВЧО) и цефалического индекса (ЦИ) у пациентов с сагиттальным краниосиностозом, перенесших краниотомию в сочетании с установкой двух или трех пружин. Материалы и методы исследования включали анализ данных 112 пациентов с изолированной формой заболевания, которые прошли полный курс лечения в период с 2008 по 2017 год. Для объективной оценки всем пациентам проводили компьютерно-томографическое обследование на трех ключевых этапах: до операции, в момент удаления пружин и по

достижении трехлетнего возраста. Внутрочерепной объем измерялся с помощью полуавтоматической программы MATLAB, а цефалический индекс рассчитывался как соотношение ширины черепа к его длине. Результаты продемонстрировали значительный рост обоих показателей после хирургического вмешательства. В группе с двумя пружинами ВЧО увеличился с 792 ± 113 мл до 1298 ± 181 мл, а ЦИ — с $72,1 \pm 4,1\%$ до $74,6 \pm 4,3\%$. Аналогичная положительная динамика была зафиксирована и в группе с тремя пружинами: ВЧО возрос с 779 ± 128 мл до 1283 ± 136 мл, а ЦИ — с $70,7 \pm 4,3\%$ до $74,8 \pm 3,7\%$. Несмотря на то что относительный прирост ВЧО между группами не имел статистически значимых различий, ключевое различие выявилось в изменении цефалического индекса. Его относительный прирост в группе с тремя пружинами составил $6,0 \pm 5,0\%$, что достоверно превышало показатель $3,6 \pm 3,3\%$ в группе с двумя пружинами. На основании полученных данных авторы пришли к выводу, что использование трех пружин обеспечивает более выраженную коррекцию формы черепа, количественно определяемую по цефалическому индексу, по сравнению с двумя пружинами. Важно, что этот достигнутый эффект надежно сохранялся у пациентов до трехлетнего возраста, что подчеркивает долгосрочную эффективность методики. Таким образом, исследование наглядно показывает, что модификация хирургической техники позволяет оптимизировать эстетические и функциональные результаты лечения.

Особый интерес представляют результаты оценки церебральной перфузии. До операции выявлено значимое снижение rCBF и rCBV во всех группах, наиболее выраженное при брахицефалии ($66,80 \pm 4,96\%$ и $66,10 \pm 6,32\%$ соответственно), а также повышение rMTT и rTTP, указывающее на замедление церебральной гемодинамики.

Схожие результаты были получены в исследовании Caudron, Y. et al., 2019, однако с некоторыми различиями. В исследовании проверялась гипотеза о том, что изолированная краниосиностоз может влиять на церебральную перфузию. Для ее оценки, в отличие от нашего исследования, использовалась методика MPT с артериальной спиновой маркировкой (ASL). В исследование было включено 70

пациентов, разделенных на 7 групп по типу синостоза и возрасту (скафоцефалия в трех возрастных категориях, лево- и правосторонняя плагиоцефалия и контрольные группы), с измерением кровотока в различных областях мозга. Результаты выявили специфические нарушения: у пациентов с сагиттальным синостозом младше 6 месяцев была обнаружена значительная гипоперфузия в затылочной области по сравнению с контрольной группой, а также дисбаланс между сниженной затылочной и нормальной лобной перфузией. У детей старше 6 месяцев с этим же диагнозом снижение затылочного кровотока сохранялось, но только с правой стороны. Однако в нашем исследовании, с использованием методики динамической контрастной T2*-МР-перфузии, было выявлено снижение данных показателей именно в лобных долях, относительно теменно-затылочных областей. При плагиоцефалии, в отличие от нашего исследования, авторами не было выявлено различий в перфузии между компримированной и интактной долей головного мозга, однако наблюдались сложные паттерны различий между долями. Основные выводы, сделанные авторами, заключаются в том, что преждевременное сращение швов действительно влияет на мозговой кровоток. Авторы приходят к заключению, что влияние одностороннего коронарного синостоза требует дальнейшего изучения, и для оценки реальной пользы хирургического вмешательства необходимо проведение дополнительных исследований, сравнивающих перфузию до и после операции.

В нашем исследовании, после оперативного лечения зафиксирована достоверная нормализация перфузионных параметров: rCBF увеличился на 18,02% (95% ДИ: 15,89-20,15, $p < 0,001$), rCBV на 15,30% (95% ДИ: 14,30-19,65, $p < 0,001$), rMTT снизился на 7,30% (95% ДИ: -9,35 до -6,05, $p < 0,001$), rTTP снизился на 3,90% (95% ДИ: -7,95 до -3,65, $p < 0,001$). Наибольшее улучшение отмечено в группах передней плагиоцефалии (rCBF с 82,06% до 95,17%, $p < 0,0001$), скафоцефалии (rCBF с 72,70% до 93,05%, $p < 0,0001$) и комбинированного синостоза (rCBF с 77,71% до 93,44%, $p < 0,0001$).

При сравнении с данными литературы следует отметить, что в исследовании Barik M. et al. 2014., авторы применяли ОФЭКТ с ^{99m}Tc -ECD для

оценки перфузии у 85 пациентов с краниосиностозами. Авторы выявили региональные перфузионные нарушения в 89% случаев, соответствующие зонам пораженных швов. После хирургического лечения отмечено полное восстановление перфузии в 78% случаев, что соотносится с результатами нашего исследования. Важным выводом стало установление корреляции между нормализацией перфузии и улучшением показателей умственного развития: у пациентов с восстановленной перфузией средний показатель MPQ увеличился на 18,7 пункта ($p < 0,05$). Однако метод имел ограничения в виде лучевой нагрузки (2,5-3,0 мЗв) и ограниченного пространственного разрешения (8-10 мм), которых нет при использовании динамической контрастной T2*-MP-перфузии.

В исследовании Doerga P.N. et al., 2019 с применением ASL-перфузии у 76 пациентов с синдромальными краниосиностозами выявлено снижение CBF на 25-40% у неоперированных пациентов младше 1 года. После операции отмечено увеличение CBF на 15-30% ($p < 0,01$). Особый интерес представляет обнаружение смещения возрастного пика CBF с 4 лет у здоровых детей на 5-6 лет у пациентов с краниосиностозами. Авторы связывают это с нарушением процессов созревания цереброваскулярной системы. Метод ASL-перфузии, будучи полностью неинвазивным, ограничен оценкой только одного параметра – CBF, в отличие от выбранной нами методики динамической контрастной T2*-MP-перфузии.

Аналогичные результаты были получены в исследовании Hurth H et al., 2023, которое было направлено на изучение внутричерепного давления (ВЧД), церебральной ауторегуляции (CAR) и перфузии мозга у детей с несиндромальным краниосиностозом во время первичного хирургического вмешательства. В исследование было включено 43 ребенка, которым проводили интраоперационное измерение среднего артериального давления, ВЧД и мозгового кровотока до и после декомпрессии черепа. Ауторегуляция оценивалась с помощью индекса реактивности давления (PRx). Результаты показали, что повышенное ВЧД (> 15 мм рт. ст.) было обнаружено у большинства пациентов с сагиттальным синостозом (20 из 26), а его средний уровень был достоверно выше, чем при

метопическом или коронарном синостозе. После декомпрессии ВЧД значительно снизилось, а церебральный кровоток и скорость кровотока увеличились.

Наше исследование, в отличие от указанных работ, охватило больший спектр видов краниосиностозов и применило комплексный подход, сочетающий количественную КТ-морфометрию с многопараметрической оценкой перфузии.

Проведенный корреляционный анализ выявил крайне важную закономерность: между изменениями морфометрических и перфузионных показателей не обнаружено значимых прямых корреляций при анализе всей выборки ($p > 0,05$). Это свидетельствует о том, что улучшение церебральной гемодинамики после операции опосредовано не столько механическим устранением деформации, сколько сложными нейроваскулярными взаимодействиями, включая нормализацию венозного оттока и внутричерепного давления.

Однако стратификация данных по типам синостозов выявила специфические взаимосвязи, наиболее выраженные в группе передней плагиоцефалии, где обнаружена сильная корреляция между динамикой $rCBF$ и ФС ($r = 0,793$, $p = 0,006$). Это указывает на то, что при определенных типах краниосиностозов существуют тесные взаимосвязи между структурными изменениями и нарушениями гемодинамики.

Метод главных компонент (РСА) подтвердил разделение переменных на два независимых кластера: морфометрические (ЦИ, ФУ) и перфузионные ($rCBF$, $rCBV$) показатели, что дополнительно обосновывает необходимость комплексной оценки как структурных, так и функциональных параметров. Линейный дискриминантный анализ продемонстрировал хорошую разделительную способность предложенного набора параметров для дифференциации различных типов краниосиностозов, что имеет важное значение для разработки алгоритмов автоматизированной диагностики.

Новизна нашего подхода заключается в разработке унифицированного алгоритма, позволяющего одновременно оценивать как структурные изменения черепа, так и функциональные нарушения церебральной гемодинамики. Это

особенно важно для выявления доклинических нарушений и объективной оценки эффективности лечения. Полученные данные свидетельствуют о том, что даже при незначительных морфологических изменениях могут наблюдаться выраженные нарушения перфузии, что подчеркивает необходимость комплексного подхода к диагностике краниосиностозов.

Ограничением нашего исследования является относительно небольшой размер выборки в некоторых группах (особенно брахицефалия и задняя плагиоцефалия по 3 пациента), что могло повлиять на достижение статистической значимости в отдельных подгруппах. Однако даже при таком объеме выборки были получены статистически значимые результаты, подтверждающие эффективность разработанного подхода.

Разработанный унифицированный алгоритм КТ-морфометрии позволил стандартизировать оценку типа и выраженности деформации черепа. Полученные данные выявили характерные паттерны для каждой группы: максимальные значения ЦИ в группе брахицефалии (118,0%) и минимальные - при скафоцефалии (63,18%), что полностью соответствует известным клиническим характеристикам данных деформаций.

При этом анализ индекса асимметрии свода черепа (ИАСЧ) показал наиболее выраженные изменения при задней плагиоцефалии (12,38%) и комбинированных формах (9,22%), что отражает сложный характер деформаций при этих типах патологии.

Важнейшим выводом исследования является демонстрация комплексного положительного эффекта хирургического лечения, которое привело не только к ожидаемой коррекции костных деформаций, но и к значительной нормализации показателей церебральной перфузии. Статистически значимое улучшение морфометрических параметров наблюдалось в группах скафоцефалии и задней плагиоцефалии по ЦИ ($p < 0,000,1$), в группах тригоноцефалии, передней плагиоцефалии, скафоцефалии и комбинированного синостоза по ИАСЧ ($p < 0,000,1$), а также в группах тригоноцефалии, скафоцефалии и комбинированного синостоза по ФС ($p < 0,000,1$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе развития медицинской науки традиционная диагностика краниосиностозов, основанная преимущественно на оценке костных деформаций, является недостаточной для полного понимания патофизиологии, которая включает развитие краниоцеребральной диспропорции и нарушение церебральной гемодинамики. Многочисленные исследования последних лет подтверждают, что дети с краниосиностозами находятся в группе риска по развитию осложнений, сопровождающие данное состояние (развитие внутричерепной гипертензии, неврологических, офтальмологических и других нарушений), что требует не только морфологической, но и функциональной оценки состояния головного мозга. В связи с этим в литературе появляются работы, обосновывающие необходимость комплексного подхода к диагностике, сочетающего оценку как структурных, так и функциональных параметров, поскольку изолированная оценка костных изменений не позволяет в полной мере судить о наличии и степени выраженности гемодинамических нарушений.

Целью данного исследования явилось улучшение диагностики структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами до и после хирургической коррекции путем комплексного применения рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии. Актуальность данной цели обусловлена необходимостью разработки объективных критериев оценки эффективности хирургического лечения и выявления предикторов неблагоприятных неврологических исходов.

Было выполнено комплексное лучевое обследование 51 пациента с различными формами краниосиностозов до и после хирургического лечения, включавшее КТ-морфометрию и динамическую контрастную T2*-МР-перфузию (DSC-перфузию). Все пациенты были разделены на группы согласно типу синостоза: скафоцефалия (С, n=11), тригоноцефалия (Т, n=13), оксифефалия (О, n=3), передняя плагиоцефалия (ПП, n=10), брахицефалия (Б, n=3), задняя плагиоцефалия (ЗП, n=3) и комбинированный синостоз (К, n=8). Такое разделение

позволило в дальнейшем выявить специфические морфометрические и перфузионные паттерны, характерные для каждого типа деформации.

В ходе анализа КТ-изображений производились измерения ключевых морфометрических показателей: цефалического индекса (ЦИ), индекса асимметрии свода черепа (ИАСЧ), фронтального угла (ФУ) и фронтального стеноза (ФС). Дооперационный анализ выявил характерные изменения: наиболее низкий ЦИ отмечен при скафоцефалии ($63,18 \pm 3,19\%$), наиболее высокий — при брахицефалии ($118,00 \pm 4,58\%$), а самые высокие показатели индекса асимметрии свода черепа зафиксированы при задней плагиоцефалии ($12,38 \pm 1,05\%$) и комбинированных формах краниосиностозов ($9,22 \pm 2,63\%$). При обработке данных МР-перфузии оценивались относительные показатели скорости мозгового кровотока (rCBF), объема мозгового кровотока (rCBV), среднего времени транзита (rMTT) и времени до пика (rTTP) в зонах максимальной компрессии мозга относительно интактных отделов. Дооперационные перфузионные исследования выявили снижение скорости и объема мозгового кровотока во всех группах, наиболее выраженное при брахицефалии и задней плагиоцефалии, с одновременным увеличением времени транзита и времени до пика в некоторых группах.

Был проведен сравнительный анализ полученных данных в исследуемых группах до и после оперативного лечения, статистический анализ взаимосвязи между морфометрическими и перфузионными показателями, а также многомерный статистический анализ с применением метода главных компонент (PCA) и линейного дискриминантного анализа (LDA).

Результаты диссертационной работы не только не противоречат опубликованным ранее мировым исследованиям, но также являются новыми в своем роде. Разработан и внедрен в клиническую практику унифицированный алгоритм комплексной лучевой диагностики краниосиностозов, впервые в отечественной практике сочетающий количественную КТ-морфометрию и динамическую контрастную МР-перфузию. Усовершенствованы протоколы лучевой диагностики: для КТ - стандартизированный алгоритм измерений

ключевых морфометрических параметров; для МРТ - протокол динамической контрастной T2*-перфузии со стандартизированной постобработкой и расчетом относительных перфузионных показателей.

При проведении сравнительного анализа данных до и после оперативного лечения выявлена высокая эффективность хирургической коррекции, которая привела не только к ожидаемому улучшению морфометрических параметров, но и к значительной нормализации показателей церебральной перфузии. Статистически значимое улучшение морфометрических показателей отмечено: по ЦИ — в группах скафоцефалии и задней плагиоцефалии, по ИАСЧ — в группах тригоноцефалии, передней плагиоцефалии, скафоцефалии и комбинированных форм, по ФС — в группах тригоноцефалии, скафоцефалии и комбинированных форм. Наиболее выраженная положительная динамика перфузионных параметров наблюдалась в отношении rCBF и rCBV, которые достоверно увеличились, а rMTT и rTTP снизились практически во всех группах, приблизившись к нормальным значениям. Сравнительный анализ 51 пациента без разделения на группы подтвердил высокую эффективность оперативного лечения с крупным размером эффекта по большинству параметров: прирост rCBF составил +18,02%, rCBV +15,30%, при значимом снижении показателей асимметрии черепа. Важно отметить, что во всех группах зафиксировано снижение стандартного отклонения послеоперационных показателей, что свидетельствует о достижении более стабильных и однородных результатов лечения.

Важнейшим результатом исследования стало выявление отсутствия значимых прямых корреляций между изменениями морфометрических и перфузионных показателей при анализе всей выборки, что свидетельствует о сложном характере взаимосвязи структурных и функциональных изменений. Однако стратификация данных по типам синостозов выявила специфические взаимосвязи, наиболее выраженные в группе передней плагиоцефалии, где обнаружена сильная корреляция между динамикой rCBF и ФС ($r=0,793$, $p=0,006$). В группах с комбинированными краниосиностозами и скафоцефалией подтверждена сильная физиологическая корреляция между динамикой rCBF и

rCBV ($p=0,755-0,810$). Метод главных компонент подтвердил разделение переменных на два независимых кластера: морфометрические и перфузионные показатели, что дополнительно обосновывает необходимость комплексной оценки как структурных, так и функциональных параметров. Линейный дискриминантный анализ продемонстрировал хорошую разделительную способность предложенного набора параметров для дифференциации различных типов краниосиностозов.

Метод главных компонент (PCA) подтвердил разделение переменных на два независимых кластера: морфометрические (ЦИ, ФУ) и перфузионные (rCBF, rCBV) показатели, что дополнительно обосновывает необходимость комплексной оценки как структурных, так и функциональных параметров. Линейный дискриминантный анализ продемонстрировал хорошую разделительную способность предложенного набора параметров для дифференциации различных типов краниосиностозов.

Таким образом, в результате проведенного научного исследования разработан и внедрен в клиническую практику комплексный алгоритм лучевой диагностики краниосиностозов, сочетающий КТ-морфометрию и МР-перфузию; выявлены характерные морфометрические и перфузионные паттерны для различных типов краниосиностозов; доказана высокая эффективность хирургического лечения в плане нормализации как анатомических параметров черепа, так и показателей церебральной гемодинамики; установлены сложные взаимоотношения между морфометрическими и перфузионными изменениями.

Полученные данные позволяют повысить безопасность и эффективность лечения детей с краниосиностозами за счет раннего выявления групп риска по развитию неврологических осложнений, объективной оценки эффективности хирургического лечения и разработки персонализированного подхода к ведению данной категории пациентов. Комплексное использование современных методов нейровизуализации обеспечивает получение принципиально новой информации о состоянии церебральной гемодинамики при краниосиностозах, открывая новые возможности для оптимизации диагностики и лечения. Перспективным

направлением дальнейших исследований представляется разработка прогностических моделей на основе методов машинного обучения, которые позволят на основании исходных морфометрических и перфузионных параметров прогнозировать эффективность хирургического лечения и риск развития послеоперационных осложнений.

ВЫВОДЫ

1. Разработанный унифицированный алгоритм КТ-морфометрии позволил объективно оценить и дифференцировать степень деформации черепа: наиболее тяжелые нарушения формы (по показателям цефалического индекса и фронтального стеноза) выявлены при скафоцефалии и брахицефалии, индекс асимметрии свода черепа с очень тяжелой степенью деформации (12,38%) зафиксирована при задней плагиоцефалии. Послеоперационная КТ продемонстрировала статистически значимую положительную динамику структурных изменений: увеличение цефалического индекса в группах скафоцефалии (с 63,18% до 75,45%, $p < 0,0001$) и задней плагиоцефалии (с 83,33% до 79,00%, $p < 0,0001$); улучшение индекса асимметрии свода черепа в группах тригоноцефалии (с 4,33% до 2,78%, $p < 0,001$), передней плагиоцефалии (с 4,90% до 2,69%, $p < 0,0001$) и комбинированного синостоза (с 9,22% до 4,26%, $p < 0,0001$); коррекцию фронтального стеноза в группах тригоноцефалии (с 1,36 до 1,16, $p < 0,0001$) и комбинированного синостоза (с 1,23 до 1,12, $p < 0,01$).

2. При применении динамической контрастной T2*-МР-перфузии до операции определено значимое снижение относительных показателей rCBF и rCBV во всех группах, наиболее выраженное при брахицефалии ($66,80 \pm 4,96\%$ и $66,10 \pm 6,32\%$ соответственно), а также повышение rMTT и rTTP. После операции выявлена достоверная нормализация перфузионных параметров: rCBF увеличился на 18,02% (95% ДИ: 15,89-20,15, $p < 0,001$), rCBV на 15,30% (95% ДИ: 14,30-19,65, $p < 0,001$), rMTT снизился на 7,30% (95% ДИ: -9,35 до -6,05, $p < 0,001$), rTTP снизился на 3,90% (95% ДИ: -7,95 до -3,65, $p < 0,001$).

3. Ключевыми нейровизуализационными маркерами тяжести нарушения мозгового кровотока являются количественные параметры динамической контрастной T2*-МР-перфузии: до операции у всех пациентов наблюдалось значимое снижение относительной скорости мозгового кровотока (rCBF) и объема мозгового кровотока (rCBV), а также повышение среднего времени транзита (rMTT) и времени до пика (rTTP). Наибольшая тяжесть нарушений была

маркирована в группе с брахицефалией (значения $rCBF$ и $rCBV$ составляли всего $66,80 \pm 4,96\%$ и $66,10 \pm 6,32\%$ от нормы, соответственно). После операции определено значимое улучшение $rCBF$ в группах передней плагиоцефалии (с $82,06\%$ до $95,17\%$, $p < 0,0001$), скафоцефалии (с $72,70\%$ до $93,05\%$, $p < 0,0001$) и комбинированного синостоза (с $77,71\%$ до $93,44\%$, $p < 0,0001$).

4. Комплексное применение КТ и МРТ позволило установить отсутствие значимых прямых корреляций между изменениями морфометрических и перфузионных показателей при анализе всей выборки ($p > 0,05$), что свидетельствует об относительной независимости этих процессов. Однако стратификация данных по типам синостозов выявила специфические взаимосвязи: сильную корреляцию между динамикой $rCBF$ и ФС в группе передней плагиоцефалии ($r = 0,793$, $p = 0,006$) и умеренные корреляции в других группах ($p < 0,009 - 0,049$). Это доказывает целесообразность комплексного подхода: КТ-морфометрия точно оценивает анатомический результат (коррекцию формы черепа), в то время как перфузионная МРТ объективно оценивает функциональный результат на уровне восстановления церебрального кровотока.

5. На основе комплексного анализа результатов исследования был разработан и внедрен в клиническую практику оптимальный пошаговый алгоритм применения методов лучевой диагностики у детей с краниосиностозами, включающий КТ и МРТ, с применением методик КТ-морфометрии и динамической контрастной $T2^*$ -МР-перфузии на до- и послеоперационном этапе, для интегральной оценки результатов морфометрических и перфузионных показателей, и результатов оперативного лечения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанный алгоритм, включающий комплексный протокол лучевой диагностики краниосиностозов целесообразно внедрить в работу специализированных отделений детской нейрохирургии и лучевой диагностики многопрофильных стационаров, имеющих в своем составе современные компьютерные и магнитно-резонансные томографы.

2. Для объективной количественной оценки степени деформации черепа рекомендуется использовать разработанный унифицированный алгоритм КТ-морфометрии с расчетом четырех ключевых показателей: цефалического индекса (ЦИ), индекса асимметрии свода черепа (ИАСЧ), фронтального угла (ФУ) и фронтального стеноза (ФС). Данный подход позволяет стандартизировать оценку и мониторинг эффективности хирургического лечения.

3. Для оценки церебральной гемодинамики и выявления скрытых перфузионных нарушений целесообразно включить в стандартный протокол МРТ динамической контрастной T2*-перфузии с последующим расчетом относительных показателей (rCBF, rCBV, rMTT, rTTP) в зонах максимальной компрессии мозга относительно интактных отделов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективным представляется изучение корреляции перфузионных параметров с показателями внутричерепного давления и отдаленными нейрокогнитивными исходами для разработки прогностических моделей.

Особое внимание следует уделить разработке автоматизированных алгоритмов обработки данных на основе машинного обучения для интеграции морфометрических и перфузионных показателей в единый диагностический комплекс.

Перспективным направлением является также изучение церебральной гемодинамики с применением функциональной МРТ в состоянии покоя для оценки функциональной связности мозга до и после операции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВИ – взвешенные изображения

ВЧГ – внутричерепная гипертензия

ВЧД – внутричерепное давление

ДВИ – диффузионно-взвешенные изображения

ИАСЧ – индекс асимметрии свода черепа

КТ – компьютерная томография

МИ – метопический индекс

МР – магнитно-резонансный (ая, ое, ые)

МРТ – магнитно-резонансная томография

T1-ВИ – T1-взвешанные изображения

T2-ВИ – T2-взвешанные изображения

УЗИ – ультразвуковое исследование

фМРТ – функциональная МРТ

фМРТп – функциональная МРТ покоя

фМРТс – стимул-зависимая функциональная МРТ

ФС – фронтальный стеноз

ФУ – фронтальный угол

ЦИ – цефалический индекс

3D – трехмерный

CBF – cerebral blood flow (скорость мозгового кровотока)

CBV – cerebral blood volume (объема мозгового кровотока)

DTI – диффузионно-тензорная томография

HU – единиц Хаунсфилда

MPR (МПП) – Multiplanar reformation (мультипланарная реконструкция)

MTT – mean transit time (среднее время транзита)

SSD – Shaded Surface Display (отображение оттененных поверхностей)

TIRM – Turbo inversion recovery magnitude (импульсная последовательность инверсия восстановления)

TTP – Time to peak (время до пика)

VRT – Volume Rendering Technique (техника объемной визуализации)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные вопросы диагностики и хирургического лечения детей с краниосиностозами / В. В. Рогинский, В. А. Хачатрян, Л. А. Сатанин [и др.] // Нейрохирургия и неврология детского возраста. – 2019. – Т. 59, № 1. – С. 56-74.
2. Анализ маркеров системного воспаления у детей с краниосиностозами после хирургического лечения / Б. А. Баширян, О. А. Гаджиева, Л. А. Сатанин [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2025. – № 1. – С. 22-25.
3. Арахноидальные кисты головного мозга и эпилепсия / М. Р. Маматханов, К. Э. Лебедев, М. С. Николаенко, Н. К. Самочерных // Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 108-116.
4. Бородина, К. М. Краниосиностоз / К. М. Бородина, К. А. Корельская // Интегративные тенденции в медицине и образовании. – 2022. – Т. 4. – С. 27-33.
5. Влияние севофлурана и пропофола на уровни ядерной ДНК и митохондриальной ДНК в плазме крови у детей с краниосиностозом / В. И. Гурская, И. Ма, Д. Д. Паншин [и др.] // Анестезиология и реаниматология (Медиа Сфера). – 2024. – № 6. – С. 55-62.
6. Возможности метода бесконтрастной перфузионной МРТ в количественной оценке изменений церебрального кровотока / В. В. Попов, Ю. А. Станкевич, О. Б. Богомякова, А. А. Тулупов // Сибирский научный медицинский журнал. – 2024. – Т. 44, № 6. – С. 210-217.
7. Гаибов, С. С. Х. Морфометрический анализ структур черепа по данным компьютерной томографии у детей в норме и при долихоцефалии / С. С. Х. Гаибов, Е. В. Захарчук, Д. П. Воробьев // Сибирский научный медицинский журнал. – 2023. – Т. 43, № 4. – С. 65-69.
8. Детская нейрохирургия : Национальное руководство / К. Б. Абрамов, М. В. Александров, Т. Б. Базархандаева [и др.] ; под редакцией К. А. Самочерных. – Санкт-Петербург : ПЗР, 2024. – 576 с.

9. Джанджгава, Н. Н. Возможности ультразвукового метода в диагностике краниосиностозов у детей первого года жизни [Электронный ресурс] / Н. Н. Джанджгава, А. Б. Сугак, Е. А. Филиппова [и др.] // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2021. – Т. 66, № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ultrazvukovogo-metoda-v-diagnostike-kraniosinostozov-u-detey-pervogo-goda-zhizni>

10. Диагностика и лечение сагиттального краниосиностоза у детей старше 2 лет / Д. А. Решиков, А. В. Лопатин, А. А. Холин [и др.] // Голова и шея. Российский журнал = Head and neck. Russian Journal. – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 10–19.

11. Диагностика и оценка эффективности хирургических методик лечения несиндромальных изолированных краниосиностозов у детей старше 2 лет на примере скафоцефалии и лобной плагиоцефалии / Д. А. Решиков, А. В. Лопатин, С. А. Ясонов [и др.] // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2023. – Т. 102, № 6. – С. 19-27.

12. Динамика гормональных и биохимических маркеров стресс-ответа при реконструктивных операциях у детей с краниосиностозами / Б. А. Баширян, Л. А. Сатанин, О. А. Гаджиева [и др.] // Российский нейрохирургический журнал имени профессора А.Л. Поленова. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 119-129.

13. История и перспективы развития магнитно-резонансной томографии [Электронный ресурс] / М. Р. Мадиева, Д. Т. Раисов, А. Г. Куанышева [и др.] // Наука и здравоохранение. – 2018. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-i-perspektivy-razvitiya-magnitno-rezonansnoy-tomografii>

14. К вопросу о генезе дыхательных нарушений во сне у детей с синдромальными краниосиностозами: сравнительный анализ данных полиграфического исследования и компьютерной морфометрии / Л. А. Сатанин, В. В. Алтунин, А. А. Евтеев, В. В. Рогинский // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 84-94.

15. Клинико-генетические характеристики первого российского пациента с синдромом Бира-Стивенсона, обусловленного мутацией в гене FGFR2 / Д. В. Осипова, Т. В. Маркова, Г. Н. Матющенко [и др.] // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. – 2022. – Т. 101, № 2. – С. 158-163.
16. Клиническая картина несиндромальных краниосиностозов у детей раннего возраста / А. А. Суфианов, С. С-х. Гаибов, Р. А. Суфианов, Н. Е. Иванова // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. – 2015. – Т. 115, № 8. – С. 18-22.
17. Кодзоева, Л. А. Эффективность современных терапевтических подходов при лечении амблиопии у детей: анализ клинических исследований [Электронный ресурс] / Л. А. Кодзоева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2024. – Т. 93, № 6-4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-sovremennyh-terapevticheskikh-podhodov-pri-lechenii-ambliopii-u-detey-analiz-klinicheskikh-issledovaniy>
18. Концентрация остеокальцина в сыворотке крови детей с краниосиностозами / А. В. Щербаков, Ю. Ф. Сташко, С. А. Ким [и др.] // Детская хирургия. – 2024. – Т. 28, № 2. – С. 143-150.
19. Кочина, М. Л. Концепция формирования зрительной системы детей и подростков под влиянием визуальной нагрузки [Электронный ресурс] / М. Л. Кочина, А. В. Яворский // Вісник проблем біології і медицини. – 2013. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-formirovaniya-zritelnoy-sistemy-detey-i-podrostkov-pod-vliyaniem-vizualnoy-nagruzki>
20. Краниосиностоз. Опыт лечения на базе одной клиники [Электронный ресурс] / А. А. Жайлганов, М. Р. Рабандияров, Е. К. Дюсембеков [и др.] // Нейрохирургия и неврология Казахстана. – 2020. – № 1 (58). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kraniosinostoz-opyt-lecheniya-na-baze-odnoy-kliniki>
21. Краниocereбральная диспропорция у детей с краниосиностозами / В. П. Иванов, С. В. Трущелева, А. П. Герасимов [и др.] // Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 9-21.

22. Крючкова, Т. А. Клинический случай синдрома Пфайффера у ребенка раннего возраста [Электронный ресурс] / Т. А. Крючкова, Л. Г. Агаркова // Актуальные проблемы медицины. – 2015. – Т. 213, № 16. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klinicheskiy-sluchay-sindroma-pfayffera-u-rebenka-rannego-vozrasta>.
23. Курмаева, Е. А. Краниосиностоз в практике участкового педиатра / Е. А. Курмаева, Г. А. Кулакова, Н. А. Соловьева // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2019. – Т. 64, № 2. – С. 100-101.
24. Ларькин, В. И. Кранио-церебральная диспропорция у детей и возможности ее хирургической коррекции [Электронный ресурс] / В. И. Ларькин, И. И. Ларькин, В. П. Аттюшенко // Омский научный вестник. – 2003. – Т. 23, № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kranio-tserebralnaya-disproportsiya-u-detey-i-vozmozhnosti-ee-hirurgicheskoy-korreksii>
25. Магнитно-резонансная томография при гипоксически-ишемических поражениях мозга у новорожденных: эволюция взглядов и перспективы развития / П. А. Романов, П. Л. Соколов, А. Г. Притыко, Н. В. Чебаненко // Доктор.Ру. – 2023. – Т. 22, № 3. – С. 51-55.
26. Осложнения периоперационного периода в хирургии краниосиностоза у детей: систематический обзор и метаанализ / Б. А. Баширян, Л. А. Сатанин, О. А. Гаджиева [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2025. – Т. 89, № 3. – С. 114-121.
27. Особенности нейрохирургической тактики у ребенка с GM1-ганглиозидозом 1 типа (клинический случай) / Л. М. Щугарева, О. В. Потешкина, В. Д. Петрова [и др.] // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 139-144.
28. Патология мозгового кровообращения при краниоцеребральной диспропорции, обусловленной пневмоцефалией / А. Е. Кульчиков, Е. А. Гриненко, В. К. Емельянов, С. Г. Морозов // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2015. – Т. 59, № 1. – С. 54–58.

29. Пренатальная ультразвуковая диагностика краниосиностозов: проблемы и возможности на примере клинического наблюдения / И. В. Климова, М. Н. Шакая, Е. Б. Ефимова [и др.] // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2025. – Т. 31, № 1. – С. 24-36.

30. Применение методов 3D моделирования и 3D печати в предоперационном планировании краниопластики и предоперационном персонифицированном тренинге при лечении краниосиностозов / А. А. Суфианов, А. М. Машкин, Ю. А. Якимов [и др.] // Виртуальные технологии в медицине. – 2022. – Т. 34, № 4. – С. 280-284.

31. Притыко, А. Г. Комплексное лечение и реабилитация детей с врожденной краниофациальной патологией / А. Г. Притыко, В. А. Бельченко, Л. А. Каурова // Передовые технологии медицины на стыке веков. – Москва, 2000.

32. Проспективная оценка выраженности хирургического стресс-ответа у пациентов с краниосиностозами: сопоставление клинических и лабораторных данных / Б. А. Баширян, О. А. Гаджиева, Л. А. Сатанин [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2024. – Т. 88, № 4. – С. 62-70.

33. Проспективный анализ динамики лабораторных маркеров воспаления и клинической картины периоперационного периода при реконструктивных операциях у детей с краниосиностозами / Б. А. Баширян, О. А. Гаджиева, Л. А. Сатанин [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2024. – Т. 88, № 1. – С. 70-78.

34. Пулькина, О. Н. Подход к снижению кровопотери при реконструктивных операциях на костях черепа у детей с краниосиностозами / О. Н. Пулькина, В. П. Иванов, Е. В. Паршин // Вестник анестезиологии и реаниматологии. – 2023. – Т. 20, № 4. – С. 33-39.

35. Ранняя диагностика и оперативное лечение краниосиностоза / В. П. Иванов, Л. В. Сахно, А. М. Щетинина [и др.] // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2022. – Т. 67, № 5. – С. 62-67.

36. Ранняя диагностика краниосиностоза у новорожденного / Н. Н. Джанджгава, А. Б. Сугак, Е. А. Филиппова [и др.] // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 96-102.
37. Ребрикова, В. А. Возможности МР-перфузии в оценке эффективности лечения злокачественных опухолей головного мозга [Текст] / В. А. Ребрикова, Н. И. Сергеев, В. В. Падалко [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2019. – Т. 83, № 4. – С. 113-120.
38. Сатанин, Л. А. Клинические рекомендации «Хирургическое лечение несиндромальных краниосиностозов у детей» / Л. А. Сатанин, С. К. Горельшев // Ассоциация нейрохирургов России. – 2015. – 24 с.
39. Синдром Апера: современные аспекты диагностики и лечения / С. С. Кантутис, Е. А. Саркисян, П. В. Шумилов [и др.] // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2024. – Т. 69, № 2. – С. 107-116.
40. Синдром Крузона: клинический случай / Н. И. Зрячкин, Т. Н. Бучкова, Г. И. Чеботарёва, Т. И. Кулешова // Педиатрическая фармакология. – 2019. – Т. 16, № 1. – С. 36-43.
41. Синдром Крузона: особенности клинических проявлений, ведения, диагностики и исходов у детей / М. А. Соколова, Е. А. Саркисян, П. В. Шумилов [и др.] // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2024. – Т. 69, № 1. – С. 78-85.
42. Синдром Пфайффера: современный взгляд на особенности течения у новорожденных детей (обзор литературы) / О. В. Православная, Е. А. Саркисян, Л. Д. Ворона [и др.] // Педиатрия. Восточная Европа. – 2023. – Т. 11, № 4. – С. 495-505.
43. Смольяникова, А. Б. Пфайффероподобный синдром у ребёнка / А. Б. Смольяникова // Российский педиатрический журнал. – 2025. – Т. 28, № S1. – С. 87.
44. Собственный опыт проведения МРТ T2* и КТ перфузии головного мозга. Как избежать "неудач" [Электронный ресурс] / В. А. Суханов, О. Н. Чернова, М. О. Шубный, Р. Э. Штенцель // УРМЖ. – 2021. – № 2. – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/sobstvennyy-opyt-provedeniya-mrt-t2-i-kt-perfuzii-golovного-mozga-kak-izbezhat-neudach>

45. Современные методы нейровизуализации в диагностике краниосиностозов у детей [Электронный ресурс] / В. И. Озерова, В. Н. Корниенко, В. В. Рогинский [и др.] // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2009. – № 4-6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-neyrovizualizatsii-v-diagnostike-kraniosinostozov-u-detey-1> (дата обращения: 05.05.2024).

46. Стеноз зрительных каналов при синдроме Крузона: клинический случай и обзор литературы / И. В. Болотникова, А. С. Шаповалов, Т. Б. Базархандаева [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2024. – Т. 88, № 4. – С. 100-106.

47. Суфианов, А. А. Несиндромальные краниосиностозы: современное состояние проблемы [Электронный ресурс] / А. А. Суфианов, С. С-х. Гаилов, Р. А. Суфианов // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2013. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nesindromalnye-kraniosinostozy-sovremennoe-sostoyanie-problemy>.

48. Трудности дифференциальной диагностики сагиттального синостоза (скафоцефалии) / Л. А. Сатанин, Н. Н. Джанджгава, А. А. Евтеев [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2023. – Т. 87, № 4. – С. 74-82.

49. Ультразвуковое исследование швов черепа как мера снижения лучевой нагрузки в диагностике краниосиностозов у детей раннего возраста / А. В. Щербаков, В. Е. Данилин, Г. В. Летягин [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2022. – Т. 86, № 2. – С. 64-70.

50. Ультрасонографии черепа в нейропедиатрии (возможности и перспективы) / А. С. Иова, Е. Ю. Крюков, Ю. А. Гармашов, И. А. Крюкова // Лучевая диагностика и терапия. – 2022. – № S(13). – С. 162-163.

51. Щербаков, А. В. Эндоскопическое лечение несиндромального сагиттального краниосиностоза у дизиготных близнецов (двойня). Клинический случай и обзор литературы / А. В. Щербаков, В. Е. Данилин, Г. В. Летягин [и др.] // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. – 2019. – Т. 83, № 3. – С. 87-92.

52. Эндоскопическая коррекция при тригоноцефалии: современное состояние проблемы и анализ собственных результатов лечения / Л. А. Сатанин, А. А. Евтеев, А. Л. Иванов [и др.] // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. – 2023. – Т. 15, № 1. – С. 95-105.

53. Эффективность комбинированной фиксации при реконструкции черепа у детей с краниосиностозом: Ранние результаты / С. Б. Сейтбеков, Д. К. Жамолдин, Г. И. Оленбай, А. Ж. Доскалиев // Нейрохирургия и неврология Казахстана. – 2024. – Т. 76, № 3. – С. 3-13.

54. Ясонов, С. А. Синдромальные краниосиностозы: основные клинические проявления и современные возможности реабилитации [Электронный ресурс] / С. А. Ясонов // Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского. – 2012. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sindromalnye-kraniosinostozy-osnovnye-klinicheskie-proyavleniya-i-sovremennye-vozmozhnosti-reabilitatsii>.

55. A diffusion tensor imaging analysis of white matter microstructures in non-operated craniosynostosis patients / C. A. de Planque, J. M. G. Florisson, R. C. Tasker [et al.] // Neuroradiology. – 2022. – Vol. 64, No. 12. – P. 2391-2398.

56. Abdel-Alim, T. Quantifying dysmorphologies of the neurocranium using artificial neural networks / T. Abdel-Alim, F. Tapia Chaca, I. M. J. Mathijssen [et al.] // Journal of Anatomy. – 2024. – Vol. 245, No. 6. – P. 903-913.

57. Al-Shaqsi, S. Morphometric analysis and outcomes following posterior cranial vault distraction in syndromic and multisuture craniosynostosis / S. Al-Shaqsi, J. A. Ching, C. B. Novak, C. R. Forrest // Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery. – 2023. – Vol. 87. – P. 379-386.

58. Analysis of morbidity and mortality in surgical management of craniosynostosis / H. Q. Lee, J. M. Hutson, P. A. Wray [et al.] // Journal of Craniofacial Surgery. – 2012. – Vol. 23, No. 5. – P. 1256-1261.

59. Arterial spin labeling in clinical pediatric imaging / M. Proisy, B. Bruneau, C. Rozel [et al.] // Diagnostic and Interventional Imaging. – 2016. – Vol. 97, No. 2. – P. 151-158.

60. Assessment of regional cerebral blood flow by dynamic susceptibility contrast MRI using different deconvolution techniques / R. Wirestam, L. Andersson, L. Ostergaard [et al.] // *Magnetic Resonance in Medicine*. – 2000. – Vol. 43, No. 5. – P. 691-700.
61. Association of Preoperative Nutritional Status With Outcomes in Fronto-Orbital Advancement for Syndromic Craniosynostosis / R. K. Patel, A. Pekcan, V. Mejia [et al.] // *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2025. – Vol. 83, No. 10. – P. 1234-1242.
62. Automated analysis of perfusion weighted MRI using asymmetry in vascular territories / N. R. Chatterjee, S. A. Ansari, P. Vakil [et al.] // *Magnetic Resonance Imaging*. – 2015. – Vol. 33, No. 5. – P. 618-623.
63. Aviv, R. I. Craniosynostosis / R. I. Aviv, E. Rodger, C. M. Hall // *Clinical Radiology*. – 2002. – Vol. 57, No. 2. – P. 93-102.
64. Barnes, C. A morphometric analysis of the cranial base in trigonocephaly / C. Barnes, A. Madaree, L. Lazarus // *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. – 2025. – Vol. 53, No. 4. – P. 377-384.
65. Black Bone MRI for Virtual Surgical Planning in Craniomaxillofacial Surgery / K. S. Vyas, M. A. Suchyta, C. H. Hunt [et al.] // *Seminars in Plastic Surgery*. – 2022. – Vol. 36, No. 3. – P. 192-198.
66. Black Bone MRI vs. CT in temporal bone assessment in craniosynostosis: a radiation-free alternative / S. Vallengia, M. H. G. Dremmen, I. M. J. Mathijssen [et al.] // *Neuroradiology*. – 2025. – Vol. 67, No. 1. – P. 257-267.
67. Blessing, M. Epidemiology, Genetics, and Pathophysiology of Craniosynostosis / M. Blessing, E. R. Gallagher // *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 34, No. 3. – P. 341-352.
68. Brah, T. K. Craniosynostosis: Clinical Presentation, Genetics, and Prenatal Diagnosis / T. K. Brah, R. Thind, D. E. Abel // *Obstetrical and Gynecological Survey*. – 2020. – Vol. 75, No. 10. – P. 636-644.

69. Brain volume in infants with metopic synostosis: Less white matter volume with an accelerated growth pattern in early life / L. Gaillard, M. C. Tjaberinga, M. H. G. Dremmen [et al.] // *Journal of Anatomy*. – 2024. – Vol. 245, No. 6. – P. 894-902.
70. Burokas, L. Craniosynostosis: caring for infants and their families / L. Burokas // *Critical Care Nurse*. – 2013. – Vol. 33, No. 4. – P. 39-50.
71. Can Craniosynostosis be Diagnosed on Physical Examination? A Retrospective Review / C. A. Zavala, L. A. Zima, M. R. Greives [et al.] // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2023. – Vol. 34, No. 7. – P. 2046-2050.
72. Cerebellar Hypoperfusion in Migraine Attack: Incidence and Significance / F. Kellner-Weldon, M. El-Koussy, S. Jung [et al.] // *American Journal of Neuroradiology*. – 2018. – Vol. 39, No. 3. – P. 435-440.
73. Cerebral blood flow in children with syndromic craniosynostosis: cohort arterial spin labeling studies / P. N. Doerga, M. H. Lequin, M. H. G. Dremmen [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2019. – Vol. 25, No. 4. – P. 340-350.
74. Cerebral cortex maldevelopment in syndromic craniosynostosis / A. T. Wilson, B. K. Den Ottelander, M. C. Van Veelen [et al.] // *Developmental Medicine and Child Neurology*. – 2022. – Vol. 64, No. 1. – P. 118-124.
75. Cerebral Perfusion In Simple Craniosynostosis Using Arterial Spinlabelling Mri / Y. Caudron, G. Paternoster, R. Levy [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open*. – 2019. – Vol. 7, No. 8S-2. – P. 16-17.
76. Chaisrisawadisuk, S. Sagittal Craniosynostosis Associated With Chromosome 16p13.3 Duplication / S. Chaisrisawadisuk, I. Khampalikit, A. Sathienkijkanchai // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2026. – Vol. 37, No. 1. – P. 45-49.
77. Cognitive and neuropsychomotor development in craniosynostosis: an evaluation of the most affected functions / J. L. Ferreira, I. J. N. Gualberto, M. Da Costa Ribas [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2026. – Vol. 42, No. 1. – Art. 51.
78. Cognitive Development in Single-Suture Craniosynostosis - A Systematic Review / K. Olsson, J. Engman, D. Nowinski [et al.] // *Developmental Neuropsychology*. – 2023. – Vol. 48, No. 5. – P. 215-247.

79. Cognitive performance in preschoolers with non-syndromic craniosynostosis undergoing surgery: A comparison with typically developing children / J. Moreno-Villagómez, G. Yáñez-Téllez, B. Prieto-Corona [et al.] // *Applied Neuropsychology: Child.* – 2024. – Vol. 13, No. 4. – P. 343-349.

80. Collmann, H. Hydrocephalus in craniosynostosis: a review / H. Collmann, N. Sörensen, J. Krauss // *Child's Nervous System.* – 2005. – Vol. 21, No. 10. – P. 902-912.

81. Comparative evaluation of brain perfusion with ASL and DSC MRI following intracranial vascular flow diverter stent replacement / N. E. Kaydu, E. Cindil, B. B. Asfuroglu [et al.] // *Journal of Clinical Ultrasound.* – 2023. – Vol. 51, No. 8. – P. 1390-1396.

82. Comparative study of DSC-PWI and 3D-ASL in ischemic stroke patients / S. X. Zhang, Y. H. Yao, S. Zhang [et al.] // *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Medical Sciences).* – 2015. – Vol. 35, No. 6. – P. 923-927.

83. Comparison of ASL and DSC perfusion methods in the evaluation of response to treatment in patients with a history of treatment for malignant brain tumor / E. S. Bayraktar, G. Duygulu, Y. K. Çetinoğlu [et al.] // *BMC Medical Imaging.* – 2024. – Vol. 24, No. 1. – Art. 70.

84. Comparison of Black Bone MRI and 3D-CT in the preoperative evaluation of patients with craniosynostosis / A. Saarikko, E. Mellanen, L. Kuusela [et al.] // *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery.* – 2020. – Vol. 73, No. 4. – P. 723-731.

85. Comparisons of Intracranial Volume and Cephalic Index After Correction of Sagittal Craniosynostosis With Either Two or Three Springs / S. Fischer, G. Maltese, P. Tarnow [et al.] // *Journal of Craniofacial Surgery.* – 2021. – Vol. 32, No. 8. – P. 2636-2640.

86. Computed tomography associated radiation exposure in children with craniosynostosis / M. K. Bruce, A. M. Mittal, D. S. Whitt [et al.] // *Child's Nervous System.* – 2021. – Vol. 37, No. 8. – P. 2635-2641.

87. Computed Tomography in Patients With Craniosynostosis: A Survey to Ascertain Practice Patterns Among Craniofacial Surgeons / K. G. Makar, H. E. Garavaglia, K. M. Muraszko [et al.] // *Annals of Plastic Surgery*. – 2021. – Vol. 87, No. 5. – P. 569-574.
88. Concurrent myelomeningocele and sagittal craniosynostosis: illustrative case / K. P. Stegmann, N. L. A. Nawabi, R. Suresh [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Case Lessons*. – 2025. – Vol. 9, No. 1. – Art. CASE24616.
89. Constantine, S. Antenatal Ultrasound Imaging for Analysis of Human Craniosynostosis / S. Constantine, P. Niznik // *Methods in Molecular Biology*. – 2022. – Vol. 2403. – P. 295-310.
90. Correcting the typical Apert face: combining bipartition with monobloc distraction / A. V. H. Greig, J. A. Britto, C. Abela [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2013. – Vol. 131, No. 2. – P. 219-230.
91. Cranial Bone Changes Associated With Intracranial Hypertension in Apert Syndrome: Insights for Early Surgical Intervention / D. A. Gomez, I. J. Meredith, S. K. Palmer [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open*. – 2025. – Vol. 13, No. 6. – Art. e6875.
92. Cranial shape comparison for automated objective 3D craniosynostosis surgery planning / M. L. Tolhuisen, G. A. de Jong, R. J. M. van Damme [et al.] // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8, No. 1. – Art. 3349.
93. Cranial Ultrasound as a First-Line Imaging Examination for Craniosynostosis / K. Rozovsky, K. Udjus, N. Wilson [et al.] // *Pediatrics*. – 2016. – Vol. 137, No. 2. – Art. e20152230.
94. Cranial ultrasound is a reliable first step imaging in children with suspected craniosynostosis / L. Pogliani, G. V. Zuccotti, M. Furlanetto [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2017. – Vol. 33, No. 9. – P. 1545-1552.
95. Craniometrics in Metopic Craniosynostosis: A Review of Craniometric Parameters and the Emergence of Machine Learning Models / D. M. Le, G. R. Hoffman, T. Le [et al.] // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2026.

96. CranioRate: An Image-Based, Deep-Phenotyping Analysis Toolset and Online Clinician Interface for Metopic Craniosynostosis / J. W. Beiriger, W. Tao, M. K. Bruce [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2024. – Vol. 153, No. 1. – P. 112-119.
97. Craniosynostosis / E. M. Betances, M. D. Mendez, T. Karsonovich, J. M. Das // *StatPearls* [Internet]. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025.
98. Craniosynostosis and metabolic bone disorder. A review / F. Di Rocco, A. Rothenbuhler, V. Cormier Daire [et al.] // *Neurochirurgie*. – 2019. – Vol. 65, No. 5. – P. 258-263.
99. Craniosynostosis: imaging review and primer on computed tomography / C. A. Badve, M. M. K, R. S. Iyer [et al.] // *Pediatric Radiology*. – 2013. – Vol. 43, No. 6. – P. 728-742.
100. CT-like MR-derived Images for the Assessment of Craniosynostosis and other Pathologies of the Pediatric Skull / Y. Leonhardt, S. Kronthaler, G. Feuerriegel [et al.] // *Clinical Neuroradiology*. – 2023. – Vol. 33, No. 1. – P. 57-64.
101. D'Amico, A. Neuroradiological findings in Alagille syndrome / A. D'Amico, T. Perillo, R. Cuocolo [et al.] // *British Journal of Radiology*. – 2022. – Vol. 95, No. 1129. – Art. 20201241.
102. Diagnosis and treatment of craniosynostosis: Vilnius team experience / L. Zaleckas, A. Neverauskienė, V. Daugelavicius [et al.] // *Acta Medica Lituanica*. – 2015. – Vol. 22, No. 2. – P. 111-121.
103. Differential diagnosis of syndromic craniosynostosis: a case series / T. Casteleyn, D. Horn, W. Henrich, S. Verlohren // *Archives of Gynecology and Obstetrics*. – 2022. – Vol. 306, No. 1. – P. 49-57.
104. Differential impact of Crouzon and Apert syndromes on upper airways morphology: implications for Obstructive Sleep Apnoea / F. Remy, M. Taverne, R. H. Khonsari [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. – 2025. – Vol. 53, No. 8. – P. 789-798.

105. Effect of age on response to amblyopia treatment in children / J. M. Holmes, E. L. Lazar, B. M. Melia [et al.] // Archives of Ophthalmology. – 2011. – Vol. 129, No. 11. – P. 1451-1457.
106. Epidemiology of craniosynostosis in Norway / E. Tønne, B. J. Due-Tønnessen, U. Wiig [et al.] // Journal of Neurosurgery: Pediatrics. – 2020. – Vol. 26, No. 1. – P. 68-75.
107. Erb, T. O. Surgical treatment of craniosynostosis in infants: open vs closed repair / T. O. Erb, P. M. Meier // Current Opinion in Anaesthesiology. – 2016. – Vol. 29, No. 3. – P. 345-351.
108. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT / D. Brenner, C. Elliston, E. Hall, W. Berdon // American Journal of Roentgenology. – 2001. – Vol. 176, No. 2. – P. 289-296.
109. Experiences of surgical complications and reoperations in nonsyndromic sagittal synostosis patients in Oulu / A. Svalina, W. Serlo, J. J. Sinikumpu, N. Salokorpi // Child's Nervous System. – 2024. – Vol. 40, No. 12. – P. 3983-3991.
110. Faasse, M. Guideline on Treatment and Management of Craniosynostosis: Patient and Family Version / M. Faasse, I. M. J. Mathijssen // Journal of Craniofacial Surgery. – 2023. – Vol. 34, No. 1. – P. 418-433.
111. Facial asymmetry in syndromic craniosynostosis patients undergoing midface surgery compared to a large general population / P. Rostamzad, X. Liu, E. B. Wolvius [et al.] // Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. – 2025. – Vol. 53, No. 7. – P. 645-654.
112. Fearon, J. A. Lambdoid Craniosynostosis: The Relationship with Chiari Deformations and an Analysis of Surgical Outcomes / J. A. Fearon, V. Dimas, K. Dittthakasem // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2016. – Vol. 137, No. 3. – P. 946-951.
113. Fine, A. Childhood Neurologic Conditions: Neuroanatomic Abnormalities / A. Fine, K. M. Schupack // FP Essentials. – 2022. – Vol. 523. – P. 27-42.

114. Frassanito, P. Craniosynostosis and hydrocephalus: relevance and treatment modalities / P. Frassanito, D. Palombi, G. Tamburrini // *Child's Nervous System*. – 2021. – Vol. 37, No. 11. – P. 3465-3473.

115. Ganau, M. Imaging in Craniofacial Disorders With Special Emphasis on Gradient Echo Black-Bone and Zero Time Echo MRI Sequences / M. Ganau, N. C. Syrmos, S. A. Magdum // *Journal of Pediatric Neurosciences*. – 2022. – Vol. 17, Suppl. 1. – P. 14-20.

116. Genetic advances in craniosynostosis / W. Lattanzi, M. Barba, L. Di Pietro, S. A. Boyadjiev // *American Journal of Medical Genetics Part A*. – 2017. – Vol. 173, No. 5. – P. 1406-1429.

117. Genetic Influence on Neurodevelopment in Nonsyndromic Craniosynostosis / A. T. Timberlake, A. Junn, R. Flores [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2022. – Vol. 149, No. 5. – P. 1157-1165.

118. Geometric Morphometric Study on Distinguishing Metopic Craniosynostosis from Metopic Ridging / Y. Sakamoto, H. Amano, N. Ogihara [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open*. – 2024. – Vol. 12, No. 8. – Art. e6034.

119. Girard, A. O. Management of Minor Suture Craniosynostosis / A. O. Girard, R. Yang // *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 34, No. 3. – P. 435-442.

120. Gong, S. G. Cranial neural crest: Migratory cell behaviour and regulatory networks / S. G. Gong // *Experimental Cell Research*. – 2014. – Vol. 325, No. 2. – P. 90-95.

121. Gopinath, G. Role of Magnetic Resonance Perfusion Imaging in Acute Stroke: Arterial Spin Labeling Versus Dynamic Susceptibility Contrast-Enhanced Perfusion / G. Gopinath, M. Aslam, P. Anusha // *Cureus*. – 2022. – Vol. 14, No. 3. – Art. e23625.

122. Guidelines and recommendations for perfusion imaging in cerebral ischemia: A scientific statement for healthcare professionals by the writing group on perfusion imaging, from the Council on Cardiovascular Radiology of the American

Heart Association / R. E. Latchaw, H. Yonas, G. J. Hunter [et al.] // Stroke. – 2003. – Vol. 34, No. 4. – P. 1084-1104.

123. Harada, A. Prenatal sonographic findings and prognosis of craniosynostosis diagnosed during the fetal and neonatal periods [Текст] / A. Harada, S. Miyashita, R. Nagai [et al.] // Congenital Anomalies. – 2019. – Vol. 59, No. 4. – P. 132-141.

124. Hersh, D. S. Diagnosis and Management of Suture-Related Concerns of the Infant Skull / D. S. Hersh, M. J. Bookland, C. D. Hughes // Pediatric Clinics of North America. – 2021. – Vol. 68, No. 4. – P. 727-742.

125. Hersh, D. S. Syndromic Craniosynostosis: Unique Management Considerations / D. S. Hersh, C. D. Hughes // Neurosurgery Clinics of North America. – 2022. – Vol. 33, No. 1. – P. 105-112.

126. Highlighting posterior cranial vault expansion remodeling for treating various types of craniosynostosis in children / Y. Yuan, Z. Li, F. Gao [et al.] // Child's Nervous System. – 2025. – Vol. 41, No. 1. – Art. 235.

127. High-resolution sonography of the abnormal cranial suture / D. Soboleski, B. Mussari, D. McCloskey [et al.] // Pediatric Radiology. – 1998. – Vol. 28, No. 2. – P. 79-82.

128. Hydrocephalus treatment in patients with craniosynostosis: an analysis from the Hydrocephalus Clinical Research Network prospective registry / C. M. Bonfield, C. N. Shannon, R. W. Reeder [et al.] // Neurosurgical Focus. – 2021. – Vol. 50, No. 4. – Art. E11.

129. Imaging in craniosynostosis: when and what? / L. Massimi, F. Bianchi, P. Frassanito [et al.] // Child's Nervous System. – 2019. – Vol. 35, No. 11. – P. 2055-2069.

130. Incidence of Nonsynostotic Plagiocephaly and Developmental Disorders / M. E. Lynch, M. J. White, A. E. Rabatin [et al.] // JAMA Pediatrics. – 2024. – Vol. 178, No. 9. – P. 899-905.

131. Incidence of Ocular Abnormalities in Metopic Craniosynostosis: Cranial Vault Reconstruction Versus Endoscopic Suturectomy / J. Y. Ha, S. Doh, K. L. Tomei [et al.] // Cleft Palate-Craniofacial Journal. – 2026.

132. Increase of prevalence of craniosynostosis / M. Cornelissen, B. d. Ottelander, D. Rizopoulos [et al.] // *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. – 2016. – Vol. 44, No. 9. – P. 1273-1279.

133. Intellectual and academic functioning of school-age children with single-suture craniosynostosis / M. L. Speltz, B. R. Collett, E. R. Wallace [et al.] // *Pediatrics*. – 2015. – Vol. 135, No. 3. – P. 615-623.

134. Intellectual, behavioral, and emotional functioning in children with syndromic craniosynostosis / M. Maliepaard, I. M. Mathijssen, J. Oosterlaan, J. M. Okkerse // *Pediatrics*. – 2014. – Vol. 133, No. 6. – P. 1608-1615.

135. Intracranial pressure monitoring in children with single suture and complex craniosynostosis: a review / G. Tamburrini, M. Caldarelli, L. Massimi [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2005. – Vol. 21, No. 10. – P. 913-921.

136. Intracranial Pressure, Autoregulation, and Cerebral Perfusion in Infants With Nonsyndromic Craniosynostosis at the Time of Surgical Correction / H. Hurth, J. Zipfel, S. R. Kerscher [et al.] // *Neurosurgery*. – 2023. – Vol. 94, No. 3. – P. 512-520.

137. Intracranial volume before and after surgical treatment for isolated metopic synostosis / G. Maltese, P. Tarnow, E. Wikberg [et al.] // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2014. – Vol. 25, No. 1. – P. 262-266.

138. Intraoperative Intracranial Pressure Changes in Children With Craniosynostosis Undergoing Endoscopic-Assisted Strip Craniectomy / Z. Makoshi, G. Hayek, V. Aquino [et al.] // *Neurosurgery*. – 2025. – Vol. 96, No. 3. – P. 640-649.

139. Intraoperative intracranial pressure monitoring in the pediatric craniosynostosis population / B. F. Judy, J. W. Swanson, W. Yang [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2018. – Vol. 22, No. 5. – P. 475-480.

140. Introducing a new method for classifying skull shape abnormalities related to craniosynostosis / O. D. M. Kronig, S. A. J. Kronig, H. A. Vrooman [et al.] // *European Journal of Pediatrics*. – 2020. – Vol. 179, No. 10. – P. 1569-1577.

141. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan / L. J. Salomon, Z. Alfirevic, V. Berghella [et al.] // *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. – 2022. – Vol. 59, No. 6. – P. 840-856.

142. Johnson, D. Craniosynostosis / D. Johnson, A. O. Wilkie // *European Journal of Human Genetics*. – 2011. – Vol. 19, No. 4. – P. 369-376.
143. Kajdic, N. Craniosynostosis-recognition, clinical characteristics, and treatment / N. Kajdic, P. Spazzapan, T. Velnar // *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences*. – 2018. – Vol. 18, No. 2. – P. 110-116.
144. Kang, S. G. Current and future perspectives in craniosynostosis / S. G. Kang, J. K. Kang // *Journal of Korean Neurosurgical Society*. – 2016. – Vol. 59, No. 3. – P. 247-249.
145. Karsonovich, T. Pfeiffer Syndrome / T. Karsonovich, J. M. Das, R. Winters // *StatPearls [Internet]*. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025.
146. Kim, H. J. Craniosynostosis: Updates in Radiologic Diagnosis / H. J. Kim, H. G. Roh, I. W. Lee // *Journal of Korean Neurosurgical Society*. – 2016. – Vol. 59, No. 3. – P. 219-226.
147. Kweldam, C. F. The incidence of craniosynostosis in the Netherlands, 1997-2007 / C. F. Kweldam, J. J. van der Vlugt, J. J. van der Meulen // *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. – 2011. – Vol. 64, No. 5. – P. 583-588.
148. Lekovic, G. P. Cognitive impact of craniosynostosis / G. P. Lekovic, R. E. Bristol, H. L. Rekate // *Seminars in Pediatric Neurology*. – 2004. – Vol. 11, No. 4. – P. 305-310.
149. Limiting CT radiation dose in children with craniosynostosis: phantom study using model-based iterative reconstruction / T. Kaasalainen, K. Palmu, A. Lampinen [et al.] // *Pediatric Radiology*. – 2015. – Vol. 45, No. 10. – P. 1544-1553.
150. Low-Dose CT for Craniosynostosis: Preserving Diagnostic Benefit with Substantial Radiation Dose Reduction [Текст] / J. C. Montoya, L. J. Eckel, D. R. DeLone [et al.] // *American Journal of Neuroradiology*. – 2017. – Vol. 38, No. 4. – P. 672-677.
151. Margulies, I. G. Appropriateness of Computed Tomography Scanning in the Diagnosis of Craniosynostosis / I. G. Margulies, F. Graziano, P. Goel [et al.] // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2022. – Vol. 33, No. 1. – P. 222-225.

152. Mathijssen, I. M. Guideline for Care of Patients With the Diagnoses of Craniosynostosis: Working Group on Craniosynostosis / I. M. Mathijssen // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 2015. – Vol. 26, No. 6. – P. 1735-1807.
153. Matushita, C. M. Preservation versus Structural Cranioplasty: A New Concept for Craniosynostosis Treatment / C. M. Matushita, H. H. Lee, J. W. Choi // *Archives of Plastic Surgery*. – 2026. – Vol. 53, No. 1. – P. 52-59.
154. Maximizing the functional benefits of posterior calvarial vault distraction in syndromic craniosynostoses: a nuanced approach to volume, vein, vector, and the vexed challenge of functional outcome in craniosynostoses / S. Udayakumaran, V. V. P. V, P. Subash [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2025. – Vol. 41, No. 1. – Art. 153.
155. Measuring cerebral blood flow using magnetic resonance imaging techniques / F. Calamante, D. L. Thomas, G. S. Pell [et al.] // *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. – 1999. – Vol. 19, No. 7. – P. 701-735.
156. Microvascular decompression for trigeminal neuralgia caused by persistent trigeminal artery associated with craniosynostosis: a case report / T. Sun, Q. Huang, C. Li [et al.] // *Journal of Medical Case Reports*. – 2022. – Vol. 16, No. 1. – Art. 292.
157. Molecular signaling in pathogenesis of craniosynostosis: The role of fibroblast growth factor and transforming growth factor- β / H. Chim, S. Manjila, A. R. Cohen, A. K. Gosain // *Neurosurgical Focus*. – 2011. – Vol. 31, No. 2. – Art. E7.
158. Multicentre approach to epidemiological aspects of craniosynostosis in Germany / C. Neusel, D. Class, A. W. Eckert [et al.] // *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. – 2018. – Vol. 56, No. 9. – P. 881-886.
159. Multidisciplinary Care Considerations for Patients with Craniosynostosis / E. R. Gallagher, G. K. Fulton, S. M. Susarla, C. B. Birgfeld // *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 34, No. 3. – P. 353-365.
160. Nagaraja, S. Craniosynostosis / S. Nagaraja, P. Anslow, B. Winter // *Clinical Radiology*. – 2013. – Vol. 68, No. 3. – P. 284-292.
161. Neurocognitive outcomes of children with non-syndromic single-suture craniosynostosis / C. L. Kalmar, S. S. Lang, G. G. Heuer [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2022. – Vol. 38, No. 5. – P. 893-901.

162. Neurodevelopmental functioning of infants with untreated single-suture craniosynostosis during early infancy / A. C. Da Costa, V. A. Anderson, R. Savarirayan [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2012. – Vol. 28, No. 6. – P. 869-877.

163. Neuroimaging in Nonsyndromic Craniosynostosis: Key Concepts to Unlock Innovation / C. Russo, F. Aliberti, U. P. Ferrara [et al.] // *Diagnostics*. – 2024. – Vol. 14, No. 17. – Art. 1842.

164. Neuro-Ophthalmological Manifestations of Craniosynostosis: Current Perspectives / M. Duan, J. Skoch, B. S. Pan, V. Shah // *Eye and Brain*. – 2021. – Vol. 13. – P. 29-40.

165. New diagnostic criteria for metopic ridges and trigonocephaly: a 3D geometric approach / K. Bloch, M. Geoffroy, M. Taverne [et al.] // *Orphanet Journal of Rare Diseases*. – 2024. – Vol. 19, No. 1. – Art. 204.

166. Non-syndromic craniosynostosis / M. Alperovich, C. Tonello, L. C. Mayes, K. T. Kahle // *Nature Reviews Disease Primers*. – 2025. – Vol. 11, No. 1. – Art. 24.

167. Objective Assessment of the Interfrontal Angle for Severity Grading and Operative Decision-Making in Metopic Synostosis / R. A. Anolik, A. C. Allori, N. Pourtaheri [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2016. – Vol. 137, No. 5. – P. 1548-1555.

168. Occult craniosynostosis in normocephalic children with Chiari I malformation / H. Cuthbert, P. Gallo, L. Galloway [et al.] // *Journal of Neuroradiology*. – 2025. – Vol. 52, No. 3. – Art. 101336.

169. Optic canal stenosis in Crouzon syndrome: a case report and literature review / I. V. Bolotnikova, A. S. Shapovalov, T. B. Bazarkhandaeva [et al.] // *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. – 2024. - Vol. 88, No. 4. – P. 100-106.

170. Optical Coherence Tomography and Visual Evoked Potential Testing for Noninvasive Intracranial Pressure Monitoring in Craniosynostosis / H. R. Burns, R. P. Dibbs, A. M. Ferry [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2022. – Vol. 149, No. 6. – P. 1268-1269.

171. Orthoptic findings in trigonocephaly patients after completed visual development / S. Yang, L. Gaillard, B. K. den Ottelander [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2024. – Vol. 41, No. 1. – Art. 8.

172. Patel, K. B. Anthropometric Outcomes following Fronto-Orbital Advancement for Metopic Synostosis / K. B. Patel, G. B. Skolnick, J. B. Mulliken // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2016. – Vol. 137, No. 5. – P. 1539-1547.

173. Pons-Escoda, A. Dynamic-susceptibility-contrast perfusion-weighted-imaging (DSC-PWI) in brain tumors: a brief up-to-date overview for clinical neuroradiologists / A. Pons-Escoda, M. Smits // *European Radiology*. – 2023. – Vol. 33, No. 11. – P. 8026-8030.

174. Positron emission tomography studies confirm the need for early surgical intervention in patients with single-suture craniosynostosis / L. R. David, D. G. Genecov, A. A. Camastra [et al.] // *Journal of Craniofacial Surgery*. – 1999. – Vol. 10, No. 1. – P. 38-42.

175. Postnatal diagnosis of single-suture craniosynostosis with cranial ultrasound: a systematic review / I. Whittall, W. A. Lambert, D. J. Moote [et al.] // *Child's Nervous System*. – 2021. – Vol. 37, No. 12. – P. 3705-3714.

176. Postoperative helmet therapy following fronto-orbital advancement and cranial vault remodeling in patients with unilateral coronal synostosis / E. M. Wolfswinkel, P. A. Sanchez-Lara, L. Jacob, M. M. Urata // *American Journal of Medical Genetics Part A*. – 2021. – Vol. 185, No. 9. – P. 2670-2675.

177. Prenatal Diagnosis of Craniosynostosis Using Ultrasound / C. A. DeFreitas, S. R. Carr, D. L. Merck [et al.] // *Plastic and Reconstructive Surgery*. – 2022. – Vol. 150, No. 5. – P. 1084-1089.

178. Prevalence of Ocular Anomalies in Craniosynostosis: A Systematic Review and Meta-Analysis / P. Rostamzad, Z. F. Arslan, I. M. J. Mathijssen [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. – 2022. – Vol. 11, No. 4. – Art. 1060.

179. Proctor, M. R. A review of the management of single-suture craniosynostosis, past, present, and future / M. R. Proctor, J. G. Meara // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2019. – Vol. 24, No. 6. – P. 622-631.

180. Quantifying the Severity of Metopic Craniosynostosis Using Unsupervised Machine Learning / E. E. Anstadt, W. Tao, E. Guo [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2023. – Vol. 151, No. 2. – P. 396-403.
181. Quantitative analysis of intracranial and intraorbital volume changes following craniosynostosis surgery: a retrospective imaging study / J. John, S. Konar, D. Shukla [et al.] // Child's Nervous System. – 2025. – Vol. 41, No. 1. – Art. 211.
182. Radiographic Severity of Metopic Craniosynostosis Correlates with Long-Term Neurocognitive Outcomes / K. S. Gabrick, R. T. Wu, A. Singh [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2020. – Vol. 145, No. 5. – P. 1241-1248.
183. Reliable manifestations of increased intracranial pressure in patients with syndromic craniosynostosis / S. Y. Kim, J. W. Choi, H. J. Shin, S. Y. Lim // Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery. – 2019. – Vol. 47, No. 1. – P. 158-164.
184. Role of 99mTc-ECD SPECT in the management of children with craniosynostosis / M. Barik, M. Bajpai, R. R. Das [et al.] // BioMed Research International. – 2014. – Vol. 2014. – Art. 172646.
185. Rufai, S. R. Electrophysiological and fundoscopic detection of intracranial hypertension in craniosynostosis / S. R. Rufai, O. R. Marmoy, D. A. Thompson [et al.] // Eye. – 2023. – Vol. 37, No. 1. – P. 139-145.
186. Saal, H. M. Genetic evaluation for craniofacial conditions / H. M. Saal // Facial Plastic Surgery Clinics of North America. – 2016. – Vol. 24, No. 4. – P. 405-425.
187. Saethre-Chotzen phenotype with learning disability and hyper IgE phenotype in a patient due to complex chromosomal rearrangement involving chromosomes 3 and 7 / R. M. Zechi-Ceide, M. G. Rodrigues, F. S. Jehee [et al.] // American Journal of Medical Genetics Part A. – 2012. – Vol. 158A, No. 7. – P. 1680-1685.
188. Serial Visual Evoked Potentials in Patients with Craniosynostosis and Invasive Intracranial Pressure Monitoring / M. M. Haredy, A. Liasis, V. Fu [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2019. – Vol. 144, No. 3. – P. 446-452.

189. Serial, Visually-Evoked Potentials for the Assessment of Visual Function in Patients with Craniosynostosis / M. M. Haredy, A. Liasis, A. Davis [et al.] // *Journal of Clinical Medicine*. – 2019. – Vol. 8, No. 10. – Art. 1555.
190. Shakir, S. Syndromic Craniosynostosis: Cranial Vault Expansion in Infancy [/ S. Shakir, C. B. Birgfeld // *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 34, No. 3. – P. 443-458.
191. Shruthi, N. M. Craniosynostosis: A Pediatric Neurologist's Perspective / N. M. Shruthi, S. Gulati // *Journal of Pediatric Neurosciences*. – 2022. – Vol. 17, Suppl. 1. – P. 54-60.
192. Sonography of normal cranial sutures / D. Soboleski, D. McCloskey, B. Mussari [et al.] // *American Journal of Roentgenology*. – 1997. – Vol. 168, No. 3. – P. 819-821.
193. Spazzapan, P. Isolated Sagittal Craniosynostosis: A Comprehensive Review / P. Spazzapan, T. Velnar // *Diagnostics*. – 2024. – Vol. 14, No. 4. – Art. 435.
194. Sullivan, L. E. Craniosynostosis: Current Evaluation and Management / L. E. Sullivan, R. Li, V. S. Tong [et al.] // *Annals of Plastic Surgery*. – 2024. – Vol. 93, No. 6S, Suppl. 3. – P. 144-149.
195. Surgery of craniosynostosis: a historical review / J. Iqbal, K. Yangi, A. Naseem [et al.] // *Annals of Medicine and Surgery*. – 2025. – Vol. 87, No. 4. – P. 2234-2242.
196. Syndromic Craniosynostosis: A Comprehensive Review / K. Katouni, A. Nikolaou, T. Mariolis [et al.] // *Cureus*. – 2023. – Vol. 15, No. 12. – Art. e50448.
197. Syndromic Craniosynostosis: Complexities of Clinical Care / J. O'Hara, F. Ruggiero, L. Wilson [et al.] // *Molecular Syndromology*. – 2019. – Vol. 10, No. 1-2. – P. 83-97.
198. Syndromic Craniosynostosis: The Hidden Burden of Comorbidities on Surgical Outcomes / R. K. Patel, A. Pekcan, A. Manasyan [et al.] // *Annals of Plastic Surgery*. – 2025. – Vol. 95, No. 1. – P. 54-58.
199. Systematic Review of the Clinical and Experimental Research Assessing the Effects of Craniosynostosis on the Brain / L. M. F. Furtado, L. R. Teles, S. A. A.

Martins da Costa [et al.] // Journal of Craniofacial Surgery. – 2023. – Vol. 34, No. 4. – P. 1160-1164.

200. Tan, A. P. Apert syndrome: magnetic resonance imaging (MRI) of associated intracranial anomalies / A. P. Tan, K. Mankad // Child's Nervous System. – 2018. – Vol. 34, No. 2. – P. 205-216.

201. Tan, A. P. MRI protocol for craniosynostosis: Replacing ionizing radiation-based CT / A. P. Tan // American Journal of Roentgenology. – 2019. – Vol. 213, No. 6. – P. 1374-1380.

202. Tao, W. Evaluation of ultra-low-dose CT with tin filter for craniosynostosis / W. Tao, R. Goetti // Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology. – 2025. – Vol. 69, No. 1. – P. 28-34.

203. The clinical manifestations, molecular mechanisms and treatment of craniosynostosis / E. Stanton, M. Urata, J. F. Chen, Y. Chai // Disease Models & Mechanisms. – 2022. – Vol. 15, No. 4. – Art. dmm049390.

204. The genetic overlap between osteoporosis and craniosynostosis / E. Kague, C. Medina-Gomez, S. A. Boyadjiev, F. Rivadeneira // Frontiers in Endocrinology. – 2022. – Vol. 13. – Art. 1020821.

205. The Incidence of Chiari Malformations in Patients with Isolated Sagittal Synostosis / A. A. Davis, G. Zuccoli, M. M. Haredy [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open. – 2019. – Vol. 7, No. 2. – Art. e2090.

206. The incidence of subsequent high intracranial pressure in patients undergoing early, open, and wide strip craniectomy for sagittal synostosis / S. Sadon, M. Bami, J. Roth [et al.] // Journal of Neurosurgery: Pediatrics. – 2025. – Vol. 36, No. 2. – P. 145-150.

207. The influence of closed sutures on cranial morphology in Apert and Crouzon syndromes: A quantitative analysis / O. Delassus, L. Ben Bouazza, A. R. Traoré [et al.] // Journal of Anatomy. – 2025.

208. The influence of orbital architecture on strabismus in craniosynostosis / T. C. Lee, E. Walker, M. A. Ting [et al.] // Journal of AAPOS. – 2024. – Vol. 28, No. 1. – Art. 103812.

209. The metopic index: an anthropometric index for the quantitative assessment of trigonocephaly from metopic synostosis / J. Y. Wang, A. H. Dorafshar, A. Liu [et al.] // *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*. – 2016. – Vol. 18, No. 3. – P. 275-280.
210. The role of SATB2 in skeletogenesis and human disease / X. Zhao, Z. Qu, J. Tickner [et al.] // *Cytokine and Growth Factor Reviews*. – 2014. – Vol. 25, No. 1. – P. 35-44.
211. Three-Dimensional-Printed Skull Models Improve Caregiver Understanding of Craniosynostosis: A Randomized Controlled Trial / K. J. Zhu, J. Chen, K. Niknejad [et al.] // *Cleft Palate-Craniofacial Journal*. – 2025.
212. Tibesar, R. J. Syndromic Craniofacial Disorders / R. J. Tibesar, A. R. Scott // *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*. – 2024. – Vol. 32, No. 1. – P. 141-156.
213. Tripathy, K. Hypertelorism / K. Tripathy, D. Ghosh // *StatPearls* [Internet]. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025.
214. Twigg, S. R. A Genetic-pathophysiological framework for craniosynostosis / S. R. Twigg, A. O. Wilkie // *American Journal of Human Genetics*. – 2015. – Vol. 97, No. 3. – P. 359-377.
215. Ultra-low-dose computed tomography with deep learning reconstruction for craniosynostosis at radiation doses comparable to skull radiographs: a pilot study / Y. Lyoo, Y. H. Choi, S. B. Lee [et al.] // *Pediatric Radiology*. – 2023. – Vol. 53, No. 11. – P. 2260-2268.
216. Using Perfusion Contrast for Spatial Normalization of ASL MRI Images in a Pediatric Craniosynostosis Population / C. A. de Planque, H. J. M. M. Mutsaerts, V. C. Keil [et al.] // *Frontiers in Neuroscience*. – 2021. – Vol. 15. – Art. 698007.
217. Utility of invasive intracranial pressure monitoring in children with craniosynostosis: relationship to clinical assessment, syndrome and surgical treatment / I. Mavrantoni, G. James, E. Mulholland, C. Craven // *Child's Nervous System*. – 2025. – Vol. 41, No. 1. – Art. 304.
218. Utilization of spectral filtration for ultra-low dose brain CT in pediatric patients for diagnosis of craniosynostosis: A phantom study / C. Braniff, M. Ditchfield,

M. Gubser [et al.] // Journal of Applied Clinical Medical Physics. – 2025. – Vol. 26, No. 7. – Art. e70176.

219. Varlas, V. N. Emphasis on Early Prenatal Diagnosis and Perinatal Outcomes Analysis of Apert Syndrome / V. N. Varlas, D. Epistatu, R. G. Varlas // Diagnostics. – 2024. – Vol. 14, No. 14. – Art. 1480.

220. Very low prevalence of intracranial hypertension in trigonocephaly / M. J. Cornelissen, S. E. Loudon, F. E. C. van Doorn [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2017. – Vol. 139, No. 1. – P. 97-104.

221. Visual development in children aged 0 to 6 years / A. Zimmermann, K. M. M. Carvalho, C. Atiye [et al.] // Arquivos Brasileiros de Oftalmologia. – 2019. – Vol. 82, No. 3. – P. 173-175.

222. Visual Outcomes of Children With Craniosynostosis / S. L. Painter, L. Wadlow, S. Kasbekar [et al.] // Journal of Craniofacial Surgery. – 2024. – Vol. 35, No. 8. – P. 2345-2350.

223. What's in a name? Accurately diagnosing metopic craniosynostosis using a computational approach / B. C. Wood, C. S. Mendoza, A. K. Oh [et al.] // Plastic and Reconstructive Surgery. – 2016. – Vol. 137, No. 1. – P. 205-213.

224. Whitsell, N. Craniosynostosis - A Review for Providers / N. Whitsell, L. Meyer // South Dakota Medicine. – 2021. – Vol. 74, No. 2. – P. 83-88.

225. Wu, X. Signaling Mechanisms Underlying Genetic Pathophysiology of Craniosynostosis / X. Wu, Y. Gu // International Journal of Biological Sciences. – 2019. – Vol. 15, No. 2. – P. 298-311.

226. Yamamoto, E. A Patient With Mild Trigonocephaly and Concomitant Horizontal Constricting Ring of the Skull / E. Yamamoto, N. Mitsukawa, Y. Yamaji // Journal of Craniofacial Surgery. – 2026. – Vol. 37, No. 2. – P. 123-127.

227. Zeppieri, M. Crouzon Syndrome / M. Zeppieri, T. Karsonovich, B. C. Patel // StatPearls [Internet]. – Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing, 2025.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Номер	Дата рождения	Номер истории болезни	Возраст (мес.)
Су61	26.07.2017	55807/A17	9
Су62	22.03.2017	68637/A18	18
Су63	06.06.2017	1796/A18	7
Су64	01.07.2017	61122/A17	6
Су65	15.06.2014	9088/A18	45
Су66	11.10.2017	1273/A18	3
Су67	04.04.2018	80468/A18	6
Су68	22.11.2018	44052/A19	7
Су69	30.03.2015	19852/A23	96
Су610	07.10.2017	45102/A18	8
Су611	20.05.2018	94476/A18	9
Су612	26.02.2017	9930/A18	14
Су613	03.06.2016	34790/A18	24
Су614	19.02.2013	46021/A19	47
Су615	26.12.2017	42933/A18	10
Су616	27.11.2015	34156/A19	44
Су617	21.03.2017	47413/A18	16
Су618	10.12.2013	21674/A18	55
Су619	28.07.2017	8025/A18	7
Су620	27.07.2017	9911/A18	9
Су621	02.05.2017	40966/A17	7
Су622	17.07.2017	17124/A18	14
Су623	20.05.2017	29419/A17	7
Су624	02.05.2017	6282/A18	12
Су625	24.07.2018	6519/A19	15
Су626	24.07.2018	6514/A19	15
Су627	22.05.2017	1230/A18	7
Су628	02.10.2016	8904/A18	16
Су629	02.03.2018	84407/A18	8
Су630	21.08.2014	34804/A16	46
Су631	10.07.2017	8960/A18	14
Су632	03.01.2017	52251/A17	12
Су633	04.08.2018	5758/A19	7
Су634	26.04.2015	83431/A18	43
Су635	13.11.2017	33109/A18	6
Су636	17.08.2017	1626/A18	5
Су637	25.04.2006	35712/A19	26
Су638	12.05.2016	7635/A18	22

Cy639	08.02.2012	30596/A18	75
Cy640	20.05.2017	17344/A18	11
Cy641	22.08.2017	52654/A17	3
Cy642	18.11.2016	68347/A16	17
Cy643	18.08.2017	22271/A18	9
Cy644	25.11.2013	18411/A18	40
Cy645	08.06.2018	66728/A18	4
Cy646	08.07.2016	35681/A18	22
Cy647	22.01.2023	26417/A23	3
Cy648	14.10.2021	124052/A22	14
Cy649	01.11.2022	57721/A23	8
Cy650	08.02.2019	24773/A19	16
Cy651	08.09.2021	7365/A22	16

Акт о внедрении результатов научно-квалификационной работы

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института медицинского образования
ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России

К.м.н., доцент

15.09.2025



Пармон Е.В.

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

1. Наименование предложения: проведение лекций, практических занятий и семинаров по теме: «Методы нейровизуализации в диагностике структурных и перфузионных изменений головного мозга у пациентов с краниосиностозами»

2. Краткая аннотация: комплексное применение КТ и МРТ позволяет выявить структурные и перфузионные изменения головного мозга у детей с краниосиностозами до и после хирургической коррекции

3. Эффект от внедрения: формирование новых компетенций, необходимых для самостоятельной профессиональной деятельности врача-специалиста по вопросам применения КТ и МРТ для диагностики функциональных и перфузионных изменений головного мозга у пациентов с краниосиностозами

4. Место использования предложения: кафедра лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой лечебного факультета ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России

5. Форма внедрения: внедрение результатов в виде лекции («КТ и МРТ-диагностика изменений головного мозга у пациентов с краниосиностозами»), практического занятия («Особенности применения различных методик КТ и МРТ для определения изменений головного мозга у пациентов с краниосиностозами»), а также семинара («Современное состояние вопроса диагностики изменений головного мозга у пациентов с различными формами краниосиностозов») по Программе подготовки кадров в ординатуре по специальности «Рентгенология»

6. Название темы научно-квалификационной работы: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами»

Очный аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой лечебного факультета ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России

Лукин М.В.



Руководитель базы внедрения:

Заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России
д.м.н., профессор

Труфанов Г.Е.



Заместитель директора ИМО по учебной и методической работе, декан лечебного факультета ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России
д.м.н., доцент

Кухарчик Г.А.



АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель Генерального директора по научной работе
ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России
академик РАН
Асепради А.О.

10.09.2025

А К Т
О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ
НАУЧНОЙ РАБОТЫ В КЛИНИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ

1. Наименование предложения: Разработка методик компьютерной и магнитно-резонансной томографии головного мозга у детей с краниосиностозами
2. Краткая аннотация: Предоставление усовершенствованных методик КТ и МРТ-протоколов головного мозга при обследовании пациентов с краниосиностозами, включающих проведение мультипланарных и трехмерных реконструкций при КТ, с последующим проведением морфометрических измерений и перфузионной МРТ, применение которых позволяет определить не только структурные изменения костей черепа и степень его деформации, но и изменения мозгового кровотока до и после хирургического лечения
3. Эффект от внедрения: Данные, полученные в результате настоящего исследования, позволяют получить одновременную информацию о структурных и перфузионных изменениях головного мозга у пациентов с краниосиностозами
4. Место и время использования предложения: Отдел лучевой диагностики и отделение магнитно-резонансной томографии Университетской клиники ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России
5. Форма внедрения: Разработаны методики КТ и МРТ-протоколов головного мозга у пациентов с краниосиностозами для определения структурных и перфузионных (количественная оценка) изменений головного мозга
6. Название темы научно-квалификационной работы (диссертации): «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами»

Автор: Лукин М.В. – очный аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России

Руководители подразделений – баз внедрения:

Заведующий отделом лучевой диагностики ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России

К.м.н., доцент Басек И.В.

Заведующий отделением магнитно-резонансной томографии ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России
Врач-рентгенолог Рыжков А.В.

в клиническую практику отделения лучевой диагностики ГБУЗ «Детский городской многопрофильный клинический центр высоких медицинских технологий им. К.А. Раухфуса» результатов научной работы кандидатской диссертации на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» аспиранта Лукина Максима Владимировича

Врач отделения к.м.н. Семенова Елена Сергеевна

Семенова Елена Сергеевна



УТВЕРЖДАЮ:

Главный врач

Санкт-Петербургского государственного
бюджетного учреждения
здравоохранения «Детская городская
больница Святой Ольги»
Начинкина Татьяна Александровна

«10» ноября 2025 г.

АКТ о внедрении

в клиническую практику кабинета магнитно-резонансной томографии Санкт-Петербургского государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Детская городская больница Святой Ольги» результатов научной работы кандидатской диссертации на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» аспиранта Лукина Максима Владимировича.

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

Заведующая кабинетом магнитно-резонансной томографии
К.м.н. Менькова Ирина Сергеевна

Врач-рентгенолог
К.м.н. Кукота Ульяна Александровна

удостоверяем, что результаты диссертационного исследования на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» Лукина Максима Владимировича - аспиранта кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России внедрены в диагностическую работу кабинета магнитно-резонансной томографии

Заведующая кабинетом магнитно-резонансной томографии
К.м.н. Менькова Ирина Сергеевна

Врач кабинета магнитно-резонансной томографии
К.м.н. Кукота Ульяна Александровна

УТВЕРЖДАЮ:

Главный врач
 "Детского городского многопрофильного
 клинического специализированного центра
 высоких медицинских технологий"
 доктор медицинских наук
 Гостимский Александр Вадимович

2025 года

А К Т О ВНЕДРЕНИИ

В клиническую практику рентгеновского отделения "Детского городского многопрофильного клинического специализированного центра высоких медицинских технологий" результатов научной работы кандидатской диссертации аспиранта Лукина Максима Владимировича на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

Заведующая рентгеновским отделением Голубева Мария Владиславовна

Врач рентгенолог кабинета МРТ, к.м.н. Кукота Ульяна Александровна

удостоверяем, что результаты диссертационного исследования на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» аспиранта Лукин Максима Владимировича кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России внедрены в клиническую работу отделения лучевой диагностики при проведении пациентам КТ и МРТ головного мозга с подозрением на краниocereбральную диспропорцию.

Заведующая рентгеновским отделением
 Голубева Мария Владиславовна

Врач отделения
 к.м.н. Кукота Ульяна Александровна



**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДИАТРИЧЕСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
Министерства здравоохранения Российской Федерации
(ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России)
194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2,
Тел.: (812)2950646,
E-mail: spb@gpmu.org; <http://www.gpmu.org>
ОКПО 01963226, ОГРН 1037804002389
ИНН/КПП 7802010020/780201001

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения
Российской Федерации
д.м.н. профессор



В.И. Орел

.....2025 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

в учебный процесс кафедры современных методов диагностики и радиолучевой терапии им. профессора С.А. Рейнберга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации результатов научной работы аспиранта Лукина Максима Владимировича на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами»

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

- заведующего кафедрой: д.м.н., проф. Рязанов В.В.
- профессора кафедры: д.м.н. Марченко Н.В.

удостоверяем, что результаты диссертационного исследования на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» аспиранта кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России Лукина Максима Владимировича внедрены на кафедре современных методов диагностики и радиолучевой терапии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России в лекцию «КТ и МРТ в диагностике изменений головного мозга при краниосиностозах», а также практическое занятие «Методики комплексной лучевой диагностики головного мозга при обследовании детей с краниосиностозами»

Заведующий кафедрой
д.м.н., профессор

Рязанов В.В.

Профессор кафедры
д.м.н.

Марченко Н.В.



**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДИАТРИЧЕСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
(ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России)
194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2,
Тел.: (812)2950646,
E-mail: spb@gpmu.org; <http://www.gpmu.org>
ОКПО 01963226, ОГРН 1037804002389
ИНН/КПП 7802010020/780201001

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по лечебной работе федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет»
Министерства здравоохранения
Российской Федерации



доцент, к.м.н.

Ю.В. Петренко

«20» 2025 года

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

в лечебно-диагностический процесс клиники и отделения лучевой диагностики с кабинетами компьютерной томографии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации результатов научной работы кандидатской диссертации на тему: Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» аспиранта Лукина Максима Владимировича

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

заведующего отделением лучевой диагностики с кабинетами компьютерной томографии Малекова Д.А., врача рентгенолога отделения, к.м.н. Дубицкого Д.Л., врача рентгенолога отделения Новокшенова Д.Ю.

удостоверяем, что результаты диссертационного исследования на тему: «Компьютерная и магнитно-резонансная томография в выявлении структурных и перфузионных изменений головного мозга у детей с краниосиностозами» аспиранта кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ИМО ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России Лукина Максима Владимировича внедрены в диагностический процесс отделения лучевой диагностики с кабинетами компьютерной томографии

Заведующий отделением лучевой диагностики
с кабинетами компьютерной томографии

Малеков Д.А.

Врач рентгенолог отделения:

Дубицкий Д.Л.

Врач рентгенолог отделения:

Новокшенов Д.Ю.

И.О. Главного врача клиники
ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России:

Скобелева К.В.