Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр
травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

На правах рукописи

Иванов Ярослав Александрович

ПОВРЕЖДЕНИЕ ПЕРЕДНЕЙ КРЕСТООБРАЗНОЙ СВЯЗКИ У ДЕТЕЙ. ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ

3.1.8 — травматология и ортопедия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
кандидат медицинских наук
А.Г. Ельцин

Москва, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4

Глава 1. Обзор литературы ……..……..……... 10

1.1. Факторы риска повреждения передней крестообразной связки…….. 12

1.2. Магнитно-резонансная томография коленного сустава…….. 13

1.3. Консервативное лечение пациентов
с разрывом передней крестообразной связки ……..…….. 15

1.4. Консервативное или оперативное лечение ….……..…….. 18

1.5. Оперативное лечение пациентов
с разрывом передней крестообразной связки……...….. 19

1.6. Лечение разрывов передней крестообразной связки
в острый период ..……..……..……..……. 25

1.7. Аномалии зон роста, связанные с реконструкцией
передней крестообразной связки ...……..…….……... 26

1.8. Повреждение зон роста бедренной и большеберцовой костей ....…. 28

1.9. Переломы межмыщелкового возвышения большеберцовой кости.... 29

1.10. Нарушение проприоцептивной чувствительности
при повреждении передней крестообразной связки ……...… 30

1.11. Реабилитация ……..……..…..…..…. 33

Глава 2. Материалы и методы 34

2.1. Общая характеристика 34

2.2. Методы исследования 34

Глава 3. Валидация и культурная адаптация опросников KOOS-Child
и Pedi-IKDC 38

3.1. Общий статистический анализ ……. 40

3.2. Проверка валидности опросников KOOS-Child и Pedi-IKD ...…….. 42

Глава 4. Лечение пациентов детского возраста при разрыве
передней крестообразной связки и антеромедиальной
нестабильностью коленного сустава ……..……...…….. 51

4.1. Консервативное лечение …….…… 51

4.2. Оценка структур коленного сустава пациентов детского возраста с повреждением передней крестообразной связки после консервативного лечения …..…….…..…..…..…. 51
4.3 Выявление взаимосвязи между критериями, определяющими качество результатов лечения пациентов……...…... 56
4.4. Определение костного возраста у детей с разрывом передней крестообразной связки …….…… 62
4.5. Оперативное лечение по классической методике реконструкции передней крестообразной связки ……..……..… 66
4.6. Оперативное лечение пациентов по методике all-inside в зависимости от костного возраста и ожидаемого роста ….....… 68
Глава 5. Анализ отдаленных результатов лечения пациентов детского возраста с открытыми и закрытыми зонами роста …..... 76
5.1 Статистический анализ результатов лечения ……. 82
Заключение …..... 99
Выводы 109
Практические рекомендации 111
Список сокращений ……... 112
Список литературы 113
Приложения …….…… 131

ВВЕДЕНИЕ

Особое место среди травм коленного сустава занимает травма передней крестообразной связки (ПКС). Эта связка — главный стабилизатор коленного сустава. Она содержит до 50 % всех проприорецепторов связочного аппарата коленного сустава, являющихся первичным звеном кинематической цепочки. Центробежные импульсы от проприорецепторов стимулируют адекватный мышечный ответ, обеспечивая механическую стабилизацию коленного сустава. При разрыве ПКС развивается нестабильность, нарушается опороспособность конечности и процесс ходьбы [87, 65, 98, 78].

В течение последних 20 лет отмечается постоянный рост травм ПКС и среди детского населения. Это обусловлено тем, что всё больше детей и подростков активно занимаются различными видами спорта, включая экстремальные. При обследовании молодых спортсменов в результате острой травмы у 47 % детей предподросткового возраста и у 65 % подростков обнаруживают разрыв ПКС [105].

Доля переломов межмыщелкового возвышения при повреждениях коленного сустава составляет 7 % общего числа травм коленного сустава у детей [80, 24, 59, 15]. Обычно такие переломы встречаются у детей младшего и среднего школьного возраста [124, 47, 96].

До настоящего времени нет единого мнения относительно характера лечения повреждений ПКС у детей с незрелым скелетом: консервативное, консервативное с отсроченной реконструкцией или ранняя реконструкция ПКС. Все исследователи согласны, что главная задача при выборе метода лечения повреждения ПКС у детей с незрелым скелетом — это безопасность вмешательства для обеспечения долгосрочного функционального результата, снижения риска осложнений и сохранения зон роста. При консервативном лечении сохраняется риск развития нестабильности и вследствие этого вторичного повреждения мениска и хрящевой поверхности коленного сустава. А при классическом оперативном лечении вероятен риск повреждения зон роста и вследствие этого образования угловых деформаций в коленном суставе. Однако в настоящее время стоит пересмотреть ведение пациентов с антеромедиальной нестабильностью коленного сустава.

Консервативное лечение предлагается пациентам до 14 лет с частичными разрывами ПКС, пациентам с отрицательным результатом теста смещения оси вращения и с разрывом менее 50 % волокон. Детям более старшей возрастной группы и с бóльшим объемом поражения рекомендуют пластику связки. Выбор метода лечения полного разрыва ПКС у скелетно-незрелого пациента сохраняет свою актуальность до настоящего времени.

Основным требованием при выборе метода реконструкции разрывов ПКС у детей и подростков является его соответствие анатомическим и физиологическим данным. Скелетный возраст — важный фактор, определяющий, какой метод использовать для реконструкции ПКС у молодых пациентов, в связи с этим хирург ограничен в выборе методик оперативного лечения. Существует ряд методик, помогающий выполнять проведение внутрикостных каналов до зоны роста как в бедренной, так и большеберцовой кости. Это в свою очередь отодвигает срок выполнения оперативного вмешательства в сторону более раннего возраста.

Особого внимания заслуживает также вопрос оценки функционального статуса коленного сустава. Шкала оценки помогает при сравнении данных до и после лечения и при постановке реабилитационного диагноза для дальнейшей работы с пациентом. Этот вопрос сохраняет свою актуальность и у пациентов детского возраста, которые нуждаются в такой же системе оценки. Часто встречается использование шкал, не предназначенных для групп детского возраста. Формулировка ряда вопросов может быть непонятна детям, либо неверно истолкована, что значительно увеличивает вероятность некорректного ответа, и как следствие, завышение или занижение суммарного количества баллов. Публикуясь в зарубежной литературе, необходимо помнить о важности упоминания и использования универсальных методов оценки, знакомых иностранным коллегам по собственной практике и применяемых повсеместно.

Таким образом, тема работы представляется актуальной, что служит основанием для проведенных нами исследований.

Цель исследования

Улучшить результаты лечения пациентов детского возраста при повреждении передней крестообразной связки.

Задачи исследования:

1. Провести анализ степени повреждения внутрисуставных структур коленного сустава (мениски, костная структура мыщелков, суставной хрящ) у пациентов консервативной группы для оценки результатов лечения.

2. Оценить результаты различных методик оперативного лечения детей и подростков с повреждением ПКС с закрытыми и открытыми зонами роста.

3. Разработать алгоритм лечения пациентов детского и подросткового возраста с повреждением ПКС коленного сустава на основании расчета костного возраста и прогнозируемого роста.

4. Выполнить валидацию и культурную адаптацию опросников Pedi-IKDC (Pediatric International Knee Documentation Committee) и KOOS-Child (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score for children) для их использования при оценке функционального статуса пациентов и дальнейшего применения в практике травматолога-ортопеда и врача-хирурга.

Объекты исследования

Проведено обследование и лечение 170 пациентов в возрасте от 10 до 18 лет. Из них 70 пациентов собственного клинического наблюдения и 100 пациентов в рамках валидации и культурной адаптации опросников.

Новизна исследования

В результате исследования проанализирована эффективность различных оперативных методик при оценке повреждений ПКС у детей и подростков с закрытыми и открытыми зонами роста.

Разработан алгоритм лечения пациентов с повреждением ПКС, основанный на расчете костного возраста и ожидаемого роста, для улучшения результатов.

Проведена валидация и культурная адаптация опросников Pedi-IKDC и KOOS-Child для оценки функционального статуса пациентов и дальнейшего использования в практике врача – травматолога-ортопеда и детского хирурга.

Практическая значимость работы

Для практических врачей, травматологов-ортопедов и детских хирургов разработан алгоритм лечения пациентов детского и подросткового возраста с повреждением ПКС коленного сустава, основанный на расчете костного возраста, ожидаемого роста и использовании опросников KOOS – Child и Pedi – IKDC.

Положения, выносимые на защиту

1. Расчет костного возраста по методу Таннера – Уайтхауса (TW2), его соответствие паспортному возрасту и прогноз роста обеспечивает обоснованный и аргументированный выбор вида оперативного лечения при нестабильности коленного сустава, определение направления тоннелей в большеберцовой и бедренной костях.
2. Применение валидизированных и культурно – адаптированных опросников Pedi – IKDC, KOOS – Child после травмы и на этапах лечения позволяет получить объективные данные о выраженности болевого синдрома, сложностях, связанных с коленным суставом при ежедневных нагрузках и при занятиях спортом, а также качестве жизни пациентов.
3. Анализ МРТ коленных суставов с клиническим осмотром и результатами анкетирования по опросникам Pedi – IKDC и KOOS – Child в ранние сроки после травмы, ближайшем и отдаленном периодах после консервативного лечения позволяет оценить состояние менисков, костно- хрящевых структур и стабильность сустава.

Внедрение полученных результатов в практику

Алгоритмы лечения пациентов детского возраста при разрыве ПКС внедрены в повседневную практику следующих лечебных учреждений: ГБУЗ ДОКБ г. Тверь, ГБУЗ «Вышневолоцкая ЦРБ», ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава РФ.

Апробация работы

Материалы работы представлены:

– на Конференции молодых ученых. VII Всероссийская научно-практическая конференция «Приоровские чтения – 2019». 13.12.2019. Москва. Тема доклада: «Лечение переломов межмыщелкового возвышения у детей и подростков»;

– конгрессе «Медицинская помощь при травмах». 29.02.2020. Тема доклада: «Повреждение ПКС у детей и подростков», Санкт-Петербург;

– конференции молодых ученых. VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Приоровские чтения – 2020». 11.12.2020. Тема доклада: «Анализ изменения структур коленного сустава при поврежденной передней крестообразной связке у детей»;

– VIII научно-практической конференции молодых ученых на английском языке «Будущее детской ортопедии и реконструктивной хирургии». Тема доклада: «Operative treatment of ACL injury in children» на английском языке. 30.04.2021. Санкт-Петербург.

Публикации

Всего опубликовано 5 статей. Из них 4 статьи в журнале, входящем в перечень ВАК, в том числе 2 статьи, индексируемые в Scopus:

1. Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Повреждение передней крестообразной связки у детей и подростков. Современные тенденции и исследования // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28, № 1, С. 89–107. DOI: 10.17816/vto51034
2. Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Валидация и культурная адаптация шкалы KOOS-Child // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021. Т. 28, № 1. С. 53–64. DOI: 10.17816/vto60489
3. Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Валидация и культурная адаптация шкалы Pedi-IKDC // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2021. Т. 9, № 2. С. 143–151. DOI: 10.17816/PTORS61685
4. Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Оперативное лечение антеромедиальной нестабильности коленного сустава при разрыве передней крестообразной связки у детей с открытыми зонами роста // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2021. Т. 9 (спецвыпуск). С.12-15.
5. Иванов Я.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. Оценка структур коленного сустава пациентов детского возраста с повреждением передней крестообразной связки после консервативного лечения // Гений ортопедии. 2022. Т.28, № 1. С.62–68. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-1-62-68

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, списка сокращений, списка литературы и приложений. Работа изложена на 145 страницах компьютерного текста, содержит 9 таблиц, 33 рисунка, 10 приложений (в виде статистических таблиц и двух валидированных и адаптированных опросников). Список литературы включает 137 литературных источников.

ГЛАВА 1. Обзор литературы

Коленный сустав из всех суставов организма наиболее подвержен травмам, среди которых особое место занимает повреждение ПКС. Эта связка служит главным стабилизатором коленного сустава и содержит до 50 % всех проприорецепторов связочного аппарата, которые являются первичным звеном кинематической цепочки. Центробежные импульсы от проприорецепторов стимулируют адекватный мышечный ответ, обеспечивая механическую стабилизацию коленного сустава. При разрыве ПКС развивается нестабильность, нарушается опороспособность конечности и процесс ходьбы [87].

В течение последних 20 лет отмечается постоянный рост травм ПКС среди детского населения. Он обусловлен тем, что всё больше детей и подростков стали активно заниматься различными видами спорта, включая экстремальные [87, 80, 105, 24, 124]. При обследовании травмированных молодых спортсменов с гемартрозом коленного сустава у 47 % детей предподросткового возраста и у 65 % подростков обнаруживается разрыв ПКС [117].

N.A. Beck, et al. [33] проанализировали случаи повреждений ПКС у детей и подростков в возрасте 6–18 лет в период 1993–2003 г. По их данным, средний показатель частоты травм ПКС составил 121 на 100 000 населения в год. Ежегодный прирост равнялся в среднем 2,3 % в год. Авторы отмечают, что большинство детей, получивших травму, были учениками средней школы.

В последнее время все чаще отмечается возрастание случаев повреждения ПКС и, соответственно, проведенных операций по ее реконструкции. В период с 2007 по 2011 г. в возрастных группах 10–14 лет число прецедентов увеличилось на 300, а в возрастной группе 15–19 лет — почти на 1000, как отмечает B.C. Warner, et al. [130].

Механизмы повреждения ПКС включают прямой контакт (непосредственное воздействие внешних сил, например удары), непрямой контакт, когда внешняя сила воздействует на туловище, боковую или переднюю поверхность бедра. Однако наиболее часто повреждения ПКС (в 60–70 % случаев) происходят вследствие

бесконтактного механизма. При изучении травм ПКС у детей и подростков с незрелым скелетом B.P. Boden, et al. [35] установили, что в 71 % случаев повреждения ПКС возникали именно бесконтактно.

Эпидемиологические исследования выявили значительно более высокую частоту травм ПКС среди девочек в возрасте 6–16 лет, чем среди мальчиков того же возраста [63].

Не стоит забывать и про ассоциированную травму совместно с разрывом ПКС: повреждение медиального мениска, суставного хряща и медиальной боковой связки (так называемая несчастная триада). J.T. Newman, et al. [102] отметили, что повреждение вышеуказанных структур более характерно для детей до 14 лет, а у пациентов старшего возраста (от 20 до 45 лет) такой зависимости не прослеживается и достоверно не выявлено какой-либо корреляции между повреждением наружного мениска и несвоевременно выполненной операцией по реконструкции ПКС. При этом фактором риска развития осложнений у лиц 20–45 лет является наличие ожирения. В связи с этим следует отметить важность раннего оперативного лечения детей с повреждением ПКС.

P. Vavken, et al. [127] также исследовали данный вопрос: в работе описаны истории болезни 208 пациентов со средним возрастом 15 ± 2 года. У 56 % наблюдалось хотя бы одно дополнительное к травме ПКС повреждение. 32 % имели повреждение медиального мениска, 35 % — латерального мениска, и 5 % пациентов — повреждение суставного хряща. Похожие результаты отмечают в своей работе A.J. Krych, et al. [82]. К значимым предикторам травмы мениска и хряща они относят увеличенный индекс массы тела и время, прошедшее с момента травмы до проведения восстановительной операции (вероятность повреждения суставного хряща и медиального мениска на 10 % больше при увеличенном индексе массы тела, а каждый отложенный срок на месяц для проведения операции увеличивает на 6 % риск вышеперечисленных травм).

1.1. Факторы риска повреждения передней крестообразной связки

Не стоит забывать о биомеханических различиях в коленных суставах между спортсменами, получавшими травмы и без травм. T.E. Hewett, et al. [65] отметил, что биомеханические нарушения у спортсменок с травмой ПКС проявляются в нарушении объема движений и неправильной нагрузке на коленный сустав в период приземления после прыжка.

Позднее S. Holden, et al. [66] также оценили характер приземления у молодых спортсменов-подростков со средним возрастом 13 лет. Полученные результаты подтвердили, что спортсменки демонстрируют биомеханику приземления, приводящую к травме больше, чем их сверстники спортсмены.

Факторами риска повреждения ПКС у детей и подростков признаны: семейная предрасположенность, полиморфизм коллагена, женский пол и гормональное влияние, нейромышечные и нейрокогнитивные реакции, предшествующие травмы. На предрасположенность к травме ПКС влияют также анатомические особенности коленного сустава: уменьшение ширины межмыщелковой выемки, увеличенный наклон большеберцовой кости.

Среди внешних факторов, провоцирующих повреждение ПКС, рассматриваются погодные условия, состояние игровой поверхности, обувь спортсмена [115, 47].

Существует мнение, что в период интенсивных темпов роста возрастает риск травматизма. Такие особенности детского и подросткового возраста, как отставание минерализации кости от ее линейного роста, местное снижение физической силы мышцы за счет ее натяжения повышают вероятность травмы.

Вопрос возраста не однозначен в отношении травматизма [38]. Предположительно, риск травмы в спорте выше у подростков, в связи с нарастающей мышечной силой и массой. Однако связь между возрастом/уровнем спортсмена и травмами уходит больше в вид спорта.

Несколько неоднозначные выводы следуют из работы H. Moksnes, et al. [98], в которой также изучали пациентов, которым проводили консервативное лечение.

Сообщается, что у 28,5 % из них наблюдалось повреждение медиального мениска, а у 7,1 % — повреждение суставного хряща, что совпадает с данными прооперированной контрольной группы. Несмотря на отсутствие разницы в отношении повреждения мениска и суставного хряща, у 32 % пациентов все же была проведена операция по пластике ПКС в связи с наличием антеромедиальной нестабильности коленного сустава. Еще одна проблема таких исследований состоит в том, что в большинстве из них не учитывали показатель костной зрелости пациентов, что может вызвать затруднения при выборе тактики лечения. Следует обратить внимание, что исследования такого плана лучше проводить в ключе рандомизированных, но препятствием для этого могут стать значительные объемы финансовых и клинических затрат [54]. Такие результаты свидетельствуют о необходимости оценки риска развития нестабильности при выборе варианта лечения.

1.2. Магнитно-резонансная томография коленного сустава

Для диагностики характера повреждения ПКС в острых состояниях, особенно когда затруднено клиническое обследование, используют магнитно-резонансную томографию (МРТ), обладающую высокой чувствительностью и специфичностью.

Магнитно-резонансная томография играет ключевую роль в постановке правильного диагноза и определения дальнейшей тактики лечения пациента [27, 106]. Данный метод исследования также может помочь при неоднозначном клиническом диагнозе и избежать ненужных хирургических вмешательств [93].

Мощность магнитного поля (Тесла) при МРТ-исследованиях — одна из тех переменных, которые могут играть решающую роль в обнаружении тех или иных повреждений коленного сустава. Стандартом диагностики считают использование аппаратов мощностью не ниже 1,5 Тесла. P. Van Dyck, et al. [126] сравнивали результаты диагностики различных повреждений ПКС и менисков после применения аппаратов 1,5 и 3 Тесла у одних и тех же людей (в исследовании

принимали участие 200 человек). В итоге авторы не обнаружили существенной разницы между аппаратами.

J. van der List, et al. [125] изучили особенности локализации разрывов ПКС у 274 детей и подростков в возрасте 6,9–18,0 года. В группе травмированных девочки составили 59 %. Авторы использовали следующую градацию типов повреждения ПКС, выявленных при МРТ:

1-й тип — культя с отрывом от бедренной кости (15 % общего числа травмированных);

2-й тип — проксимальный разрыв (23 %);

3-й тип — средний разрыв (52 %);

4-й тип — дистальный разрыв (1 %);

5-й тип — культя с отрывом от большеберцовой кости (8 %).

Было отмечено, что в зависимости от возраста пострадавших менялась локализация травмы ПКС. Так, самая травматичная группа — это дети 6–10 лет, у которых 93 % повреждений принадлежали 5-му типу; среди детей 11–13 лет по 32 % травм были 1-го и 3-го типов и по 16 % — составили 2-й и 4-й. Среди подростков (14–17 лет) преобладали травмы 3-го типа (67 %), 25 % травм были отнесены ко 2-му и 14 % — к 1-му [125].

У пациентов с открытыми зонами роста МРТ используют для предоперационного планирования в целях безопасной реконструкции разрывов ПКС. V.G. Swami, et al. [118] провели МРТ-анализ, оценивающий высоту эпифиза большеберцовой кости, а также ширину латерального мыщелка бедренной кости. Это исследование показало, что высота эпифиза большеберцовой кости в среднем составляла 15,9 мм и существенно не изменялась в возрасте от 10 до 14 лет. Эти значения могут быть полезны при планировании положения костного тоннеля во избежание последующего нарушения роста.

1.3. Консервативное лечение пациентов с разрывом передней крестообразной связки

До сих пор нет единого мнения относительно характера лечения повреждений ПКС у детей с незрелым скелетом: консервативное, консервативное с отсроченной реконструкцией или ранняя реконструкция ПКС. Все исследователи согласны, что главной задачей при выборе метода лечения представляется безопасность вмешательства для обеспечения долгосрочного функционального результата, снижения риска осложнений и сохранения зоны роста. При консервативном лечении сохраняется риск развития нестабильности, повреждения мениска и хряща, при оперативном лечении — риск повреждения зоны роста.

Согласно имеющимся данным, консервативное лечение предлагается педиатрическим пациентам до 14 лет с частичными разрывами ПКС, пациентам с отрицательным тестом Лахмана (Lachman-test) и с разрывом менее 50 % волокон. Детям более старшей возрастной группы и с большим объемом поражения рекомендуется пластика связки [76].

В 1983 г. F.R. Noyes, et al. [103] сформулировали правило 1/3 для прогноза результативности неоперативного лечения при травмах ПКС. По мнению авторов, 1/3 травмированных возвращается к прежним нагрузкам без оперативного лечения, другая 1/3 пострадавших вынуждена будет снизить уровень активности, чтобы избежать пластики связки, и последнюю 1/3 составляют травмированные, кому пластика ПКС необходима.

В настоящее время консервативное лечение состоит из специальной программы физиотерапии коленного сустава, обязательных программ, направленных на проприоцептивную/нервно-мышечную тренировку (комплекс упражнений для развития равновесия, координации движений, двигательной чувствительности и пр.). Кроме того, лечение должно включать систематическое клиническое наблюдение с целью выявления любой повторяющейся нестабильности или признаков повреждения мениска и хряща, что является одной из основных проблем консервативного лечения.

I. Kostogiannis, et al. [79] провели проспективное исследование оценки функции коленного сустава и уровня активности у 67 пациентов через 15 лет после травмы ПКС. Для оценки использовали тест Лахмана. Средние значения показателя через 1 и 3 года наблюдения составили 96 и 95 соответственно, к 15-му году показатель был равен 86. По шкале Tenger Activity Score определяли уровень активности. До травмы средний уровень находился в районе 7 баллов, а в течение периода наблюдения стабильно снижался, несмотря на незначительное повышение у 8 больных к третьему году наблюдения, и к 15-му году — был минимальным. Авторы связывают снижение активности с нарушением стратегии лечения, а именно с рекомендацией избегать контактных видов спорта, а также с психологическими состояниями пациентов.

Имеются сообщения об изменениях в функциональном состоянии и активности коленного сустава в результате неоперативного лечения разрывов ПКС [51]. Под наблюдением находились 46 детей в возрасте до 12 лет. Занятия физическими упражнениями контролировали с помощью online-опроса. Через 2 года наблюдения у 36 детей были оценены функциональное состояние коленных суставов и уровень активности (изокинетическая мышечная сила, тесты на прыжки на одной ноге). Проведенная оценка была идентичной для обоих коленных суставов в 90 % случаев. В то же время 38 % детей с дефицитом ПКС изменили спортивный уровень с первого на второй. Авторы сделали вывод, что при травме ПКС у детей с незрелым скелетом может быть использован консервативный подход, но некоторым из них потребуется снижение уровня спортивной активности.

G.R. Ekas, et al. [50] представили функциональные исходы у 44 пациентов, перенесших травму ПКС в возрасте до 13 лет и получивших либо только консервативное лечение с активной реабилитацией, либо консервативное лечение и отсроченную реконструкцию связки. В течение 8 лет наблюдения 24 пациентам (55 %) была выполнена реконструкция ПКС и 16 (36 %) — операция на мениске. Симметрия силы четырехглавой мышцы >90 % была выявлена у 30 пациентов (68 %). Средние показатели симметрии силы ног (прыжки и силовые тесты)

составили >90 %, за исключением теста на один прыжок и мышечной силы hamstring у пациентов, перенесших реконструкцию связки. 90 % больных сохранили спортивную активность, при этом 66 % ограничили уровень активности. Авторы сделали вывод, что активная реабилитация может сыграть положительную роль в лечении детей с разрывом ПКС: около 50 % травмированных могут обойтись без хирургического вмешательства. В то же время почти у 50 % пациентов может развиться нестабильность, а треть могут нуждаться в операции на мениске.

В дальнейшем через 9,5 лет после травмы ПКС была проведена оценка частоты возникновения новых повреждений менисков и хрящевой ткани у 47 пациентов, получивших активную реабилитацию без первоначальной реконструкции (43 человека) и первоначально выполненную реконструкцию связки (4 человека). На момент осмотра реконструкция ПКС была проведена 27 больным (57 %). При последней МРТ (3 Тесла) выявлено, что 14 пациентов (30 %) имели разрывы менисков, 13 (28 %) — повреждения хрящевой ткани. Изменения на противоположной стороне выявлены у 8 человек, из них повреждения мениска у 2 пациентов, изменения хряща — у 5, и у одного — субхондральный перелом. У двоих выявлена разница в длине ног >15 мм, также у двоих выявлена разница в положении коленного сустава, составляющая >5°. Был сделан вывод, что активная реабилитация и отсроченная реконструкция, если необходимо, могут быть оправданным и безопасным вариантом лечения детей с травмой ПКС. Однако у активных детей консервативное лечение может привести ко вторичным повреждениям мениска, хряща и дегенеративным изменениям [50].

С целью анализа эффективности консервативного лечения разрыва ПКС и определения прогностических факторов реконструкции связки A. Madeline, et al. [91] выполнили проспективное наблюдение за 53 детьми с разрывами ПКС в течение 31,5 мес. (22,3–49,3 мес.). На момент осмотра средний возраст детей, получивших травму, составил 14,4 года (12,6–15,5 года). Результаты исследования показали, что значения по шкале спортивной активности (Tenger Activity Score) остались прежними. В то же время 19 обследуемых детей (36 %) при последнем осмотре испытывали нестабильность коленного сустава. МРТ выявила у 9

пациентов (17 %) разрыв мениска, из которых одному была проведена менискэктомия. 21 пациенту (40 %) была выполнена реконструкция связки. Авторы заключили, что консервативное лечение, проводимое в течение 4 лет, было успешным. По мнению авторов, нестабильность, выявляемая при первичном осмотре, может стать противопоказанием к консервативному лечению, и в этом случае должен обсуждаться вопрос о ранней реконструкции ПКС.

1.4. Консервативное или оперативное лечение

Выбор метода лечения полного разрыва ПКС у скелетно-незрелого пациента сохраняет свою актуальность до настоящего времени. Анализ публикаций по восстановлению ПКС у детей в период 1970–2018 г., проведенный A. Dingel, et al. [48], показал, что в большинстве статей, посвященных консервативному лечению травмы ПКС, отмечают вторичные повреждения хряща и мениска. В то же время заключается, что неоперативное лечение пациентов с разрывом ПКС может быть приемлемым при низкой физической активности пострадавшего.

D.E. Ramski, et al. [107] выполнили метаанализ сравнения исходов между 217 пациентами с разрывом ПКС, часть из которых лечилась консервативно, а другим была проведена реконструкция ПКС. Вторую группу составили 353 пациента с разрывом ПКС после ранней и отсроченной реконструкции связки. Результаты сравнения показали, что при консервативном лечении разрыва связки 75 % пациентов испытывали нестабильность, а после оперативного лечения — 13,6 %. После консервативного лечения разрывы мениска были зарегистрированы в 9,1 раза чаще (35,4 % против 3,9 %). Ни один пациент с разрывом ПКС, получивший консервативное лечение, не вернулся к прежнему уровню спортивной активности. Среди прооперированных в спорт вернулось 85,7 % пациентов. Авторы отдают предпочтение ранней хирургической стабилизации по сравнению с неоперативным лечением или отсроченной реконструкции при разрывах ПКС. Метаанализ выявил несколько тенденций с предпочтением ранней хирургической стабилизации по сравнению с неоперативным или отсроченным лечением. Пациенты после

неоперативного и отсроченного лечения испытали бóльшую нестабильность, патологическую слабость и неспособность вернуться к предыдущим уровням активности, чем пациенты, получавшие раннюю хирургическую стабилизацию [107].

Позднее подобное исследование было выполнено K.L. Dunn, et al. [49]. После изучения базы данных и рефератов американских и европейских обществ травматологов-ортопедов они пришли к аналогичным выводам. Полученные результаты свидетельствовали, что ранняя реконструкция разрывов по сравнению с консервативным лечением и отсроченной реконструкцией ПКС приводит к меньшей нестабильности и более вероятному возвращению к прежнему уровню активности, не затрагивает зоны роста и не вызывает нарушение роста.

1.5. Оперативное лечение пациентов с разрывом передней крестообразной связки

Поскольку консервативное лечение полного разрыва ПКС у детей и подростков достаточно часто осложняется нестабильностью, повреждениями менисков и хрящевой ткани, то сторонников ранней реконструкции ПКС становится все больше. При этом метод должен быть физиологически соответствующим и щадящим. Скелетный возраст — это важный фактор, определяющий, какой метод использовать для реконструкции ПКС у молодых пациентов. Поэтому предоперационная оценка включает обязательную оценку костного возраста.

P.J. Lang, et al. [84] приводят алгоритм лечения детей и подростков с полным разрывом ПКС в соответствии с возрастом травмированных:

1. Препубертатный возраст: девочки до 11 лет, мальчики до 12 лет. По шкале Таннера (Tanner scale), описывающей половое созревание детей, подростков и взрослых, — I–II стадия. Таким пациентам предлагается выполнить реконструкцию ПКС, не задевающую зоны роста (all-epiphyseal).

2. Подростки с сохранением ростковой зоны: девочки 12–14 лет, мальчики 13–16 лет, по шкале Таннера — II–III стадия. Рекомендована physeal-соответствующая реконструкция (в зависимости от стадии активного роста пациента) ПКС мягкотканым трансплантатом, метафизарная фиксация.
3. Подростки с закрытыми или почти закрытыми зонами роста: девочки старше 14 лет, мальчики старше 16 лет, по шкале Таннера — IV–V стадия. Рекомендуется реконструкция ПКС, как у взрослых.

При изучении отечественной литературы по вопросу оперативного лечения травм ПКС у детей однозначных показаний не выделено. Р.Ш. Садыков и соавт. [17] в 2016 г. провели анализ отдаленных результатов по исходам пластики ПКС у детей с открытыми зонами роста, резекции и сшиванию менисков. Артроскопическую операцию проводили 68 пациентам. Из них на долю повреждения ПКС пришлось 37 человек. Помимо классической методики реконструкции ПКС с применением аутотрансплантата также был использован синтетический трансплантат, который впоследствии был расценен как нежелательный, ввиду наличия «эффекта стеклоочистителя». В заключении статьи сделан вывод, что оперативная пластика ПКС у детей с функционирующими зонами роста нежелательна и операцию следует выполнять после их закрытия.

Однако А.И. Брянская и соавт. [4] в 2015 г. в своей работе подчеркивает важность ранней стабилизации коленного сустава, несмотря на трудоемкость операции в связи с размерами стандартного инструментария при пластике ПКС и близости расположения зон роста.

Существует три распространенных метода реконструкции ПКС при открытых зонах роста: all-epiphyseal с использованием трансплантата мягких тканей, комбинированная внесуставная и внутрисуставная реконструкция с использованием подвздошно-большеберцового трансплантата.

Техника all-inside

Технику all-inside (все внутри) широко применяют для хирургического лечения нестабильности коленного сустава у пациентов с незакрытыми зонами роста (моложе 18–20 лет). Применение данной методики позволяет обойти ростковые зоны и избежать их повреждения. Таким образом, полностью исключается риск серьезных осложнений, связанных с нарушением зон роста. В литературе она описана достаточно полно [86,95]. Одним из первых эту технику привел A.F. Anderson, et al. [26].

При оценке результатов all-inside и all-epiphyseal реконструкции ПКС у детей с продолжающимся в течении 3–6 лет ростом скелета (средний возраст 23 пациентов был равен 11,3 года) через 2 года после операции не выявлено значительных нарушений роста. У 6 больных разница в длине ног составила 5 мм. IKDC был равен 94,6, тест Lisholm — 97,8, тесты Лахмана и pivot-shift были отрицательными. Возвращение к спортивной активности наступило в среднем через 19,5 мес. [43].

Сравнительный анализ ближайших результатов реконструкции ПКС у детей подросткового возраста с использованием различных методик был представлен М.Р. Салаховым и В.В. Авраменко [18]. Изолированная пластика ПКС с формированием бедренного канала по транстибиальной методике проведена 32 пациентам, с формированием бедренного канала через дополнительный переднемедиальный артроскопический доступ — 32 пациентам, и по методике all-inside — также 32 пациентам. Оценка результатов реконструкции ПКС через год после операции показала, что переднезадняя и ротационная стабильность коленного сустава, оценка по шкале IKDC 2000 и Lisholm были лучше в третьей группе.

Совершенствование техники реконструкции ПКС продолжается по следующим направлениям: уменьшение хирургической травмы, улучшение анатомического положения трансплантата, повышение прочности его прикрепления, стимуляция регенерации мест прикрепления, модификация послеоперационной реабилитации. Техника all-inside отвечает большинству

требований. Период выздоровления пациента после реконструкции ПКС в значительной степени связан со скоростью интеграции трансплантата в окружающие ткани.

Тем не менее методики безопасной и эффективной техники реконструкции поврежденной ПКС у пострадавших с незавершенным ростом продолжают развиваться.

Комбинированная техника

Учитывая постоянный рост числа травм ПКС и выполненных реконструктивных операций, единого мнения относительно оптимальной техники реконструкции ПКС у детей с сохранением оставшегося роста ≥2 лет не достигнуто. Изучение линейных и угловых нарушений конечностей, оценка состояния трансплантата и функциональные результаты лечения у подростков после частичной трансфизарной реконструкции ПКС проведено C.C. Chambers, et al. [40]. Методика включала проведение костного тоннеля в бедренной кости, не проходя через зону роста, а большеберцовый тоннель проходил через нее. Операция была выполнена 24 пациентам, средний возраст 12 ± 0,9 года. Мальчики составили 79,2 %. Срок наблюдения — 31 ± 17,1 мес. В общем нарушение роста отмечено в 16,7 % (у 4 пациентов из 24), но для детей с запасом роста 5 лет частота нарушения роста составила 66,7 % (у двух из трех). Ревизия ПКС проведена двоим. Pedi-IKDC равнялся 94,8 ± 5,3. Авторы заключают, что данная техника обеспечивает хороший функциональный результат, сравнимый с реконструкциями thransphyseal и all-epiphyseal, но рекомендована пациентам, имеющим запас роста ≤5 лет.

Оценку изменений у детей с незавершенным ростом (18 мес.) после реконструкции ПКС по той же технике формирования тоннелей в бедренной кости провели S. Mathew, et al. [94]. Всего в исследовании было 12 пациентов со средним возрастом 13,4 года (от 12,3 до 14,4). За период наблюдений (средний — 2,27 года) не было различий в длине конечностей и отсутствовали образования угловых деформаций.

Техника over the top

Внесуставная и внутрисуставная реконструкция ПКС с использованием подвздошно-большеберцового трансплантата одной из первых упомянута в работах L.J. Micheli, et al. [97] и M.S. Kocher, et al. [74]. Это не анатомичные реконструкции, которые не требуют бурения туннелей.

В 2015 г. S.C. Willimon, et al. [131] оценили результаты лечения по этой методике 21 пациента, с минимальным сроком наблюдения 3 года. В целом были получены отличные результаты с высокими оценками по шкале: IKDC — 97, Lysholm — 95. Не было выявлено никакой разницы в длине ног. По мнению авторов, этот метод, учитывая его безопасность и эффективность, является физиологически щадящей реконструкцией ПКС и предпочтительным для у детей с незрелым скелетом.

M.S. Kocher, et al. [75] оценили клинический результат лечения 225 детей (240 коленных суставов) препубертатного возраста (по шкале Таннера — I–II стадия), которым была проведена комбинированная внутри- и внесуставная реконструкция ПКС с подвздошно-большеберцовым трансплантатом. Средний период наблюдения составил 25,8 мес. Результаты обследования показали, что в 96,8 % случаев тест Лахмана был отрицательный. Разрыв трансплантата наблюдался в 6,6 % случаев (9 детей). Средний балл по шкале активности Tegner — 7,8. В 48,8 % случаев была отмечена боковая асимметрия бедра (в месте забора трансплантата). Разницы в длине конечностей и угловой деформации выявлено не было. Таким образом, по мнению авторов, эта операция показала отличные функциональные результаты, с минимальным риском нарушения роста и низкой частотой разрывов трансплантата у детей с незрелым скелетом в препубертатном возрасте.

Отдаленные результаты реконструкции ПКС техникой over the top, выполненной 42 пациентам с незрелым скелетом представлены в работе R.M. Lanzetti, et al. [85]. Операции 42 подросткам (30 мальчиков и 12 девочек) были выполнены одним хирургом. Средний возраст пациентов 12,5 лет (11–14 лет). Срок наблюдения составил 96 мес. у 22 больных. Ни нестабильности коленного сустава,

ни разницы в длине ног зарегистрировано не было. Средние значения IKDC и Tegner – Lisholm равнялись 94,8 и 94,78 соответственно. Реабилитационный период составил 7,3 мес. Все прооперированные вернулись к прежнему уровню спортивной активности.

Техника transepiphyseal

Первое описание техники сделал A.F. Anderson в 2003 г. [25].

Было проведено множество ретроспективных исследований по оценке данной техники реконструкции ПКС. В период 2000–2007 г. S. Kumar, et al. [83] выполнили 84 пластики ПКС у детей с открытыми зонами роста. Диаметр туннелей не превышал 9 мм. Трансплантат в бедренной части фиксировали при помощи подвешивающей системы в тибиальной части — с помощью винта. Авторы отметили лишь 1 случай вальгусной деформации коленного сустава.

R. Calvo, et al. [39] проанализировали результаты лечения 27 пациентов с незрелым скелетом, которым выполняли реконструкцию ПКС аутотрансплантатом semitendinosus-gracilis. Срок наблюдения составил 10 лет. В течение длительного времени результаты поддерживались со средним баллом Lysholm — 92 и IKDC — 94. Всего было зафиксировано 4 (14,8 %) разрыва трансплантата. Из этих четырех случаев 3 (11,1 %) были связаны с травматическими разрывами трансплантата при занятиях контактными видами спорта, а 1 (3,7 %) был выявлен артроскопически после прогрессирующей нестабильности. В дальнейшем была проведена оценка результатов еще в семи группах с количеством пациентов от 15 до 30. Средние баллы Lysholm и IKDC для всех этих серий были >90.

При ретроспективной оценке результатов реконструкции ПКС у 103 детей в возрасте 6,3–15,7 года (средний срок наблюдения 21 мес.) частота осложнений составила 16,5 %, в том числе 11 повторных разрывов (10,7 %) и 1 случай (<1,0 %) клинического несоответствия длины ноги. Никакой связи в возникновении осложнений с полом, возрастом, индексом массы тела, типом и толщиной трансплантата выявлено не было. Сгибание коленного сустава в период от 6 нед.

до 6 мес. улучшалось в среднем на 20°. Однако в этой работе авторы не сообщали о функциональных показателях коленного сустава после его реконструкции [45].

1.6. Лечение разрывов передней крестообразной связки в острый период

С развитием новых медицинских технологий и медицинского оборудования предлагаются новые методики восстановления ПКС у детей, в том числе включая свежие разрывы связки.

Фиксация культи разорванной связки при помощи подвешивающей системы 3 пациентам (6–7 лет) описана в работе J.O. Smith, et al. [116]. У всех пациентов на момент осмотра была выраженная антеромедиальная нестабильность и положительный pivot-shift-тест. При повторной артроскопии не было выявлено повреждений хряща и менисков. ПКС была стабильна, держалась в месте прикрепления и сохраняла тонус, также отсутствовали признаки импиджмента. После удаления фиксирующих структур пациенты возвращались к прежней активности спустя 4 мес. Ограничений движений в коленном суставе не наблюдалось. По данным двухлетнего наблюдения нарушения роста прооперированной конечности отмечено не было.

Артроскопическое восстановление полного разрыва ПКС, усиленное временным внутренним «брейсом», у 20 детей в возрасте до 16 лет провели J.H. Lubowitz [90] et al. и J. Dabis, et al. [46]. Фиксирующее устройство было удалено через 3 мес. Через 2 года после восстановления ПКС показатели по шкалам Lisholm и Tegner составили 95 и 7 соответственно.

Так называемая техника BEAR (bridge-enhanced ACL repair), подробно описанная в статье A.M. Kiapour, et al. [69], дополняет вышеописанный метод современными клеточными технологиями. В исследовании пациенты в возрасте от 18 до 35 лет с полным разрывом ПКС были разделены на 2 группы. В первой группе проведена стандартная пластика ПКС, в то время как для второй группы методикой выбора стала BEAR. Данная хирургическая операция проходит в несколько этапов, ее принцип сводится к ушиванию разорванной крестообразной связки, установке

каркаса внеклеточного матрикса между культей и местом прикрепления связки с последующим введением плазмы, обогащенной тромбоцитами (PRP — platalet rich plasma). После двухлетнего наблюдения за пациентами были выполнены МРТ-исследования, по результатам которых сравнивались поперечные срезы восстановленных связок и трансплантатов со здоровыми ПКС с контрлатеральных конечностей. Связки, восстановленные по технологии BEAR, через 24 мес. с момента операции имели схожую толщину с контрольной связкой.

Описанные техники заслуживают более подробного изучения и обширного применения в практике как у взрослых групп населения, так и у групп детского возраста. Перспектива восстановления свежего разрыва ПКС у детей методом BEAR довольно привлекательна в силу малотравматичности и укорочения восстановительного периода вследствие анаболического воздействия введенной плазмы, обогащенной тромбоцитами (PRP), на скорость регенерации тканей.

S.E. Wong, et al. [132] проводил сравнение различных методов реконструкции разрывов ПКС у пациентов с незрелым скелетом. В период 1985–2016 г. проанализировано 45 исследований: 1321 больной, 1392 коленных суставов. Средний возраст пациентов — 13 лет. Мальчиков — 67 %. Средний срок наблюдения — 49,6 мес. Повторные разрывы составили 8,7 %. Нарушение роста отмечено у 58 пациентов. Угловая деформация развилась у 18 детей. У 37 пациентов зафиксирована разница в длине конечностей. В заключение авторы отмечают, что нарушение роста возможно при любой технике реконструкции ПКС. Наиболее важным, по мнению авторов, является хирургическая техника, а не тип реконструкции. Большее внимание должно быть уделено нарушению роста и предупреждению повторного разрыва связки.

1.7. Аномалии зон роста, связанные с реконструкцией передней крестообразной связки

В обзоре литературы по тематикам, связанным с повреждением ростковых зон, M.J. Collins, et al. [41] проанализировали 21 исследование с 1986 по 2015 г.

Всего насчитывалось 313 пациентов. По результатам, в общей сложности, у 39 человек были выявлены аномалии зон роста (13 % общего числа). Из них у 29 наблюдалась разница в длине нижних конечностей, а у 10 — угловая деформация (6 случаев включали в себя обе аномалии). Средний возраст пациентов составил 12–13 лет, 89 % из них — лица мужского пола. Наиболее часто в качестве трансплантата служили сухожилия ST (semitendinosus) и G (gracilis) (58 %), сухожилие четырехглавой мышцы (13 %), сухожилие собственной связки надколенника BTB (от англ. bone-to-bone — от кости до кости) (13 %). Самой используемой хирургической методикой на бедре была transepiphyseal (через зоны роста) — 54 %, extraphyseal (over the top) составила 18 % и all-inside (all-epiphyseal) — 15 %. На большеберцовой кости: transepiphyseal — 77 %, extraphyseal — 19 % и all-inside (all-epiphyseal) — 10 %. Фиксацию трансплантата в бедре при помощи подвешивающей системы проводили в 52 % случаев, при помощи винта на большеберцовой кости — в 55 %.

Стоить отметить, что в 18 случаях (62 %) к нарушению разницы длины ног привело увеличение длины прооперированной конечности. Данный феномен наблюдается и при переломах дистального конца бедренной кости, что связано с повышенной васкуляризацией и митотической активностью зоны роста. В проведенном анализе проявление данного феномена не зависит от хирургической техники. Из 18 случаев увеличения длины прооперированной конечности 9 (50 %) составили техники, не задевающие зон роста, 8 (44 %) — классические методики (в одном случае не была указана техника).

Укорочение конечности было зарегистрировано в 11 из 29 случаев (38 %) вследствие неправильной установки костного блока или фиксатора через ростковую зону, из-за чего и возникало блокирование последней.

Угловая деформация после пластики ПКС у детей с открытыми зонами роста была отмечена в 16 случаях (количество случаев варусной деформации коленного сустава преобладало). Техники, «не задевающие зон роста», в равной степени с классическими методиками влияли на деформацию. Со стороны бедренной кости зарегистрировано 8 случаев повреждения зон роста и 4 — со стороны

большеберцовой кости. У остальных 4 пациентов локализация деформации неизвестна. Все 4 случая деформации со стороны большеберцовой кости приходились на transphyseal-технику. Однако из 8 случаев со стороны бедренной кости 3 приходились на технику all-epiphyseal. В заключение своей работы автор сделал акцент, что, несмотря на большой объем исследования, многие клинические наблюдения не были включены в него, в силу отсутствия документальных данных. Это создает пробелы в понимании этиологии и факторов риска развития описанных деформаций. Не было также указаний на клиническую значимость (удовлетворенность пациента операцией, качество жизни) тех или иных деформаций после пластики ПКС, что может иметь решающее значение при выборе техники операции. В связи с большой разрозненностью полученных данных, невозможно провести статистический анализ для выявления факторов риска и причинно-следственных связей.

Важность проблемы закрытия ростковых зон после пластики ПКС у детей и подростков также подчеркивает G.D. Shifflett, et al. [114] в описании 4 случаев. По результатам работы только один пациент не имел осложнений, в то время как трем другим детям потребовалась дополнительная операция.

Перечисленные выводы дают почву для будущих исследований, которые помогут в понимании описанных процессов.

1.8. Повреждение зон роста бедренной и большеберцовой костей

E.A. Mäkelä, et al. [92] в своей исследовательской работе травмировали зоны роста у 44 кроликов. При помощи дрели высверливали отверстия диаметром 2 и 3,2 мм. В первом случае просверленное отверстие в диаметре составляло 13 % диаметра зоны роста. Во втором — 20 %. По итогам исследования сделан вывод, что при разрушении зоны роста в размере 13 % не наблюдалось значительных нарушений в росте кости. Однако при разрушении зоны роста в размере 20 % общей площади наблюдалось значительное укорочение конечности. Данное исследование не проводилось на людях и, вероятно, не учитывался факт сверления

отверстия под углом при пластике ПКС, что также увеличивает процент повреждения зоны роста [78].

В своем ретроспективном исследовании W.J. Yoo, et al. [135] изучали МРТ-снимки 43 пациентов, которым была выполнена transphyseal-пластика ПКС с использованием мягкотканого трансплантата. Средний возраст составил 14,8 года. Среднее время наблюдения 16 мес. Среднее соотношение площади поперечного сечения костного туннеля и зоны роста составило 2,6 % (диапазон 1,7–3,6 %) в проксимальном отделе большеберцовой кости и 2,3 % (диапазон 1,6–3,4 %) в дистальном отделе бедренной кости. Предоперационные МРТ-исследования не выявили очаговых аномалий зон роста. На контрольных МРТ-изображениях bone bridge (место просверливания тоннеля через зону роста, в которой произошло ее травмирование и, как следствие, локальное закрытие) наблюдалось у 5 пациентов из 43 (11,6 %; 4 на уровне большеберцовой кости и 1 на уровне бедренной кости). Клинически нарушений роста не было выявлено. Периодическую боль в коленном суставе отмечали 5 пациентов, незначительное ограничение движений в суставе (<10°) — 4 пациента. К прежнему уровню физической активности вернулся 41 пациент.

1.9. Переломы межмыщелкового возвышения большеберцовой кости

Доля переломов межмыщелкового возвышения при повреждениях коленного сустава составляет 7 % общего числа травм коленного сустава у детей и подростков [59, 36]. Обычно такие переломы встречаются у детей младшего школьного возраста и подросткового периода [15]. Стандартно для I и II типов переломов по классификации Meyers & McKeever [96] применяется гипсовая иммобилизация в течение 4 нед. Артроскопическая же фиксация в настоящее время считается золотым стандартом в лечении пациентов с переломами III и IV типов.

В работе M.L. Molander, et al. [99] приведено наблюдение за 35 пациентами с диагностированным переломом межмыщелкового возвышения (28 детей и 7 взрослых), по классификации Meyers – McKeever. По результатам исследования:

14 пациентам из 17 с III типом перелома проводили консервативное лечение. После длительного наблюдения, в отдельных случаях до 22 лет, у 5 человек отмечались жалобы на дискомфорт в коленном суставе после интенсивных физических нагрузок. Описанные данные в очередной раз подтверждают обоснованность принятия решения в пользу оперативного лечения при III и IV типах переломов межмыщелкового возвышения. Следует также отметить, что существует большое количество вариантов фиксации отломка: канюлированные винты [73], якорные фиксаторы [128], резорбируемые винты [88], металлическая проволока [31, 15] и т.д. Из всех методик отдельного внимания заслуживает остеосинтез межмыщелкового возвышения проволочной петлей под контролем артроскопа в силу своей атравматичности и простоты исполнения.

В работе В.Н. Меркулова и соавт. [15] за период с 2000 по 2012 г. указанным методом было пролечено 54 человека с переломами межмыщелкового возвышения в возрасте от 5 до 18 лет. По результатам работы у 81,1 % результаты были отличные, у 12,1 % — хорошие, и только у 6,8 % — удовлетворительные. Срок наблюдения составил в среднем 1 год. Все пациенты вернулись к прежнему уровню активности.

1.10. Нарушение проприоцептивной чувствительности при повреждении передней крестообразной связки

В обеспечении нормальной кинематики коленного сустава огромную роль играет проприоцептивная чувствительность. Данная тема всегда привлекала внимание исследователей. Проприоцепция (проприорецепция) — ощущение положения частей собственного тела относительно друг друга и в пространстве.

В коленном суставе существуют различные типы механорецепторов, которые в свою очередь делятся на инкапсулированные и свободные нервные окончания. К инкапсулированным относятся: тельца Руффини, тельца Пачини, сухожильные тельца Гольджи [58, 137, 12].

М.П. Лисицын и Т.М. Андреева [12] в 2001 г. провели подробный обзор литературы на тему проприоцептивной функции крестообразного комплекса коленного сустава. В обзоре была упомянута работа T.J. Limbird, et al. [89], где проводили электромиографию мышц бедра во время ходьбы, при этом заметили, что при нагрузке на поврежденный сустав фиксировалась повышенная активность мышц задней группы и сниженная активность четырехглавой мышцы бедра. В связи с этим наступает гипотрофия мышц бедра на поврежденной конечности, что представляется одним из клинических признаков повреждения ПКС. Это может быть расценено как адаптационный механизм, так как повышенная активность мышц задней группы, которые являются синергистами ПКС, способствуют стабильности коленного сустава.

Установлено, что после реконструкции ПКС сохраняется гипотрофия *m. quadriceps*. Известный факт, что чем выраженнее гипотрофия четырехглавой мышцы бедра, тем меньше объем сгибания в суставе. Для решения данной проблемы существует специфическая реабилитация, направленная на устранение атрофии и улучшение проприоцептивной функции [30].

В ряде исследований подтверждена реиннервация трансплантата, что также доказывает пользу специфической реабилитации. R.M. Biedert и E.B. Zwick [34] проводили обследование 12 человек с пластикой ПКС при помощи электромиографии. В течение 1,8 года (средний срок наблюдения) авторы отметили изменения в мышечном ответе при раздражении ПКС при помощи теста Лахмана, что свидетельствовало о появлении новых сенсорных рецепторов.

В 2018 г. Д.В. Федулова и К.А. Бердюгин [20] изучали процессы изменения проприорецепции после сочетанной травмы ПКС и мениска коленного сустава. Авторы сделали вывод, что данный вид травмы приводит к плохим показателям на поврежденной конечности. Также отмечается, что двигательная чувствительность нарушается только со стороны повреждения и не затрагивает здоровую конечность. При использовании баланс-тренинга зафиксировано улучшение проприоцептивной чувствительности и есть возможность ее восстановления.

При исследовании реиннервации ауто- и аллотрансплантатов ПКС не найдено

доказательств значительной реиннервации механорецепторов трансплантатов ПКС у людей. Не наблюдалось также разницы между ауто- и аллотрансплантатами [83].

Д.В. Федулова в 2017 г. анализировала результаты развития двигательной чувствительности в период восстановительного лечения после травмы ПКС [19]. Автор пришла к выводу, что недостаток проприоцепции ощущается при угле сгибания в 30°, а также, что при реабилитационных мероприятиях, направленных на развитие баланса и координацию двигательной чувствительности, проприоцепция на поврежденной конечности приближается к здоровой.

В 2020 г. D. Rebmann, et al. [109] проводили иммуногистохимический анализ механорецепторов в человеческих трансплантатах ПКС. В исследовании участвовали 33 пациента. Из них: у 3 пациентов использовали аллотрансплантат PBTB (patellar bone-tendon-bone — кость – сухожилие – кость надколенника) , у 14 — аутотрансплантат PBTB, и у 12 человек — аутотрансплантат GST (*m. gracilis, m. semitendinosus*). В контрольной группе были пациенты со свежим повреждением ПКС. Во всех трансплантатах присутствовали 2 типа механорецепторов: тельца Руффини и свободные нервные окончания. Самое большое количество механорецепторов было зафиксировано в трансплантате GST. А количество свободных нервных окончаный в GST- и PBTB-аутотрансплантатах. Аллотрансплантаты имели низкое содержание механорецепторов. Стоит отметить, что данное исследование является первым в отношении обнаружения механорецепторов в человеческом трансплантате ПКС. Авторы также указывают на частичное увеличение количества рецепторов со временем, что может говорить об реиннервации трансплантата.

В литературе есть описание исследования рефлекторной дуги ACL-hamstring (anterior cruciate ligament hamstring — передняя крестообразная связка сухожилия полусухожильной и тонкой мышц) после пластики ПКС [123]. Авторы описали клинические случаи трех пациентов в возрасте 28–30 лет, в анамнезе которых проводилась пластика ПКС аутотрансплантатом PBTB. Период наблюдения составил 37, 80 и 59 мес. Пациенты проходили повторную артроскопию, во время

которой при помощи электрода стимулировалась ПКС. Параллельно со стимуляцией связки выполняли электромиографию двуглавой мышцы бедра и полусухожильной мышцы. В двух случаях отмечалась повышенная активность электромиографии, что является положительным сигналом в отношении восстановления проприоцептивных свойств трансплантантата.

1.11. Реабилитация

Реабилитация пациентов детского возраста после пластики ПКС заслуживает особого внимания. В отечественной и зарубежной литературе имеются различные мнения по данному вопросу [53, 55, 23, 60, 133]. Однако, несмотря на это, прослеживаются общие принципы относительно разгрузки прооперированной конечности, контроля за отеком, постепенного увеличения объема движений и сроков возвращения к занятиям спортом (6–12 мес.).

В 2013 г. М.Б. Цыкунов [22] в своей работе поднимает вопрос оценки патологии опорно-двигательного аппарата. Он приходит к однозначному выводу, что экспертный анализ невозможен без использования шкал. Этот вопрос сохраняет свою актуальность и у пациентов детского возраста, которые нуждаются в разработке эффективной программы реабилитации на основании данных шкал оценки.

L.M. Kruse, et al. [81] в систематическом обзоре пришли к интересным выводам относительно реабилитации после пластики ПКС. Они не отметили никаких принципиальных отличий между использованием разных типов ортезов, их длины и ношением этих медицинских приспособлений в принципе. Не было также отмечено негативных последствий для пациентов, начавших в ранние сроки разработку движений в объеме сгибания коленного сустава от 0 до 90°. Несмотря на большое количество исследований в области реабилитации, очень незначительный процент из них рассматривает возможность возвращения в спорт и его сроки с момента начала реабилитации.

ГЛАВА 2. Материалы и методы

2.1. Общая характеристика

В работе проанализированы данные 170 человек. Все пациенты проходили лечение в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России. Из них 100 человек принимали участие в исследовании по валидации и культурной адаптации опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC.

В группу консервативного (контрольная группа — КГ) и оперативного лечения (ОЛ) вошло 70 человек. Из них 25 пациентам проводили консервативное лечение. Остальным 45 выполнено оперативное лечение в объеме артроскопической пластики ПКС (26 — по классической методике, 19 — по методике all-inside).

Возраст пациентов составил от 11 до 18 лет (средний 14,89 года), из них мужского пола — 49, женского пола — 21. Средний срок наблюдения составил 13,98 мес. Самый ранний возраст пациента, которому проводили оперативное лечение, составил 11 лет, максимальный — 17 лет.

Большинство пациентов получили травму во время занятия спортом (93 %). У 100 % по данным МРТ-исследования и артроскопической ревизии был полный разрыв ПКС. У 62 % пациентов культя ПКС была подпаяна к задней крестообразной связке, у 38 % — свободно лежащая. Помимо разрыва ПКС у 76 % пациентов наблюдалось повреждение менисков, у 40 % — остеохондральные повреждения мыщелков бедренной кости.

2.2. Методы исследования

У пациентов КГ и группы ОЛ собирали жалобы и анамнез заболевания, проводили клинический осмотр. Основной жалобой было наличие нестабильности в коленном суставе. В анамнезе заболевания в момент травмы: пациенты резко останавливались во время маневра, меняли направление во время бега, прыжок или приземление сопровождались резкой болезненностью, контактные повреждения.

При осмотре: наличие гипотрофии мышц бедра, болезненность при пальпации в суставных щелях, проведены тесты «переднего выдвижного ящика», Лахмана и pivot-shift, анкетирование. Оценивались данные МРТ-исследований.

В отдаленном периоде пациентам КГ и ОГ также проводилось анкетирование, клинический осмотр и МРТ. МРТ является объективным методом исследования, так как помимо множества режимов и стандартных проекций существуют специфичные, которые визуализируют непосредственно ПКС и позволяют оценить ее структуру или ее отсутствие.

Критерии включения в группы исследования:

- полный разрыв ПКС;
- возраст до 18 лет;
- отсутствие пластики ПКС в анамнезе;
- развитие антеромедиальной нестабильности.

Критерии исключения:

- частичный разрыв ПКС;
- возраст старше 18 лет;
- отсутствие нестабильности.

В группу консервативного лечения было отобрано 25 пациентов. Из них 17 мужского и 8 женского пола. Срок наблюдения составлял до 2,7 года (33 мес.). Пациенты наблюдались через 6, 12 нед. и 12 мес. после травмы.

В исследование не вошли пациенты, у которых помимо разрыва ПКС наблюдались переломы межмыщелкового возвышения и повреждение боковых связок, задней крестообразной связки.

Пациентам выполняли как минимум два МРТ-исследования (в первые недели после травмы и в различные сроки после первого исследования) на аппарате мощностью не менее 1,5 Тесла. Средний срок между выполнением 1-го и 2-го МРТ-исследования составил 13 мес., минимальный — 2 мес., максимальный — 33 мес. У 19 человек МРТ было выполнено на одном и том же аппарате, а у 6 — на

разных. Пациентам назначали консервативную терапию в объеме иммобилизации в ортезе в течение 4 нед., курс нестероидных противовоспалительных препаратов и последующую реабилитацию.

Для выявления взаимосвязей между критериями, определяющими качество результатов лечения пациентов, использовали методы статистического анализа, состоящие из теории параметрического и непараметрического корреляционного анализа.

Во вторую группу (ОЛ) вошло 45 человек. Она была разделена на 2 подгруппы. В 1-й подгруппе — 26 пациентов с закрытыми зонами роста, которым выполняли пластику ПКС с проведенением каналом через зоны роста. Во 2-й подгруппе — 19 человек с пластикой ПКС по методике all-inside, из них 12 пациентов с открытыми зонами роста, 9 из которых выполняли пластику ПКС по методике all-inside partial transphyseal и 3 пациентам — по методике all-inside all epiphyseal.

План предоперационного планирования состоял из оценки костного возраста и прогнозируемого роста с целью выбора оптимальной техники оперативного лечения, который основывается на данных костного возраста по рентгенографии кисти и ожидаемого роста. В послеоперационном периоде пациентам с пластикой по методике all-inside проводили контрольную рентгенографию с целью оценки положения каналов в большеберцовой и бедренной костях, а также правильного положения подвешивающей системы.

Рентгенография кисти позволяла оценить костный возраст пациента, который мог отличаться от паспортного. Дополнительно проводили расчет ожидаемого роста пациента по формуле в зависимости от пола (1. для мальчиков= рост отца+ рост матери/2+6.5см.; 2. для девочек= рост отца+ рост матери/2-6.5см). Данные процедуры с большой точностью позволяют оценить ожидаемый период роста пациента, что имело большое значение при выборе операционной тактики (таблица 1).

Таблица 1 — Тактика лечения в зависимости от ожидаемого роста пациента

Ожидаемый период роста пациента	Тактика лечения
Менее 1 года роста	Классическая методика
	Стандартные тоннели all-inside
1–5 лет роста (<5 см)	All-inside partial transphyseal (с частичным прохождением тоннелей через зоны роста)
Более 5 лет роста (>5 см)	All-inside all epiphyseal (тоннели проходят, не задевая зоны роста)

Статистическая обработка в работе по валидации и культурной адаптации опросников KOOS- Child и Pedi-IKDC состояла из трех этапов:

1. Общий анализ статистических данных, расчет базовых статистических показателей, оценка их закона распределения. Информация, полученная на этом этапе, позволит в дальнейшем выбрать статистические методы и критерии для решения поставленных задач.

2. Проверка валидности опросников как в целом, так и отдельных их заданий, то есть обоснованность и пригодность применения его вопросов для достижения задачи оценки состояния пациентов.

3. Проверка адекватности, объективности результатов, полученных при опросе, или насколько соответствуют результаты, полученные по опроснику, аналогичным результатам, полученным иными методами.

ГЛАВА 3. Валидация и культурная адаптация опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC

Травмы коленного сустава у детей на сегодняшний день — актуальная медико-социальная проблема ввиду возрастающей частоты встречаемости [56, 72, 113, 112, 57, 42]. Наиболее уязвимые анатомические структуры колена — это мениски, крестообразные и боковые связки. Спектр проблем, связанных с повреждением структур коленного сустава, требует не только оперативного или консервативного подходов в лечении, но и стандартизованной оценки статуса пациента [21]. Оптимальным инструментом, позволяющим грамотно провести подобный анализ, является шкала оценки состояния пациента [64].

Существует значительное количество успешно использующихся для этого опросников, но в подавляющем большинстве область их применения ограничивается пациентами только взрослой возрастной категории [68, 111, 120].

Однако, несмотря на эту важную особенность, на практике нередко можно встретить использование шкал, не предназначенных для групп детского возраста, детским травматологом-ортопедом.

Формулировка ряда вопросов может быть непонятна детям, либо неверно истолкована, что значительно увеличивает вероятность некорректного ответа, и как следствие, завышение или занижение суммарного количества баллов [122]. Публикуясь в зарубежной литературе, необходимо помнить о важности упоминания и использования универсальных методов оценки, знакомых иностранным коллегам по собственной практике и применяемых повсеместно.

К такой системе оценки можно отнести шкалы KOOS-Child и Pedi-IKDC. Данные опросники являются адаптированными для детей и достаточно часто упоминаются в зарубежной литературе. В дополнение к вышесказанному следует добавить, что KOOS-Child и Pedi-IKDC переведены на многие языки [122, 100]. Этот факт демонстрирует, что типы вопросов этих опросников понятны большому количеству врачей различных языковых групп. В 2017 г. Международный олимпийский комитет собрал экспертную группу хирургов-ортопедов и

физиотерапевтов, кто специализируется на лечении детей с повреждениями ПКС. В отношении оценки результатов лечения перечислялось применение различных шкал, в том числе и KOOS-Child [28]. Данный факт подчеркивает востребованность использования этого опросника.

Немаловажным является валидация и культурная адаптация. Данная процедура включает в себя значительный объем работ. Опросник должен быть переведен группой специалистов в составе профессиональных переводчиков и врачей со знанием английского языка на уровне advanced. После перевода необходимо утвердить версию опросника для клинических испытаний.

Процедура валидации и культурной адаптации, проведенная в нашей работе, соответствует общепринятым стандартам [32]. В исследовании приняли участие 100 пациентов в возрасте до 18 лет, из них 51 мужского и 49 женского пола. Поскольку опросники являются универсальными в отношении повреждения различных структур коленного сустава, было принято решение о включении в исследование групп валидации и культурной адаптации пациентов не только с разрывом ПКС, но с повреждением задней крестообразной связки и менисков. Пациентов опрашивали по разработанным опросникам KOOS-Child и Pedi-IKDC, а также по апробированному и хорошо зарекомендовавшему себя тесту Lysholm. При этом учитывалось то, что опросник KOOS-Child позволял получать результат не только в целом, но и по категориям KOOS-Child Pain, KOOS-Child Symptom, KOOS-Child ADL, KOOS-Child Sport/Rec и KOOS-Child QOL.

3.1. Общий статистический анализ

На первом этапе были рассчитаны основные статистические показатели [3, 6, 8]:

среднее — среднее значение, полученное по выборке, основной статистический показатель, изменение которого характеризует итоговое значение для опросника;

дисперсия — характеризует квадрат разброса выборочных значений вокруг среднего.

Показатели описательной статистики для результатов опроса по методикам KOOS-Child (и его категориям), Pedi-IKDC и Lysholm приведены в приложении А1.

Для выбора статистических методов обработки результатов опроса была проведена проверка вида распределения исследуемых показателей по критерию согласия Пирсона [3], которая на уровне значимости, не превышающем 0,05, показала, что результаты опроса по всем методикам распределены по нормальному закону. Расчеты произведены с использованием статистического пакета прикладных программ Statgraphics. Это же подтверждает анализ гистограмм частот результатов опроса, которые изображены на рис. 1–3, а также малые значения эксцесса и асимметрии.

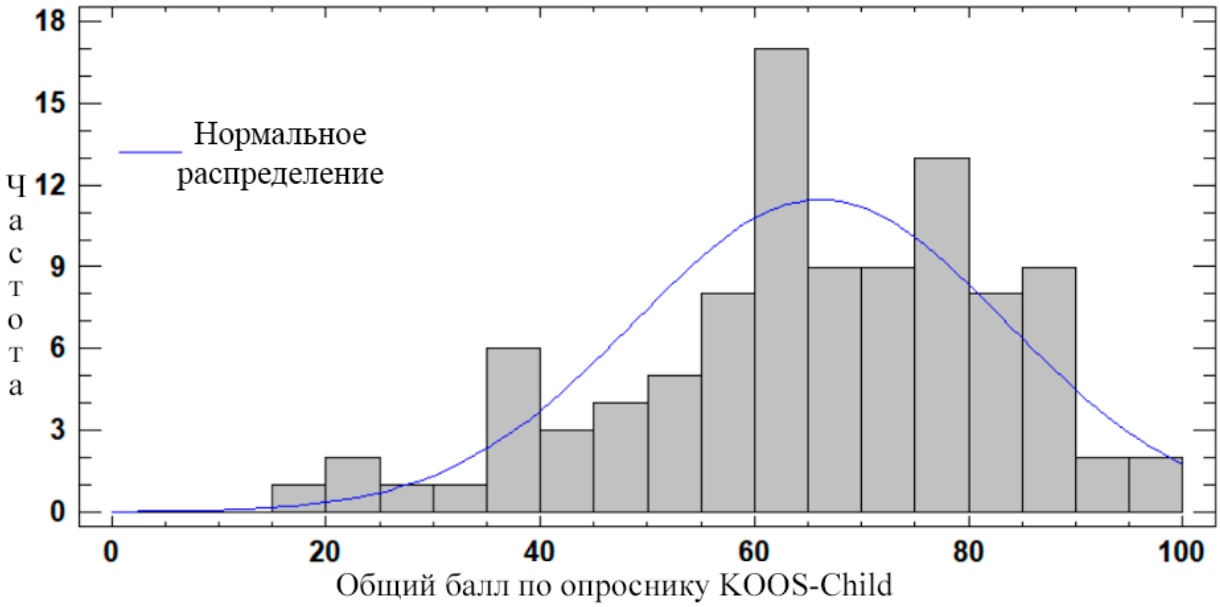

Рисунок 1 — Гистограмма распределения результатов опроса пациентов по опроснику KOOS-Child с кривой плотности нормального распределения (изображение получено в программе StatGraphics на основе данных автора)

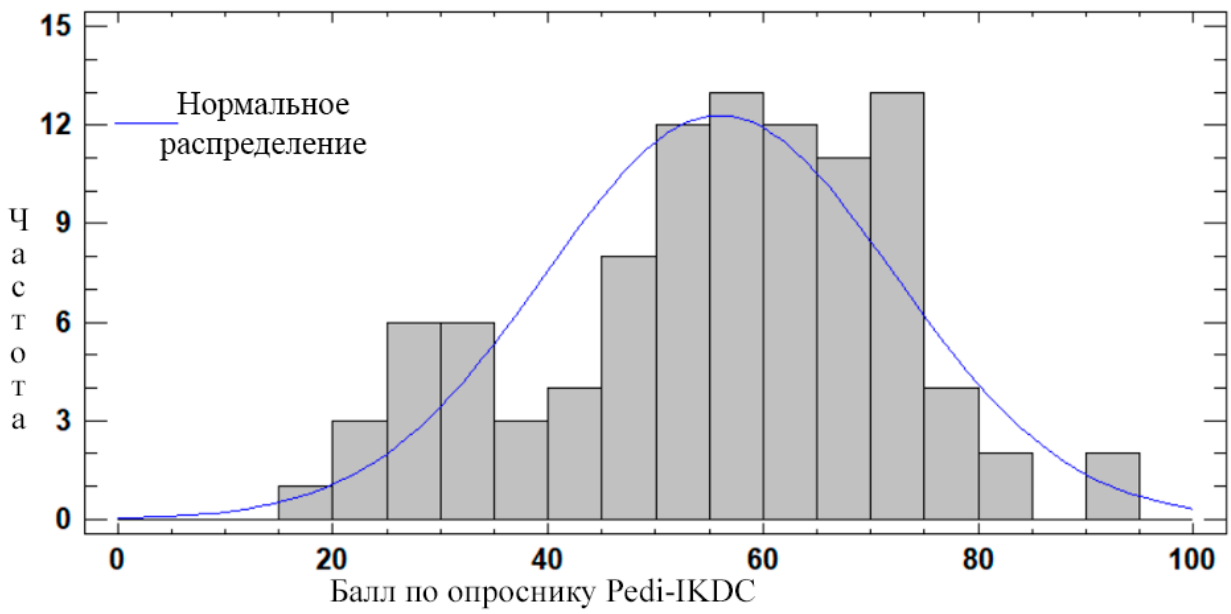

Рисунок 2 — Гистограмма распределения результатов опроса пациентов по опроснику Pedi-IKDC с кривой плотности нормального распределения (изображение получено в программе Statgraphics на основе данных автора)

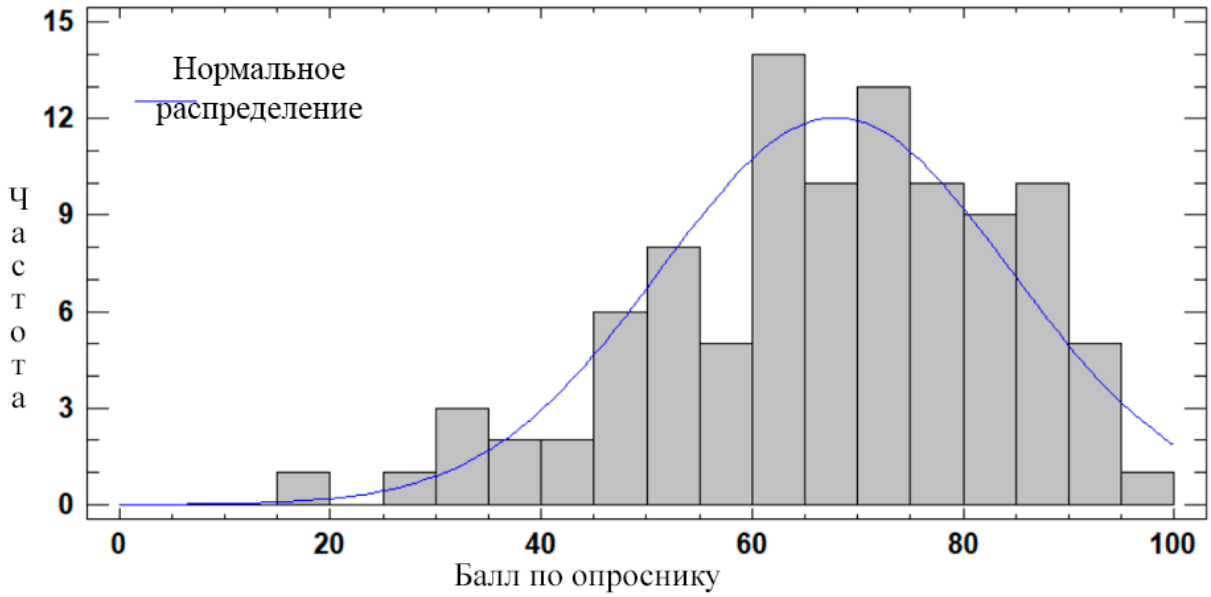

Рисунок 3 — Гистограмма распределения результатов опроса пациентов по опроснику Lysholm с кривой плотности нормального распределения (изображение получено в программе StatGraphics на основе данных автора)

Статистическое обоснование нормальности распределения результатов опроса позволило применять параметрические методы математической

статистики, основанные на нормальном распределении в статистическом анализе, в частности, для выявления зависимостей между показателями это обосновывает возможность применения коэффициента корреляции Пирсона [3, 6].

3.2. Проверка валидности опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC

На втором этапе проведена проверка валидности опросников. Под валидностью будем понимать обоснованность и пригодность применения теста для достижения задачи оценки состояния пациентов. Валидность будет иметь три составляющие: выполнимость, дискриминативность и согласованность заданий, подтвержденную с помощью α-теста Кронбаха.

Выполнимость вопросов

Очевидно, что вопросы должны быть составлены так, чтобы дифференцировать пациентов по уровню их состояния здоровья. Если на некоторый вопрос большинство пациентов дают максимальный или минимальный ответ, то этот вопрос не будет объективно оценивать состояние пациента. Под выполнимостью или сложностью вопроса будем понимать средний уровень ответов на него по единичной шкале, полученный на основании всей группы пациентов.

Пусть опросник имеет M вопросов и по нему проводится обследование N пациентов. Обозначим через u_{ij} оценку i-го пациента по j-му вопросу. Тогда уровень выполнимости D_j для j-го вопроса можно рассчитать по формуле [1]:

$$D_j = \frac{1}{N \cdot H_j} \sum_{i=1}^{N} u_{ij}; \quad j = 1, 2, ..., M, \tag{1}$$

где H_j — максимальное значение оценочной шкалы вопроса.

Считается, что вопрос обладает нормальной выполнимостью, если $0{,}1 \le D_j \le 0{,}9$. Результаты расчета выполнимости каждого вопроса для опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC приведены на графиках (рисунки 4, 5).

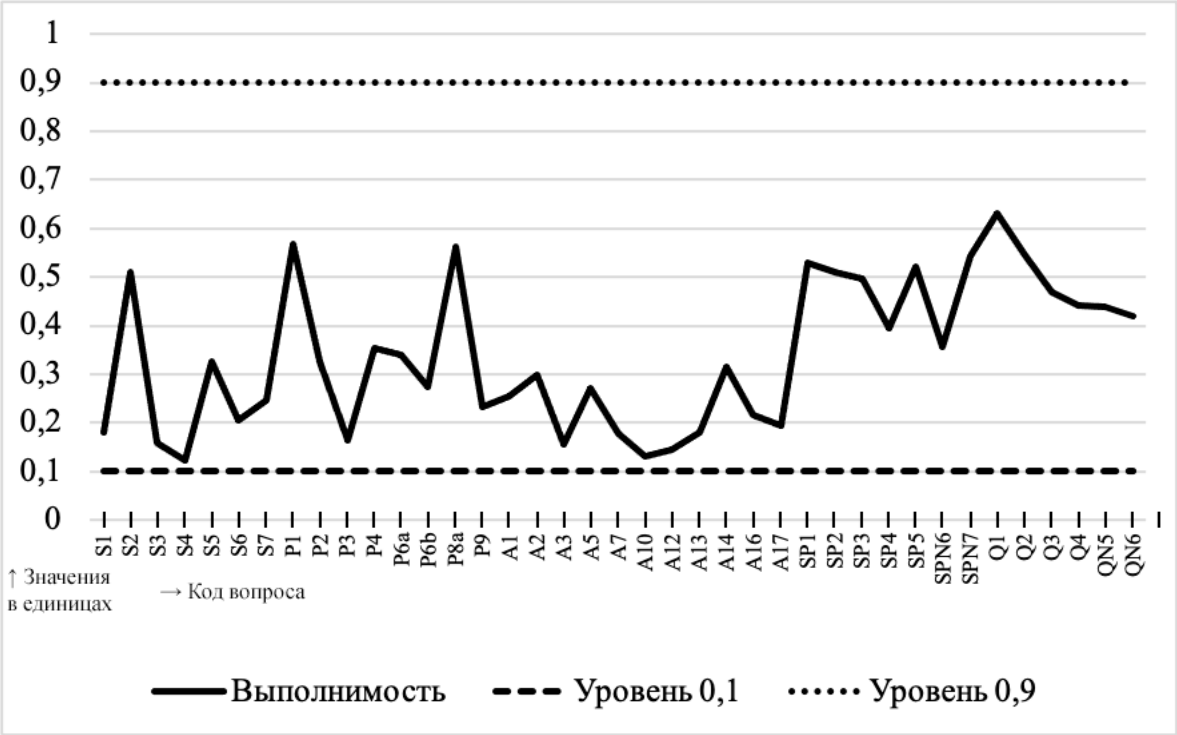

Рисунок 4 — Проверка выполнимости вопросов для опросника KOOS-Child

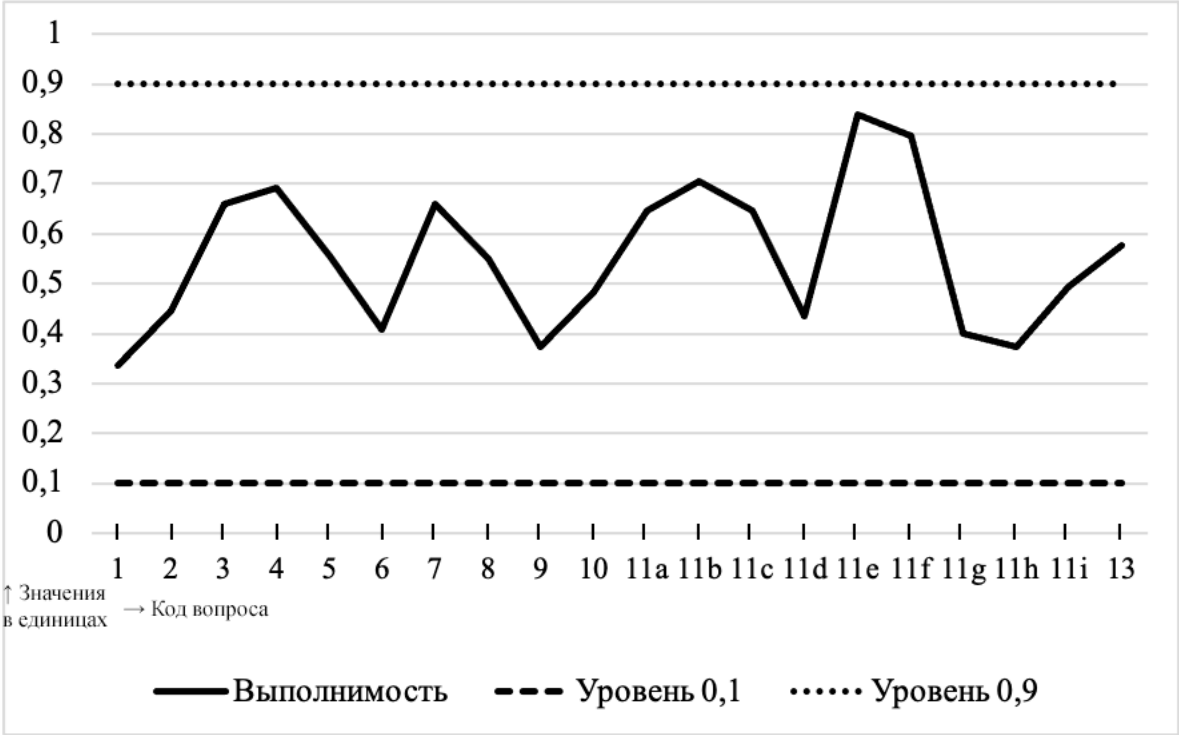

Рисунок 5 — Проверка выполнимости вопросов для опросника Pedi-IKDC

Как видно из рисунков 4 и 5, для всех вопросов условие выполнимости соблюдается, что свидетельствует о качественном формулировании вопросов.

Дискриминативность вопросов

Дискриминативность вопросов опросника это дифференцирующая, различающая способность каждого отдельного вопроса, указывающая на их способность разделять отдельных пациентов по уровню их ответов. Данный параметр показывает, насколько согласуются результаты опроса для пациентов по данному конкретному вопросу с итоговыми результатами, полученными по всему опроснику. Если согласованность малая, отсутствует или имеется, но носит обратную направленность, то данный вопрос противоречит по своей сути задачам опросника и, следовательно, вносит нулевой или отрицательный вклад в итоговую оценку состояния здоровья пациента.

Один из способов расчета дискриминативности основан на корреляции ответов на каждый вопрос опросника с интегральной оценкой испытуемых по всей анкете.

Для расчета показателя дискриминативности каждого вопроса вычислялся коэффициент корреляции Пирсона согласно формуле [3]:

$$r_j = \frac{\overline{x_j y} - \bar{x}_j \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x_j^{\,2}} - (\bar{x}_j)^2)(\overline{y_j^{\,2}} - (\bar{y}_j)^2)}}, \qquad (2)$$

где $\bar{x}_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{ij}$, $\bar{x}^2{}_j = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{ij}^2$, $\bar{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i$, $\bar{y}^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i^2$, $\overline{x_j y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{ij} y_i$, $y_i = \sum_{j=1}^{M} x_{ij}$.

Компоненты вектора r_j будут являться оценками уровня дискриминативности каждого вопроса. Считается, что для выборки объемом 100 вопрос обладает высоким уровнем дискриминативности, если его значение положительно и превышает 0,3. Если его значение менее 0,3, но превышает 0,1, то можно считать, что вопрос обладает слабым уровнем дискриминативности.

Результаты расчета уровня дискриминативности каждого вопроса для опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC приведены на графиках (рисунки 6 и 7).

Рисунок 6 — Дискриминативность вопросов для опросника KOOS-Child

Рисунок 7 — Дискриминативность вопросов для опросника Pedi-IKDC

Как видно из рисунков 6 и 7, для всех заданий KOOS-Child и Pedi-IKDC дискриминативность высокая или умеренная. Условие дискриминативности не выполняется только для вопроса 13 Pedi-IKDC. В целом, учитывая значительное

количество вопросов для каждого опросника, их качество с точки зрения дискриминативности вопросов можно считать удовлетворительным.

Общую согласованность всех вопросов, позволяющую использовать опросник как целостный измерительный инструмент, возможно оценить с помощью альфа-теста Кронбаха [1].

Альфа-тест Кронбаха

Коэффициент α Кронбаха позволяет оценить внутреннюю согласованность вопросов, описывающих единый показатель — состояние здоровья пациентов, характеризует внутреннюю надежность вопросов опросника, априорно относимых к одной шкале, то есть являющихся индикатором одного конструкта. Если коэффициент α не высок, это свидетельствует, что вопросы в своей совокупности относятся к разным показателям или даже противоречат друг другу.

Для расчета стандартизованного коэффициента α Кронбаха можно использовать формулу [1]:

$$\alpha = \frac{M \cdot \bar{r}}{1 + (M - 1) \cdot \bar{r}}, \tag{3}$$

где M — количество вопросов, $\bar{r}$ — среднее значение всех коэффициентов корреляции Пирсона, рассчитанных по формуле (2) между всеми возможными парами вопросов опросника.

Если $0{,}9 < \alpha \leq 1$, то качество опросника с точки зрения согласованности вопросов очень высокое, если $0{,}8 < \alpha \leq 0{,}9$ — высокое, $0{,}7 < \alpha \leq 0{,}8$ — достаточное, $0{,}6 < \alpha \leq 0{,}7$ — сомнительное, $0{,}5 < \alpha \leq 0{,}6$ — плохое, менее 0,5 — недостаточное. Результаты α-теста Кронбаха для KOOS-Child и Pedi-IKDC приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Результаты α-теста Кронбаха

Опросник	M	$\bar{r}$	α	Согласованность
KOOS-Child	39	0,374	0,959	Очень высокая
Pedi-IKDC	20	0,315	0,902	Очень высокая

Таким образом, как видно из таблицы 2, вопросы по обоим опросникам согласованны несмотря на то, что дискриминативность одного из вопросов не подтверждена.

Несмотря на то что задания опросника согласованны и позволяют в своей совокупности оценить состояние здоровья пациента, возникает вопрос, насколько адекватны эти оценки, то есть действительно ли опросники KOOS-Child и Pedi-IKDC объективно характеризуют исследуемый показатель. Для ответа на этот вопрос существует третий этап статистического анализа данных эксперимента, который заключается в проверке адекватности опросников на основе теории корреляции.

Проверка адекватности результатов, полученных из опросников

Адекватность и объективность результатов опроса будет обоснована с помощью параметрического корреляционного анализа. Идея метода состоит в том, что проводятся оценки состояния здоровья пациентов по разработанным методикам KOOS-Child и Pedi-IKDC, которые затем сравниваются друг с другом и с результатами опроса по апробированному и хорошо зарекомендовавшему себя на практике опроснику Lysholm.

Сравнение проводится на основании коэффициента корреляции Пирсона, расчет которого описан формулой (2), только в качестве сравниваемых данных используются результаты, полученные по опросникам или для их категорий. Обозначим через r коэффициент корреляции, полученный в результате опроса по некоторым двум методикам (или их частям, характеризующим категории опросника). Тогда, чтобы выяснить, существует ли значимая связь между результатами опроса, проводится проверка значимости коэффициента корреляции [3]. Для нее вычисляется t-статистика Стьюдента:

$$t = |r| \cdot \sqrt{\frac{N-2}{1-r^2}}, \qquad (4)$$

и далее она сравнивается с критическим значением $t_{кр} = t_{1-\alpha}(N-2)$, взятым из обратного распределения Стьюдента, который берется из статистических таблиц [13], α — заданный уровень значимости. Если $t > t_{кр}$, можно считать, что корреляция значима и задания опроса, которые подлежат сравнению, согласованы между собой, измерительный инструмент дает адекватные и объективные оценки на заданном уровне значимости.

Результаты проверки согласованности оценок по опросникам KOOS-Child (и его категорий), Pedi-IKDC, а также по апробированному и хорошо зарекомендовавшему опроснику Lysholm, представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Корреляционная матрица результатов опроса по методикам

Корреляция Пирсона	KOOS-Child Pain	KOOS-Child Symptom	KOOS-Child ADL	KOOS-Child Sport/Rec	KOOS-Child QOL	KOOS-Child Total	Pedi-IKDC	Lysholm
KOOS-Child Pain	1,000	0,729	0,737	0,618	0,710	0,899	0,809	0,673
KOOS-Child Symptom	0,729	1,000	0,662	0,484	0,540	0,783	0,642	0,640
KOOS-Child ADL	0,737	0,662	1,000	0,549	0,638	0,871	0,748	0,542
KOOS-Child Sport/Rec	0,618	0,484	0,549	1,000	0,643	0,802	0,572	0,590
KOOS-Child QOL	0,710	0,540	0,638	0,643	1,000	0,832	0,681	0,632
KOOS-Child Total	0,899	0,783	0,871	0,802	0,832	1,000	0,824	0,722
Pedi-IKDC	0,809	0,642	0,748	0,572	0,681	0,824	1,000	0,690
Lysholm	0,673	0,640	0,542	0,590	0,632	0,722	0,690	1,000

Из табл. 3 видно, что корреляция между опросниками и их категориями высокая и предполагает наличие зависимости между результатами опроса. Но для получения статистически обоснованных выводов проведем процедуру проверки коэффициентов корреляции на значимость в соответствии с формулой (4).

Критическое значение для выборки из 100 пациентов при уровне значимости 0,05 составит $t_{кр}$ = 1,661, а при уровне значимости 0,01 — $t_{кр}$ = 2,365 [114].

Результаты расчета *t*-критерия для тех же категорий данных приведены в таблице 4.

Анализируя результаты расчетов из таблицы 4, можно заключить, что все коэффициенты корреляции <0,01, что подтверждает наличие связи между результатами опросов. Наличие высокой корреляции результатов оценивания состояния пациентов по разработанным методикам KOOS-Child и Pedi-IKDC с результатами, полученными по апробированному и хорошо зарекомендовавшему себя на практике опроснику Lysholm, подтверждает адекватность и объективность оценок при использовании опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC. Причем KOOS-Child дает более высокую согласованность оценок с традиционным опросником Lysholm, чем Pedi-IKDC.

Таблица 4 — Значения *t*-критерия Стьюдента, необходимые для обоснования значимости элементов корреляционной матрицы

Корреляция Пирсона	KOOS-Child Pain	KOOS-Child Symptom	KOOS-Child ADL	KOOS-Child Sport/Rec	KOOS-Child QOL	KOOS-Child Total	Pedi-IKDC	Lysholm
KOOS-Child Pain	–	10,549	10,799	7,780	9,968	20,313	13,630	9,010
KOOS-Child Symptom	10,549	–	8,750	5,469	6,350	12,473	8,279	8,253
KOOS-Child ADL	10,799	8,750	–	6,498	8,194	17,577	11,157	6,381
KOOS-Child Sport/Rec	7,780	5,469	6,498	–	8,315	13,297	6,909	7,225
KOOS-Child QOL	9,968	6,350	8,194	8,315	–	14,869	9,215	8,082
KOOS-Child Total	20,313	12,473	17,577	13,297	14,869	–	14,372	10,343
Pedi-IKDC	13,630	8,279	11,157	6,909	9,215	14,372	–	9,445
Lysholm	9,010	8,253	6,381	7,225	8,082	10,343	9,445	–

Таким образом, проведен статистический анализ результатов эксперимента по оценке качества опроса по KOOS-Child (приложение А2), Pedi-IKDC (приложение А3) и сделаны следующие выводы:

1. Результаты опроса есть случайные величины, которые с вероятностью, превышающей 0,95, распределены по нормальному закону.
2. Проведена оценка валидности опросников по трем составляющим. По составляющей «Выполнимость вопросов» все задания удовлетворяют требованиям достаточной выполнимости и по этому критерию могут быть использованы в практической деятельности. По составляющей «Дискриминативность вопросов» все задания, за исключением вопроса № 13 опросника Pedi-IKDC, имеют высокую или умеренную дискриминативность и дают адекватный вклад в итоговую оценку. На основании α-теста Кронбаха показана высокая общая согласованность вопросов для каждого опросника.
3. Сравнение результатов оценивания состояния пациентов по разработанным методикам KOOS-Child и Pedi-IKDC с результатами, полученными по апробированному и хорошо зарекомендовавшему себя на практике опроснику Lysholm, показали высокий уровень корреляции, значимый с вероятностью более 0,99, что подтверждает адекватность и объективность оценок, основанных на использовании опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC.

Общий вывод: методы статистического анализа показали, что с высокой доверительной вероятностью опросники соответствуют предметной области оценивания, дают надежные, адекватные и объективные результаты и их можно использовать в практических исследованиях.

ГЛАВА 4. Лечение пациентов детского возраста при разрыве передней крестообразной связки и антеромедиальной нестабильностью коленного сустава

4.1 Консервативное лечение

В контрольную группу консервативного лечения вошли 25 детей с разрывом передней крестообразной связки и антеромедиальной нестабильностью коленного сустава в возрасте от 13 до 18 лет. Пациенты обращались за помощью в первые недели с момента травмы. Травму получили 88 % пациентов во время выполнения физических нагрузок: по баскетболу — 20 %, футболу — 32 %, единоборствам — 16 %, горнолыжным видам спорта — 8 %, другим видам спорта — 12 %. В быту было травмировано 12 % детей. Проведены сбор жалоб и анамнеза, клинический осмотр. Анкетирование и МРТ-исследования пациенты проходили в первые недели после травмы и спустя 6–30 мес.

Консервативное лечение пациенты получали в объеме иммобилизации в течение 4 нед. нестероидными противовоспалительными средствами, с применением физиотерапии и последующим курсом реабилитации. Все пациенты проходили анкетирование по опросникам KOOS-Child и Pedi-IKDC. 92 % пациентов беспокоила нестабильность в коленном суставе и неудовлетворенность результатом лечения, 40 % пациентов в последствии были прооперированы по поводу антеромедиальной нестабильности коленного сустава.

4.2. Оценка структур коленного сустава пациентов детского возраста с повреждением передней крестообразной связки после консервативного лечения

По данным МРТ у 13 (52 %) из 25 пациентов отмечаются остеохондральные изменения мыщелков обеих костей, из них у 11 (44 %) человек на наружном мыщелке бедренной кости, у двоих (8 %) на обоих мыщелках бедренной кости и у

одного (4 %) пациента на латеральных мыщелках большеберцовой и бедренной костей.

Пример склеротического поражения костного мозга приведен на рисунке 8. Данное утолщение костной структуры возникает вследствие неправильно распределенной нагрузки в коленном суставе. Пациент отмечает нестабильность в коленном суставе, что было подтверждено клиническим осмотром и данными МРТ-исследования, при котором выявлен разрыв ПКС. На зону склеротического изменения идет постоянная локальная ударная нагрузка, вследствие чего возникает ответная компенсаторная реакция организма в виде утолщения костной структуры.

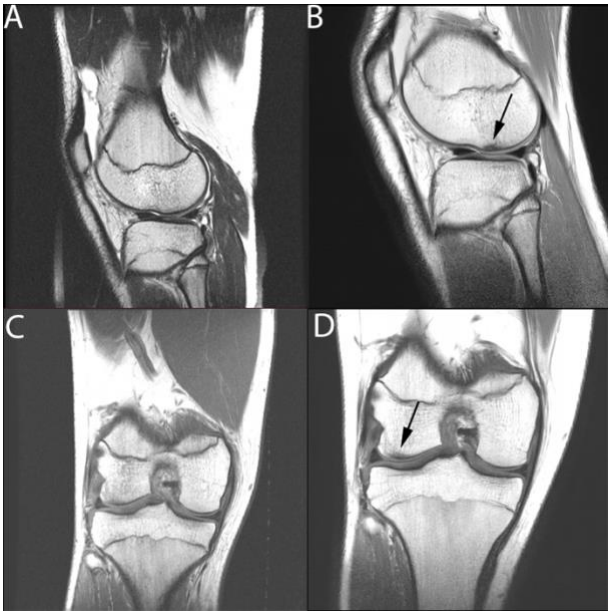

Рисунок 8 — Магнитно-резонансная томограмма (собственное наблюдение) наружного отдела коленного сустава в первые недели после травмы (A, C). Через 2 мес. в том же отделе отмечается уплотнение костной ткани вследствие неправильного распределения нагрузки (черная стрелка) (B, D)

В дальнейшем в описываемой зоне возрастает риск возникновения трансхондрального перелома и возможно образование кисты [52]. На рисунке 9 представлены МРТ-изображения пациента с разницей в 16 мес.

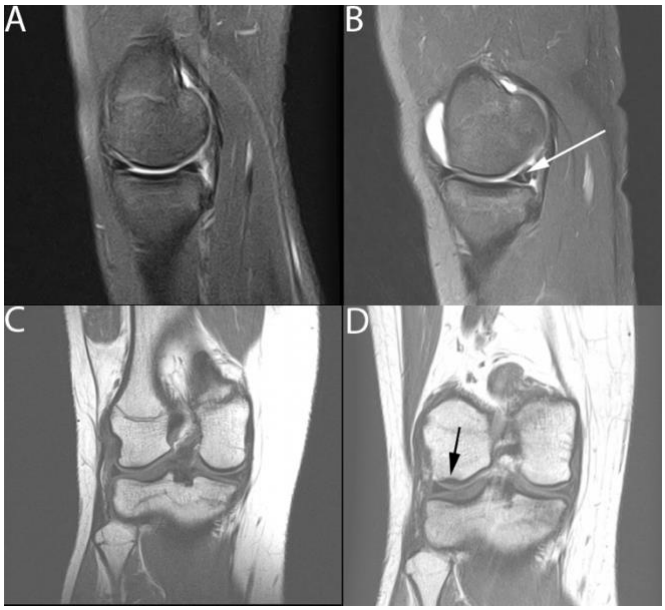

Рисунок 9 — Магнитно-резонансная томограмма (собственное наблюдение) наружного отдела коленного сустава в сагиттальной (A, B) и коронарной проекциях (C, D) в первые недели после травмы. Спустя 16 мес. отмечается повреждение (белая стрелка) заднего рога наружного мениска (Stoller III) (B) и уплотнение костной ткани (черная стрелка) вследствие неправильного распределения нагрузки (D).

Пациента беспокоила нестабильность в коленном суставе, что было подтверждено клинически. Вследствие возникшей антеромедиальной нестабильности коленного сустава после разрыва ПКС произошло повреждение заднего рога наружного мениска (Stoller IIIb) (рис. 9). У пациента так же, как и в первом случае, отмечается склеротическое изменение костной структуры наружного мыщелка бедренной кости, являющееся подтверждением неправильно распределяемой нагрузки в коленном суставе [110].

На рисунке 10 представлены МРТ-изображения коленного сустава пациента. Через 13 мес. зафиксирована начинающаяся деструкция костной структуры. Данное нарушение есть следствие образовавшегося трансхондрального перелома, на стенки которого воздействовала суставная жидкость.

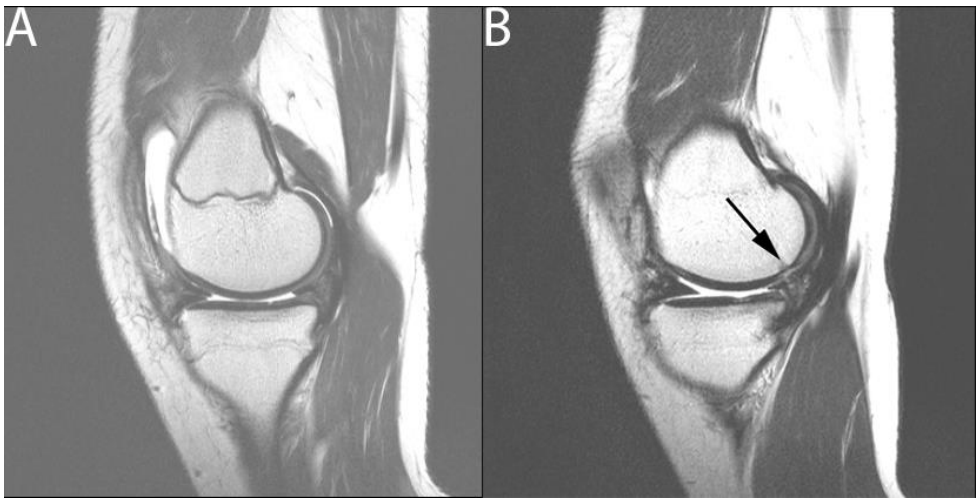

Рисунок 10 — Магнитно-резонансная томограмма (собственное наблюдение) медиального отдела коленного сустава в коронарной проекции в первые недели с момента травмы (А). Тот же отдел коленного сустава через 13 мес. (В). Стрелка указывает на начинающуюся деструкцию костной структуры

У пациента с разрывом ПКС через 5 мес. после травмы произошло вторичное повреждение заднего рога наружного мениска (Stoller IIIb) вследствие антеромедиальной нестабильности (рисунок 11). В нашем исследовании у 10 (40 %) пациентов обнаружено повреждение мениска: у 6 человек — разрыв внутреннего, у 4 человек — наружного.

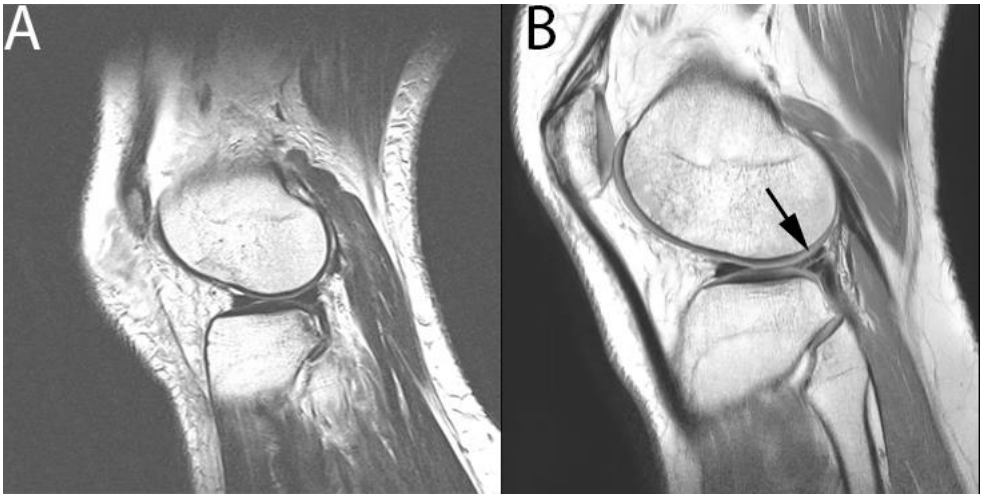

Рисунок 11 — Магнитно-резонансная томограмма (собственное наблюдение) коленного сустава в сагиттальной проекции в первые недели после травмы (А). Через 5 мес. визуализируется повторное повреждение заднего рога наружного мениска (стрелка) (В)

Всем пациентам в КГ и ОЛ проводили измерение толщины хряща. Его выполняли в двух проекциях (рисунок 12): сагиттальной и коронарной. На каждом мыщелке большеберцовой и бедренной костей устанавливается по три точки, в которых измеряется толщина хряща. Всего точек измерения 24. После чего повторяют аналогичную процедуру на МРТ-снимках пациента через некоторое время. Измерение проводили с использованием программы RadiAnt в режимах T1, PDW, T2. В настоящий момент наиболее точным методом измерения толщины хряща является картирование. В нашем исследовании измерение данным методом не проводилось. В связи с высокой вероятностью неточности обычного измерения при помощи инструмента «линейка» в специализированном программном обеспечении была учтена погрешность, равная 0,7 см. По данным исследования, у 6 (24 %) человек отмечаются истончения хрящевого покрытия латерального мыщелка бедренной кости ≥0,7 см, у 2 (8 %) — истончение как на латеральном, так и медиальном мыщелках бедренной кости ≥0,7 см, у 3 (12 %) — истончение хрящевого покрытия только на медиальном мыщелке бедренной кости ≥0,7 см. На наружном мыщелке большеберцовой кости истончение ≥0,7 см выявлено у 9 (36 %) человек, на обоих мыщелках ≥0,7 см отмечается у 3 (12 %) человек.

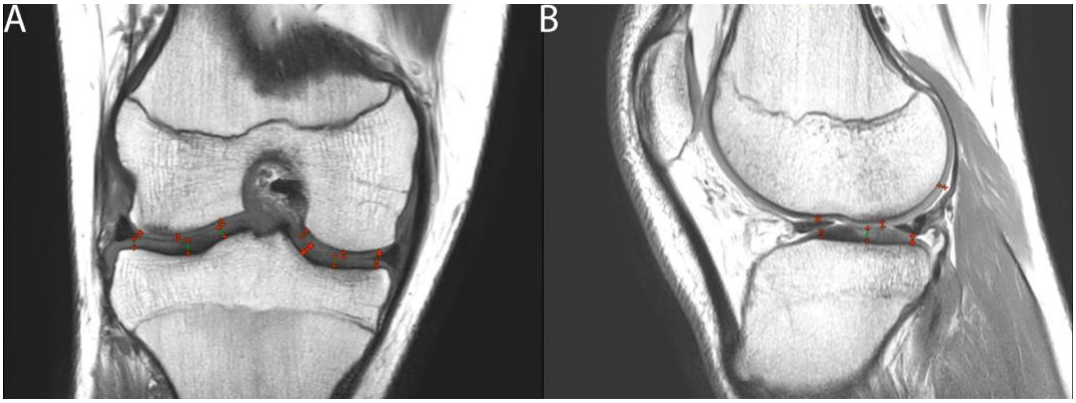

Рисунок 12 — Магнитно-резонансная томограмма (собственное наблюдение) коленного сустава: А — в коронарной проекции показан метод измерения толщины хряща в трех точках на каждом мыщелке большеберцовой и бедренной костях: В — в сагиттальной проекции показан пример измерения толщины хряща в трех точках на медиальных мыщелках

В исследовании применяли опросники KOOS-Child и Pedi-IKDC. Пациентов с жалобами на неустойчивость в коленном суставе обследовали клинически. У 23 человек при выполнении тестов переднего «выдвижного ящика», Лахмана и pivot-shift отмечалась нестабильность. Помимо указанных жалоб, пациентам пришлось значительно снизить уровень активности, либо отказаться от спорта совсем. Только 2 пациента из 25 остались удовлетворены результатами консервативного лечения и вернулись к прежним нагрузкам. 13 (52 %) пациентов впоследствии прошли оперативное лечение: 9 человек — в объеме пластики ПКС, 4 — в объеме резекции поврежденной части мениска.

4.3. Выявление взаимосвязи между критериями, определяющими качество результатов лечения пациентов

В данном разделе ставится задача выявления взаимосвязей между показателями, критериями или измерительными инструментами, которые используют для оценки качества лечения пациентов с антеромедиальной нестабильностью. Определение таких связей позволит решить несколько задач: обосновать выбор «измерительного инструмента» для оценки качества лечения; судить об адекватности методов измерения, показателей и критериев; получить количественные зависимости между критериями оценки качества лечения; определить структуру взаимозаменяемости и взаимодополняемости методов обследования пациентов.

В таблице 5 приведены критерии оценки и их условные обозначения, которые будут использоваться далее, а также шкалы оценивания по критериям.

Таблица 5 — Данные критериев оценки качества лечения

Обозначение	Описание	Шкала измерений
К1	Толщина хряща наружного мыщелка бедренной кости, мм	Числовая
К2	Толщина хряща внутреннего мыщелка бедренной кости, мм	Числовая
К3	Толщина хряща наружного мыщелка большеберцовой кости, мм	Числовая
К4	Толщина хряща внутреннего мыщелка большеберцовой кости, мм	Числовая
К5	Латеральный мениск	Дихотомическая
К6	Медиальный мениск	Дихотомическая
К7	Остеохондральные изменения: наружный мыщелок бедренной кости	Дихотомическая
К8	Остеохондральные изменения: внутренний мыщелок бедренной кости	Дихотомическая
К9	Остеохондральные изменения: наружный мыщелок большеберцовой кости	Дихотомическая
К10	Выполнение МРТ на одном и том же аппарате	Дихотомическая
К11	Количество месяцев между МРТ-исследованиями	Числовая
К12	Возраст пациента	Числовая
К13	KOOS-Child Pain	Числовая
К14	KOOS-Child Symptom	Числовая
К15	KOOS-Child ADL	Числовая
К16	KOOS-Child Sport/Rec	Числовая
К17	KOOS-Child QOL	Числовая
К18	Pedi-IKDC	Числовая
К19	Клинические тесты на нестабильность коленного сустава	Дихотомическая

Примечание. МРТ — магнитно-резонансная томография.

Для решения выявления взаимосвязи между критериями использовались статистические методы, включающие в себя теорию параметрического и непараметрического корреляционного анализа [3, 5].

Рассмотрим сначала параметрические методы оценки показателей корреляции между критериями. В качестве основного показателя, характеризующего степень зависимости между критериями, в этом случае будет выступать коэффициент корреляции Пирсона [3, 8], разработанный для нормального закона распределения.

Согласно [1] коэффициент корреляции Пирсона r_{mn}, который показывает степень связи между критериями с номерами m и n, вычисляется по формуле (5):

$$r_{mn} = \frac{\overline{x_m x_n} - \bar{x}_m \cdot \bar{x}_n}{\sqrt{(\overline{x_m^{\,2}} - (\bar{x}_m)^2)(\overline{x_n^{\,2}} - (\bar{x}_n)^2)}}, \; n, m = 1, 2, \ldots, M, \qquad (5)$$

где $\bar{x}_m = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{im}$, $\bar{x}_m^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{im}^2$, $\bar{x}_n = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{in}$, $\bar{x}_n^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{in}^2$, $\overline{x_m x_n} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_{im} x_{in}$.

В случае непараметрического корреляционного анализа, необходимо вычислять ранговый коэффициент корреляции Спирмена [109] по формуле:

$$r_{nm} = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{N}(\tilde{x}_{ni} - \tilde{x}_{mi})^2}{N(N^2 - 1)}, \; n, m = 1, 2, \ldots, M, \qquad (6)$$

где $\tilde{x}_{ij}$ — ранг или порядковый номер элемента x_{ij} в вариационном ряду для каждого критерия, то есть в выборке значений, записанной по возрастанию ее элементов. Если несколько соседних элементов вариационного ряда равны по величине, то их ранг равен среднеарифметическому их порядковых номеров.

На первом этапе для выбора модели оценивания взаимосвязей между критериями необходимо определиться с методами вычисления корреляции между

ними. Для этого необходимо статистически определить возможный закон распределения измерений по каждому критерию. Проверка закона распределения измерений для всех параметров, проводимая на основании коэффициента согласия Пирсона [3, 6, 8, 1], показала, что оценки по количественным критериям распределены по закону, близкому к нормальному на уровне значимости, не превышающему 0,05. В то же время оценка результатов измерений по дихотомическим критериям показала отличие распределения от нормального.

На основании этого было принято решение брать за основу непараметрические методы корреляционного анализа (ранговый коэффициент корреляции Спирмена), которые не зависят от закона распределения оцениваемых параметров, но для уточнения результатов для количественных критериев сравнить их с расчетами по параметрическим методам, построенным для нормального закона распределения.

Проведя расчеты при объеме выборки $N = 20$ можно определить граничные коэффициенты корреляции для каждой градации связей:

- $|r_{mn}|$ от 0,378 до 0,515 —умеренная;
- $|r_{mn}|$ от 0,515 до 0,609 — сильная;
- $|r_{mn}|$ от 0,609 до 1 — очень сильная.

На рисунке 13 схематично показаны связи между критериями. Исчезновение связей на диаграмме (В) показывает, что более мощный критерий Пирсона не выявил значимой корреляции между указанными критериями, поэтому данные связи возможно существуют, но к их учету нужно относиться с осторожностью. С другой стороны, корреляция Пирсона выявила дополнительные зависимости, которые не определил ранговый критерий Спирмена, а именно возникли новые связи между критериями К4 – К11, К6 – К12, К13 – К14. Учитывая, что связи К4 – К11 и К13 – К14 между числовыми критериями, которые с большой вероятностью распределены по нормальному закону, есть основания считать, что более мощный метод оценки корреляции Пирсона выявил дополнительную связь между указанными критериями. Это следует учесть при анализе взаимосвязей.

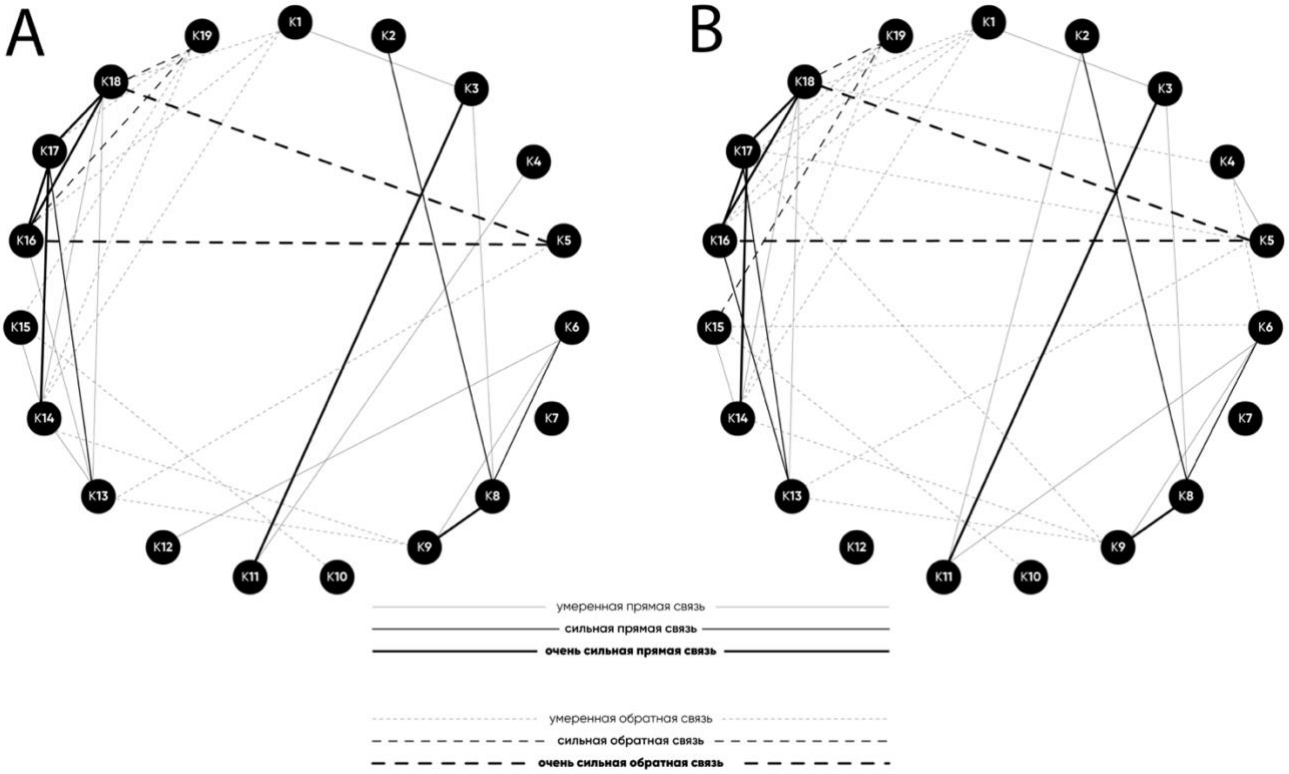

Рисунок 13 — Граф связей между критериями: А — на основании ранговой корреляции Спирмена; В — на основании параметрической корреляции Пирсона

В результате проведенного статистического анализа выявлены следующие связи:

- **очень сильные прямые** — между толщиной хрящевого покрытия медиального мыщелка большеберцовой кости и количеством месяцев между проведением МРТ, остехондральными изменениями внутреннего мыщелка бедренной кости и наружного мыщелка большеберцовой кости, и результатами опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC;
- **сильные прямые** — между толщиной хряща медиального мыщелка бедренной кости и остеохондральными изменениями того же мыщелка, медиальным мениском и остеохондральными изменениями внутреннего мыщелка бедренной кости;
- **очень сильная обратная** — между результатами тестов KOOS-Child, Pedi-IKDC и латеральным мениском;
- **сильная обратная** — между результатами тестов KOOS-Child, Pedi-IKDC и результатами клинического осмотра.

Проведена оценка изменений остеохондральных структур вследствие антеромедиальной нестабильности и неправильного распределения нагрузки в коленном суставе: склеротическое поражение костного мозга, начинающаяся деструкция костной структуры и признаки трансхондрального перелома. Помимо этого, выявлены случаи повреждения менисков. Измеряли толщину хряща, истончение которого может указывать на образование деформирующего артроза в будущем. В нашем исследовании была взята высокая погрешность измерения толщины хряща (≥0,7 см), так как слабой стороной в отношении измерения является отсутствие картирования у пациентов. Помимо этого, даже при условии выполнения исследования на одном аппарате, срезы выставляются врачом лучевой диагностики в момент исследования, что также может приводить к неточностям при измерении толщины хрящевого покрытия. В связи с этим, в нашем исследовании следует считать более весомым критерием оценки остеохондральные изменения по причине антеромедиальной нестабильности в силу их объективности. Важно также учитывать вторичное повреждение мениска вследствие вышеупомянутой причины.

Помимо использования данных МРТ-диагностики пациенты анкетировались с проведением клинического осмотра. Жалобы на нестабильность, клинически подтвержденные положительные тесты Лахмана и «переднего выдвижного ящика», а также низкие баллы по опросникам KOOS-Child и Pedi-IKDC имеют решающее значение в оценке отдаленных результатов лечения, а также выбора в пользу оперативной стабилизации коленного сустава.

В итоге мы делаем вывод о неудовлетворительных результатах консервативного лечения у молодых спортсменов. Только 2 пациента вернулись к прежним физическим нагрузкам и при осмотре у них отсутствовали признаки нестабильности. В остальных случаях пациенты не удовлетворены результатами лечения. На основании данных МРТ-исследований и статистического анализа у пациентов отмечаются выраженные признаки нарушения распределения нагрузки в коленном суставе, а также вторичное повреждение мениска вследствие антеромедиальной нестабильности коленного сустава.

Найдена связь между данными клинического осмотра и баллами опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC, что свидетельствует об их информативности. Мы рекомендуем при оценке результатов лечения использовать не только данные клинического осмотра, но и проводить анкетирование, а также выполнять МРТ-исследования с целью поиска признаков, указывающих на проявление неблагополучия в коленном суставе, что даст наиболее полное представление о его состоянии. Однако наше исследование не лишено недостатков, которые могут быть учтены в будущих работах: участие в исследовании большего количества пациентов; использование метода картирования суставного хряща с целью получения более точных данных и уменьшения погрешности измерения.

4.4. Определение костного возраста у детей с разрывом передней крестообразной связки

Появление и развитие центров оссификации скелета происходит у здоровых детей в строго определенной последовательности. В каждом возрасте скелет имеет специфическую рентгенологическую картину, соответствующую определенной стадии созревания. Считается, что скелетное созревание является более точным показателем созревания организма, чем паспортный возраст. С использованием костного возраста с определенной долей надежности можно предсказать конечный рост [7].

В работе использовалась методика Таннера – Уайтхауса (TW2.1975) [119] и метод оценки костного возраста по атласу Грейлиха – Пайля (W.W. Greulich и S.I. Pyle, 1959) [67]. Метод TW2 основан на точном измерении каждой кости и выражении его в числовом коэффициенте, сумма всех коэффициентов дает показатель костного созревания в целом для кисти и запястья. Суть второго метода заключается в сравнительной оценке рентгенограммы пациента с рентгенограммами здоровых детей соответствующего пола, которые приняты за эталон. На рисунке 14 показан схематично механизм сравнения рентгена кисти с изображениями из атласа.

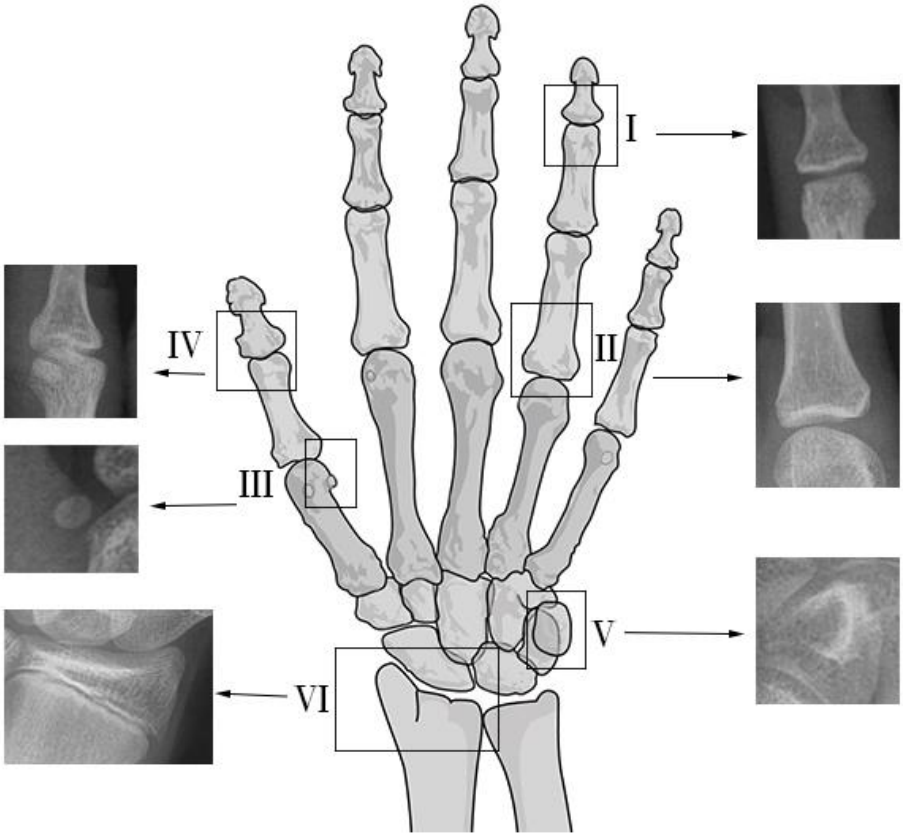

Рисунок 14 — Зоны роста с разным сроком закрытия у лиц мужского пола. I — 15,5 года, II — 16 лет, III — 13 лет, IV — 15 лет, V — 12,5 года, VI — 14 лет (рисунок скомпонован из изображений собственного наблюдения).

Помимо использования стандартных схем определения костного возраста также проводили определение при помощи программ на основе машинного обучения [61, 11]. Применение искусственного интеллекта с целью определения костного возраста пациента по рентгенограммам кисти является перспективным и имеет множество преимуществ. Заключение радиолога, травматолога и детского эндокринолога могут различаться, так как указанные методы оценки имеют долю субъективности и подчас обусловлены спецификой работы каждого специалиста.

Существуют комбинированные алгоритмы определения костного возраста, базирующиеся на использовании различных моделей нейронных сетей, что помогает увеличить точность его определения. Одна из них — программа Bone Age

Analyzer, разработанная специалистами из Беларуси [12, 10]. Данные, полученные на основании проведенного анализа нейросетями, соответствовали данным, проведенным в программах BoneXpert [121], Auxology (Pfizer, США), и ручному расчету при помощи атласа Грейлиха – Пайля и метода Таннера – Уайтхауса.

В дополнение мы оценивали также половое развитие пациентов по шкале Таннера, которая дает представление о стадиях полового созревания. Оценка костного возраста и полового развития позволяет узнать ростовой потенциал ребенка.

В приложении А4 приведены данные по паспортному возрасту пациента и росту на момент лечения. В среднем у пациентов с костным возрастом, обгоняющим паспортный, разница составила 1,9 года. У пациентов с отстающим костным возрастом (5 человек) разница составила 1,5 года.

Клинический пример №1

Паспортный возраст пациента на момент поступления составлял 13,5 лет, рост 170 см, баллы по опроснику KOOS-Child: Pain — 69, Symptom — 68, ADL — 65, Sport — 54 [9, 104]. Pedi-IKDC — 68 баллов [72]. Диагноз: «Повреждение передней крестообразной связки, антеромедиальная нестабильность коленного сустава». Впервые травму коленного сустава пациент получил в результате падения с велосипеда в возрасте 12 лет. Пациент лечился консервативно с положительным эффектом. Повторная травма произошла через 12 мес. на тренировке по боксу, после чего появилась нестабильность. С целью минимизации рисков и выбора оптимальной оперативной методики пластики ПКС пациенту проводили оценку костного созревания по методам Грейлиха – Пайля и Таннера – Уайтхауса: «костный возраст» — 14,5 года, программа Auxology (Pfizer) — 15,3 лет, BoneXpert — 14,25 года, Bone Age Analyzer — 14,11 года. Прогнозируемый рост пациента на основании рентгенограммы кисти составил 175 см. Целевой рост пациента на основании данных роста родителей — 171 см. Пик активного роста пациента приходился на 12,5 года. На основании проведенных исследований было принято решение о проведении оперативного лечения в объеме артроскопической ревизии,

санации с пластикой ПКС по методике all-inside partial transphyseal с использование сухожилия полусухожильной мышцы в качестве трансплантата. В послеоперационном периоде осложнений не отмечалось. Во время контрольного осмотра спустя 6 мес. с момента операции угол движений в коленном суставе составил 180–100°. Боли и отечность не беспокоили. Баллы по опроснику KOOS-Child: Pain — 78, Symptom — 93, ADL — 91, Sport — 82. Pedi-IKDC — 74.

В приведенном клиническом случае проводили оценку костного возраста и прогнозируемого роста пациента. Костный возраст опережал хронологический (паспортный) на 1 год. Рост пациента составил 171 см (при целевом 175 см), а III стадия по шкале Таннера говорила о завершении процесса полового развития.

Обсуждение методом оценки костного возраста

Из недостатков классического метода определения костного возраста по атласу следует отметить субъективность визуальной оценки рентгенограмм, влияние на результат личного опыта доктора и их некоторую трудоемкость [129, 101]. Удобно использовать для расчета программу Auxology (Pfizer) и ее аналоги [70, 134], которая автоматически проведет расчеты на основании занесенных данных. Прогрессивными методами оценки костного возраста считаются методы машинного обучения с использованием нейронных сетей. Это значительно упрощает процесс расчета данных и исключает человеческий фактор. В настоящий момент проблема расчета костного возраста с использованием искусственного интеллекта ограничивается доступностью. Программа BoneXpert является хорошим инструментом, но может быть недоступна отечественным врачам в силу высокой стоимости. Разработки из союзных государств, а также отечественные, вероятно, в будущем будут более распространены, что положительно скажется на применении данного метода [62, 37].

4.5. Оперативное лечение по классической методике реконструкции передней крестообразной связки

Классическая методика по пластике ПКС, применяемая нами в детском травматолого-ортопедическом отделении № 9 ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, состояла из стандартного набора процедур, характерного для многих медицинских учреждений.

Техника операции

После атроскопической ревизии коленного сустава и диагностирования разрыва ПКС выполняют разрез по переднемедиальной поверхности верхней трети голени в проекции «гусиной лапки». По достижении сухожилия полусухожильной и тонкой мышц выполняется их забор и подготовка трансплантата. После этого по направителю под углом 55° формируют тоннель, транстибиально высверливают слепой тоннель в бедренной кости. Далее проводят трансплантат в ранее сделанных тоннелях и фиксируют при помощи подвешивающей системы в бедре и биорезорбируемого винта в тоннеле большеберцовой кости.

Клинический пример №2. Пациент П., 14 лет. Диагноз: «Разрыв ПКС, антеромедиальная нестабильность коленного сустава». Травму получил на тренировке по баскетболу. Спустя 4 месяца после травмы выполнено оперативное лечение в объеме артроскопической ревизии, санации с реконструкцией ПКС аутотрансплантатом из сухожилий полусухожильной и тонкой мышц (рисунки 15, 16). Пациент наблюдался через 6 и 12 месяцев после оперативного лечения. По данным опросников KOOS- Child и Pedi- IKDC до оперативного лечения и после у пациента наблюдалось значительное повышение баллов. Так в KOOS-Child Pain – на 50 баллов выше, чем до операции; Symptom – 52. ADL - на 38, Sport – на 36, QOL - 45. По данным опросника Pedi-IKDC после операции баллы стали выше на 48 единиц спустя 12 месяцев после оперативного лечения. По результатам клинического осмотра кожные покровы пациента нормальной окраски, послеоперационные рубцы без признаков воспаления. Объем движений в суставе 180- 50гр. Тесты ПВЯ, ЗВЯ, Lachmann отрицательны. Нарушений со стороны нервной и сосудистой систем не обнаружено.

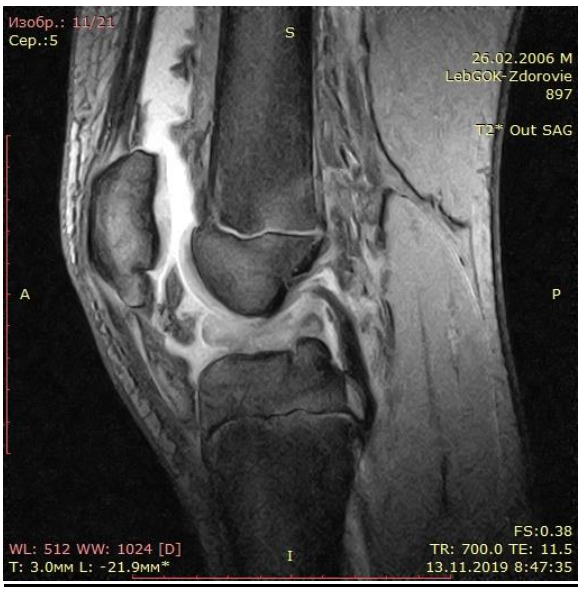

Рисунок 15 — Магнитно-резонансная томограмма коленного сустава в сагиттальной проекции. Полный разрыв передней крестообразной связки

A B

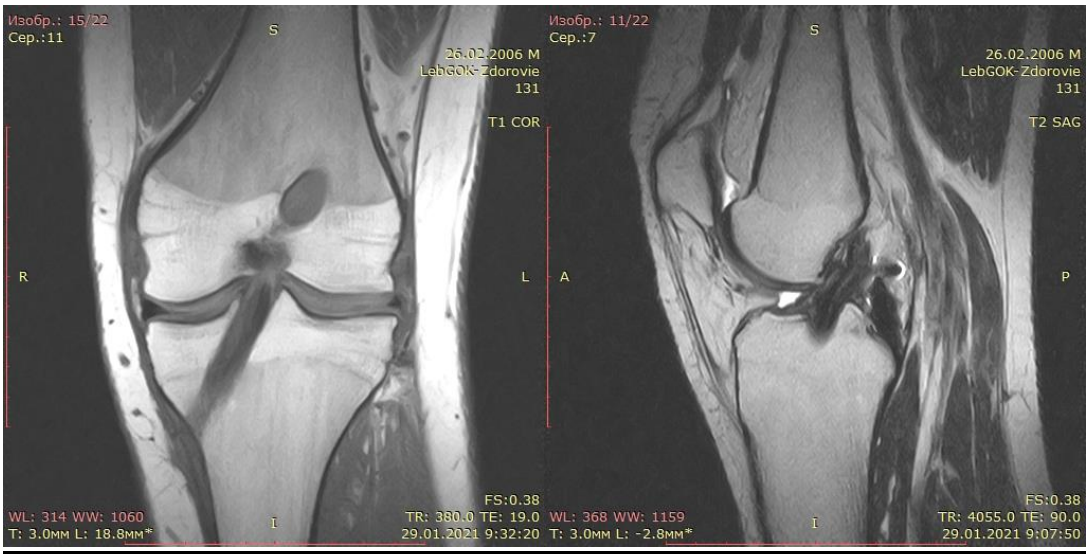

Рисунок 16 — Магнитно-резонансная томограмма коленного сустава с виуализацией целостности трансплантата передней крестообразной связки в коронарной (А) и сагиттальной проекции (В)

4.6. Оперативное лечение пациентов по методике all-inside в зависимости от костного возраста и ожидаемого роста

Перспективным направлением в области оперативного лечения пациентов с открытыми зонами роста является методика all-inside. Данная методика имеет преимущество в связи с использованием флажкового сверла, которое позволяет формировать тоннели внутрисуставно, не проходя насквозь через наружный кортикал, в результате чего тоннели получаются слепыми, а при использовании специализированных направителей возможно проведение тоннелей, не задевая зон роста.

Методика all-inside с проведением стандартных тоннелей

У пациентов детского возраста с закрытыми зонами роста по методике all-inside со стандартными тоннелями выполнено 10 операций.

Преимуществами данной методики являются:

- использование в качестве трансплантата одного сухожилия *m. gracilis* или *m. semitendinosis*. Использование одного сухожилия оставляет запас при возможных травмах в будущем, где также могут понадобиться сухожильные аутотрансплантаты;
- использование подвешивающей системы в качестве системы фиксации, которая является надежным методом при корректной установке;
- проведение слепых тоннелей, что позволяет высверливать точную длину и в итоге положительно влияет на ремоделирование места контакта аутотрансплантата с костной тканью.

Техника операции

После выполнения артроскопической ревизии коленного сустава и диагностирования разрыва ПКС выполняют разрез по переднемедиальной поверхности верхней трети голени в проекции «гусиной лапки». Выделяют сухожилие полусухожильной мышцы. Затем выполняют подготовку трансплантата. Сухожилие проводят через петли подвешивающей системы и складывают в 4 раза. Прошивают концы трансплантата с последующим

пришиванием всего пучка. После подготовки трансплантата производят измерение его диаметра с целью подбора соответствующего сверла. Формируют бедренный тоннель с выведением нитевой петли. Такую же процедуру выполняют с формированием тоннеля большеберцовой кости. При помощи проведенной петли трансплантат проводят в бедренный тоннель и контролируют правильность положения пуговицы, затем трансплантат устанавливают в тоннель большеберцовой кости. В положении разгибания в коленном суставе фиксируют пуговицу подвешивающей системы на большеберцовой кости (рисунок 17). Проводят артроскопический контроль положения, тонуса и отсутствия импиджмента трансплантата.

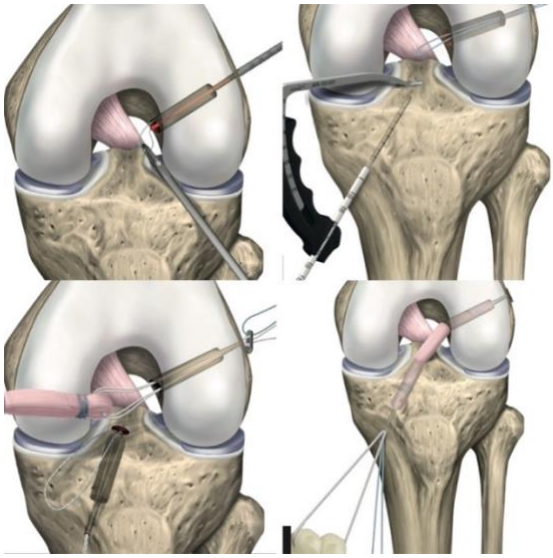

Рисунок 17 — Техника операции по пластике передней крестообразной связки по методике all-inside (изображения взято с сайта www.arthrex.com)

Клинический пример №3. Пациент С., 16 лет. Диагноз: «Разрыв передней крестообразной связки, антеромедиальная нестабильность коленного сустава». Травму получил в феврале 2020 г. во время тренировки по футболу. Оперативное лечение в объеме артроскопической ревизии, санации с пластикой ПКС по методике all-inside (рисунки 18, 19) выполнено спустя 12 месяцев с момента травмы. На момент оперативного лечения костный возраст пациента составлял 16,5 лет и соответствовал паспортному. Пациент наблюдался через 6 и 12 месяцев после

оперативного лечения. По данным опросников KOOS- Child и Pedi- IKDC до оперативного лечения и после у пациента наблюдалось значительное повышение баллов. Так в KOOS-Child Pain – на 40 баллов выше, чем до операции; Symptom – 38. ADL - на 46, Sport – на 42, QOL - 50. По данным опросника Pedi-IKDC после операции баллы стали выше на 46 единиц. По результатам клинического осмотра кожные покровы пациента нормальной окраски, послеоперационные рубцы без признаков воспаления. Объем движений в суставе 180- 50гр. Тесты ПВЯ, ЗВЯ, Lachmann отрицательны. Нарушений со стороны нервной и сосудистой систем не обнаружено. По данным анализа МРТ исследований после травмы и спустя 12 месяцев после значимого истончения хрящевого покрытия (> 0,7см) отмечено не было, как и остеохондральных изменений. По данным анализа рентгенографии коленного сустава, сделанных интраоперационно и спустя 12 месяцев после, угловых деформаций и изменений артрозного характера отмечено не было.

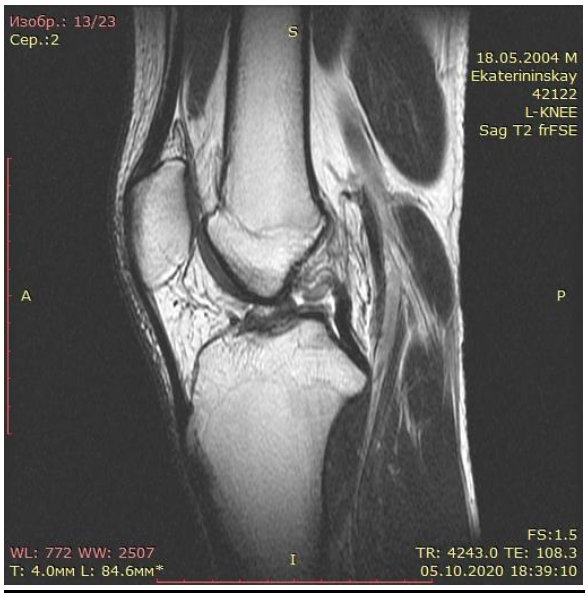

Рисунок 18 — Пациент С., 16 лет. Магнитно-резонансная томограмма коленного сустава в сагиттальной проекции с визуализацией полного разрыва ПКС

Рисунок 19 — Рентгенограмма коленного сустава пациента после пластики передней крестообразной связки по методике all-inside

Методики all-inside partial transphyseal и all-epiphyseal

Пациентам детского возраста с открытыми зонами роста по методике all-inside partial transphyseal или all-epiphyseal выполнено 11 операций. В связи с наличием активных зон роста у детей рассчитывали костный возраст и ожидаемый рост. На этапе поступления в стационар пациенту выполняют рентгенографию кисти. На основании результатов оценивают костный возраст пациента по данным атласа Грейлиха – Пайля и метода Таннера – Уайтхауса, а также по шкале Таннера с целью определения степени полового созревания. Затем прогнозируют ожидаемый рост пациента по формуле:

- для мальчиков = рост отца + рост матери / 2 + 6,5 см;
- для девочек = рост отца + рост матери / 2 – 6,5 см.

Если у пациента впереди 1–3 года роста (увеличение роста <5 см), то ему выполняют восстановление ПКС техникой all-inside partial transphyseal, при которой не повреждается зона роста в бедренной кости, а в большеберцовой кости выполняют тоннель стандартной локализации (через зону роста) и моделируют диаметр и площадь просверливаемого участка в зоне роста.

Если у пациента впереди больше трех лет роста и прогнозируемое увеличение роста >5 см, то ему выполняется техника восстановления ПКС all-inside all-

epiphyseal, при которой ни одна из зон роста не повреждается. На рисунке 20 представлены рентгенограммы коленных суставов в зависимости от костного возраста.

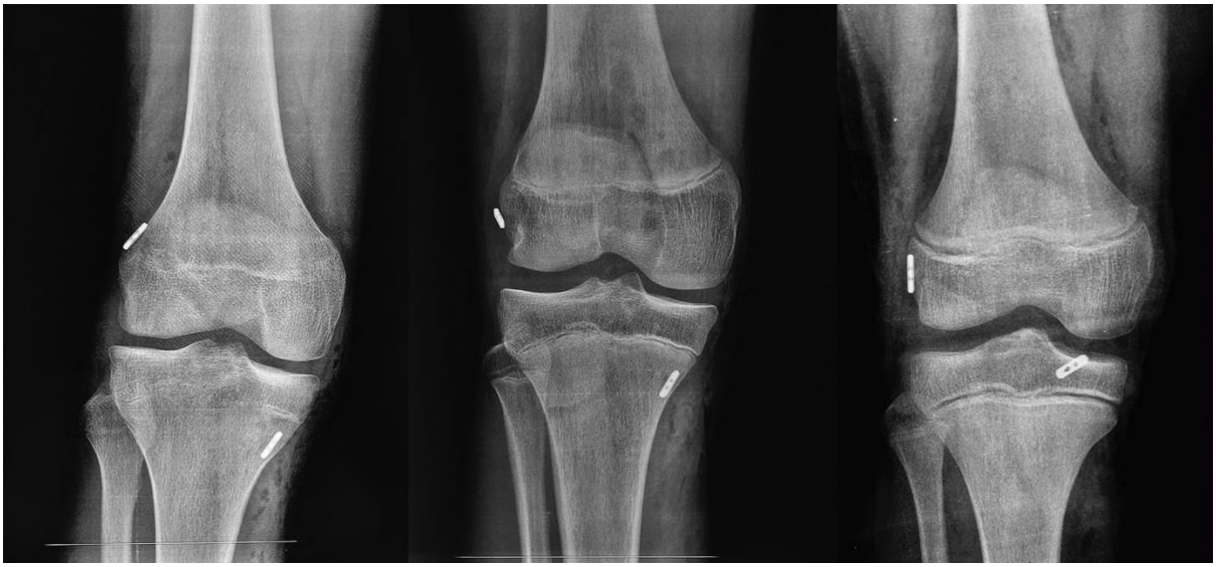

Рисунок 20 — Рентгенограмма восстановления коленных суставов с повреждением передней крестообразной связи с применением различных методик all-inside (со стандартными тоннелями, partial transphysea, all-epiphyseal)

Преимуществами методики all-inside являются:

- возможность проведения тоннелей в зависимости от костного возраста (через зону роста или не задевая ее);
- применение в качестве трансплантата одного сухожилия *m. gracilis* или *m. semitendinosis*. Использование одного сухожилия оставляет запас при возможных травмах в будущем, где так же могут понадобиться сухожильные аутотрансплантаты;
- использование подвешивающей системы в качестве системы фиксации, которая является надежным методом при правильной установке;
- проведение слепых тоннелей, что позволяет высверливать точную длину и в итоге положительно влияет на ремоделирование места контакта аутотрансплантата с костной тканью

Техника операции all-inside partial transphyseal

После атроскопической ревизии коленного сустава и диагностирования разрыва ПКС выполняют разрез по переднемедиальной поверхности верхней трети голени в проекции «гусиной лапки». По достижении сухожилия полусухожильной мышцы выполняют его забор. Затем подготавливают трансплантат. Сухожилие проводят через петли подвешивающей системы и складывают в 4 раза. После подготовки трансплантата измеряют его диаметр с целью подбора оптимального размера сверла. Затем формируют бедренный тоннель. По направителю устанавливают флажковое сверло под контролем электронно-оптического преобразователя под зоной роста дистального метаэпифиза бедренной кости. После этого выводят нитевую петлю для последующего проведения трансплантата в тоннель и установки сверла по направителю в большеберцовой кости под стандартным углом (примерно 55°). При помощи проведенной петли трансплантат заводят в бедренный тоннель и контролируют правильное положение пуговицы, затем устанавливают в тоннель большеберцовой кости. В положении разгибания в коленном суставе пуговицу фиксируют. При артроскопии контролируют положение, тонус и отсутствие импиджмента трансплантата.

Клинический пример №4. Пациент Г., 13 лет. Диагноз: «Разрыв передней крестообразной связки, антеромедиальная нестабильность коленного сустава». Травма произошла 14.06.2020 в результате падения с велосипеда. Повторная травма 14.07.2020 — на тренировке по боксу, после чего стала беспокоить нестабильность. В условиях 9-го отделения ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России проведено оперативное лечение в объеме артроскопической ревизии, санации с пластикой ПКС по методике all-inside partial transphyseal (рисунок 21). Пациент наблюдался через 6 и 12 месяцев после оперативного лечения. По данным опросников KOOS- Child и Pedi- IKDC до оперативного лечения и после у пациента наблюдалось значительное повышение баллов. Так в KOOS-Child Pain – на 38 баллов выше, чем до операции; Symptom – 46. ADL - на 50, Sport – на 48, QOL - 36.

По данным опросника Pedi-IKDC после операции баллы стали выше на 38 единиц. По результатам клинического осмотра коленный сустав стабилен.

Рисунок 21 — Рентгенограмма коленного сустава пациента после пластики передней крестообразной связки по методике all-inside partial transphyseal

Техника операции all-inside all-epiphyseal

После артроскопической ревизии коленного сустава и диагностирования разрыва ПКС выполняют разрез по переднемедиальной поверхности верхней трети голени в проекции «гусиной лапки». По достижении сухожилия полусухожильной мышцы выполняют его забор. Затем подготавливают трансплантат. Сухожилие проводят через петли подвешивающей системы и складывают в 4 раза. После этого измеряют диаметр трансплантата с целью подбора оптимального размера сверла и формируют бедренный тоннель. По направителю проводят установку флажкового сверла под контролем электронно-оптического преобразователя под зоной роста дистального метаэпифиза бедренной кости. Выводят нитевую петлю для последующего проведения транспалнтата в тоннель. При помощи направителя проводят установку флажкового сверла под контролем электронно-оптического преобразователя над зоной роста проксимального метаэпфиза большеберцовой кости. Высверливают запланированную длину тоннеля. При помощи проведенной петли трансплантат заводят в бедренный тоннель, контролируют правильное

положение пуговицы подвешивающей системы, а затем устанавливают в тоннель большеберцовой кости. После этого в положении разгибания в коленном суставе пуговицу фиксируют. Проводят артроскопический контроль положения, тонуса и отсутствия импиджмента трансплантата.

Клинический пример №5. Пациент Б., 11 лет. Диагноз: «Разрыв передней крестообразной связки, антеромедиальная нестабильность коленного сустава». Травма получена 30.11.2020 в результате прыжка. В условиях 9-го отделения ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России проведено оперативное лечение в объеме артроскопической ревизии, санации с пластикой ПКС по методике all-inside all-epiphyseal (рисунок 22). Пациент наблюдался через 6 и 12 месяцев после оперативного лечения. По данным опросников KOOS- Child и Pedi-IKDC до оперативного лечения и после у пациента наблюдалось значительное повышение баллов. Так в KOOS-Child Pain – на 46 баллов выше, чем до операции; Symptom – 40. ADL - на 42, Sport – на 50, QOL - 46. По данным опросника Pedi-IKDC после операции баллы стали выше на 35 единиц. По результатам клинического осмотра коленный сустав стабилен.

Рисунок 22 — Рентгенограмма коленного сустава пациента после пластики передней крестообразной связки по методике all-inside all-epiphyseal

ГЛАВА 5. Анализ отдаленных результатов лечения пациентов детского возраста с открытыми и закрытыми зонами роста

В группу ОЛ входили 45 человек с травмами ПКС. Травмы были получены во время занятий спортом: командные виды — 20 человек, контактные виды — 10, другие виды — 10; по другим причинам — 5 человек. Пациенты были разделены на две подгруппы. В 1-ю подгруппу входили 26 пациентов с закрытыми зонами роста, которым выполняли пластику ПКС по классической методике, во 2-ю подгруппу вошли 19 пациентов, которым выполняли пластику ПКС по методике all-inside. В ней количество пациентов с открытыми зонами роста составило 12 человек и 5 с закрытыми. У пациентов с активными зонами роста 9-ти выполняли пластику ПКС по методике all-inside partial transphyseal и 3 пациентам по методике all-inside all-epiphyseal.

В группе ОЛ оценивали те же показатели, что и в контрольной:

1. Данные клинического осмотра (объем движений, тесты на стабильность).
2. Данные МРТ-исследований до и в разные сроки после операции (оценка состояния суставного хряща, костных структур, менисков и трансплантата).
3. Данные шкал KOOS-Child, Pedi-IKDC и KOOS, IKDC (если пациенты достигли совершеннолетия). Опрос проводили перед оперативным лечением и после него в разные сроки наблюдения.

Направление тоннеля у пациентов с активными зонами роста значимо отличается от классического. Что в свою очередь также позволяет провести операцию по пластике ПКС при разрыве трансплантата, избегая пластики костных тоннелей, тем самым уменьшая срок восстановления и возврата в спорт. Поскольку консервативное лечение молодых спортсменов приводит к неудовлетворительным результатам, пациентам с ожидаемым ростом до 5 см от паспортного возможно выполнение методики partial transphyseal. Эта методика показала отличные клинические результаты и рекомендована пациентам с открыты зонами роста как альтернатива консервативному лечению.

В отдаленном периоде пациентов с открытыми зонами роста у 2 человек (4 %) отмечались неудовлетворительные результаты. Обоим пациентам проведено оперативное лечение в объеме all-inside all-epiphyseal, отмечалась нестабильность коленного сустава, по данным МРТ в обоих случаях имелись остеохондральные изменения наружного мыщелка бедренной кости. Угловых деформаций и нарушений роста отмечено не было.

В группе пациентов с активными зонами роста после оперативного лечения в объеме all-inside partial transphyseal осложнений выявлено не было. Все пациенты были удовлетворены результатами лечения. По данным исследований лучевыми методами угловых деформаций коленного сустава обнаружено не было.

В группе пациентов с закрытыми зонами роста после оперативного лечения по методике all-inside со стандартным направлением тоннелей осложнений так же не выявлено. Все пациенты были удовлетворены результатами.

В группе пациентов с закрытыми зонами роста после оперативного лечения по классической методике было отмечено 3 (6,5 %) случая неудовлетворенностью лечением. Пациенты отмечали нестабильность в коленном суставе, а также по результатам МРТ-исследования были отмечены остеохондральные изменения наружного мыщелка бедренной кости (1 человек) и внутреннего мыщелка бедренной кости (1 человек).

На рисунке 23 можно увидеть уровень качества лечения пациентов в КГ и группе ОЛ. На графике показано, что средние показатели качества лечения в группе ОЛ выше, чем в КГ.

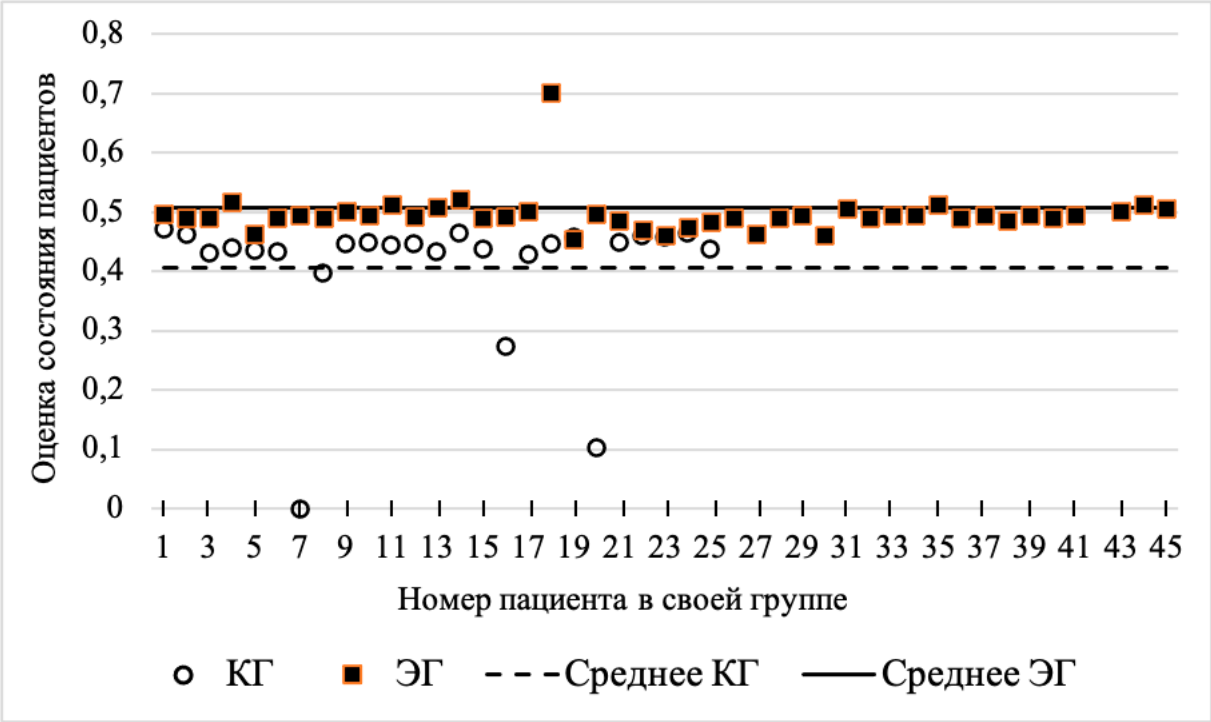

Рисунок 23 — Показатели качества лечения пациентов в контрольной группе и в группе оперативного лечения

На рисунке 24 показаны средние уровни качества жизни пациентов в КГ и группе ОЛ. На гистограмме можно увидеть, что уровни качества жизни значимо различаются как по отдельным категориям опросника KOOS-Child, так и по опроснику Pedi-IKDC. В среднем разница между КГ и группой ОЛ составляет 16 баллов, что говорит о значимом улучшении состояния пациентов. Наибольшее улучшение можно заметить в разделе KOOS-Child QOL — 19,8 балла (качество жизни), KOOS-Child Sport (спортивные нагрузки) — 18,3 балла, KOOS-Child Pain (боль) — 18 баллов. На основании данных опросника можно сделать вывод о более высоких результатах лечения пациентов, которым проводили реконструкцию ПКС.

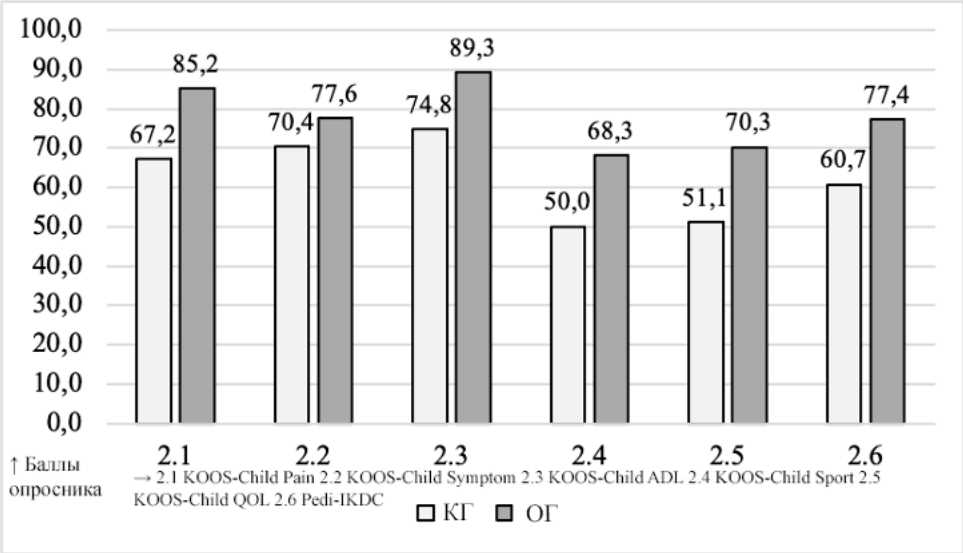

Рисунок 24 — Средние уровни качества жизни в группах после лечения

Оценка результатов по опросникам у пациентов в группе ОЛ до операции и после имеет так же большую разницу. Среднее значение составляет 27 баллов, что говорит о значимом улучшении состояния пациентов. KOOS-Child Sport показал наилучший результат — разница между баллами до и после лечения составила 37,2 балла. Разница по опроснику KOOS-Pain — 32,7 балла. Эти данные позволяют сделать вывод о значимом улучшении состояния пациентов после операции (рисунок 25).

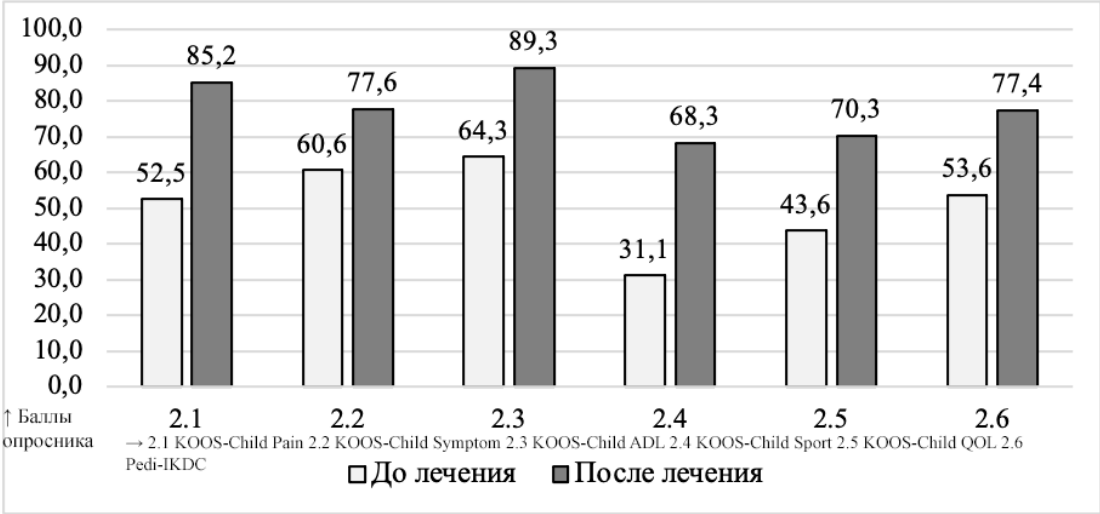

Рисунок 25 — Средние уровни качества жизни в группе оперативного лечения до и после лечения

В группе ОЛ пациентам по методике all-inside проводили расчет костного возраста, который в среднем отличался в бóльшую сторону от паспортного на 21 мес. В нашей практике имеются случаи, когда паспортный возраст пациента составлял 14 лет, тогда как костный — 17 лет. Расчет костного возраста и ожидаемого роста пациентов позволил нам выбрать подходящее лечение. Эти процедуры являются золотым стандартом в практике эндокринологов и педиатров по всему миру, что даем нам более обоснованный и научный подход в лечении антеромедиальной нестабильности пациентов с активными зонами роста с разрывом ПКС.

В работе использовался алгоритм ведения пациентов детского возраста с антеромедиальной нестабильностью при повреждении передней крестообразной связки (рисунок 26).

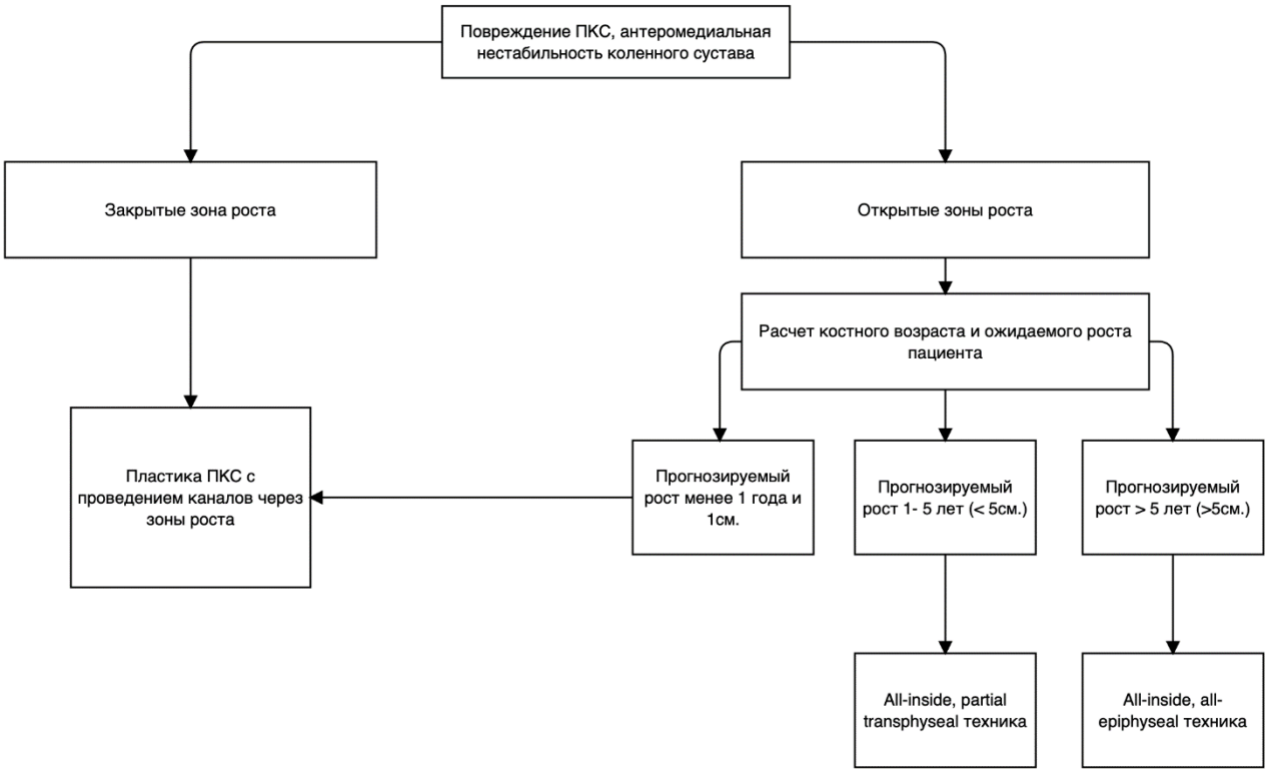

Рисунок 26 — Схема алгоритма ведения пациентов с антремедиальной нестабильность коленного сустава при повреждении ПКС

Если у пациента подтверждена клинически антеромедиальная нестабильность, а по данным МРТ повреждение ПКС, то следующим шагом будет определение костного возраста и ожидаемого роста пациента. На основании полученных данных врач придет к выводу об активности зон роста и сможет сделать прогноз об

оставшемся времени на рост и о том, сколько сантиметров он прибавит. Далее принимается решение о проведении оперативного лечения, советующего ожидаемому росту.

Только у 2 пациенток с открытыми зонами роста отмечались неудовлетворительные результаты лечения, которые были связаны с нарушением техники операции.

У пациентов в закрытыми зонами роста так же наблюдались осложнения. В одном случае пациент наблюдался у травматолога по месту жительства. Спустя 6 нед. после оперативного лечения по месту жительства было принято решение о вскрытии гематомы в области верхней 1/3 голени. Спустя 8 мес. с момента оперативного лечения у пациента отмечалось ограничение движений в коленном суставе. Был назначен курс реабилитационных мероприятий, после чего был достигнут нужный объем движений.

В другом случае пациент получил повторную травму спустя 8 мес. с момента оперативного лечения во время физических нагрузок. Еще у одного пациента отмечалась антеромедиальная нестабильность коленного сустава в связи с нарушением техники операции. Пациенту была проведена пластика костных тоннелей с последующей реконструкцией ПКС.

5.1 Статистический анализ результатов лечения

Цель анализа — обоснование статистическими методами предположения, что результаты лечения пациентов в группе ОЛ значимо отличаются от результатов лечения в КГ с консервативным лечением.

В основе статистических методов лежит математическая модель проверки гипотез о равенстве или различии характеристик положения (например, математических ожиданий) показателей, которые характеризуют качество лечения. Такие показатели можно условно разделить на 2 группы:

1) объективные, которые получены в результате измерений (числовая шкала) либо в результате наличия/отсутствия какого-либо признака (дихотомическая шкала);

2) субъективные, полученные по данным опросников.

В таблице 6 перечислены все показатели, на основании которых будет проводится анализ эффективности лечения с указанием условных обозначений, используемых в дальнейшей работе.

Таблица 6 — Показатели эффективности лечения

Обозначение	Показатель	Шкала
Объективные показатели		
1.1	Наружный хрящ мыщелка бедра	Числовая, мм
1.2	Внутренний хрящ мыщелка бедра	Числовая, мм
1.3	Наружный хрящ мыщелка большеберцовой кости	Числовая, мм
1.4	Внутренний хрящ мыщелка большеберцовой кости	Числовая, мм
1.5	Наружный мениск	0 — нет повреждения, 1 — есть повреждение
1.6	Внутренний мениск	0 — нет повреждения,

Обозначение	Показатель	Шкала
		1 — есть повреждение
1.7	Остеохондральные изменения: наружный мыщелок бедренной кости	0 — нет повреждения, 1 — есть повреждение
1.8	Остеохондральные изменения: внутренний мыщелок бедренной кости	0 — нет повреждения, 1 — есть повреждение
1.9	Возраст пациента	Числовая, лет
1.10	Нестабильность	0 — отсутствует, 1 — присутствует
Показатели, полученные из опросников		
2.1	KOOS-Child Pain	Числовая, балл
2.2	KOOS-Child Symptom	Числовая, балл
2.3	KOOS-Child ADL	Числовая, балл
2.4	KOOS-Child Sport/Rec	Числовая, балл
2.5	KOOS-Child QOL	Числовая, балл
2.6	Pedi-IKDC	Числовая, балл

Для получения значений указанных показателей было проведено наблюдение за пациентами в группе ОЛ (45 пациентов) и КГ (25 пациентов).

Исследование основано на методах проверки статистических гипотез [3, 6, 8]. Основная проверяемая гипотеза называется нулевой и обозначается H_0. Параллельно с ней существует альтернативная гипотеза H_1, которая противоречит нулевой. Если основная отвергается, то принимается альтернативная.

При проверке гипотез исследователь устанавливает некоторую вероятность α, имеющую смысл того, что основная гипотеза H_0 отвергается, когда верна. Вероятность такой ошибки α называют уровнем значимости, ее выбирают от 0,01 до 0,1. Вместо уровня значимости иногда задают доверительную вероятность $p = 1 - \alpha$. В нашем исследовании будем использовать уровни значимости 0,01; 0,05 и 0,1.

Метод проверки статистической гипотезы называется статистическим критерием. Все критерии имеют одинаковую структуру: на основании выборочных данных рассчитывают некоторый показатель K, называемый статистикой критерия, и затем по специальным таблицам или на электронной вычислительной машине рассчитывают критическое значение статистики $K_{кр}$, которое зависит от числа измерений n и уровня значимости α, затем из сравнения K и $K_{кр}$ делают вывод о принятии или непринятии гипотезы H_0.

Среди статистических гипотез, используемых в научных исследованиях, центральное место занимают гипотезы о равенстве средних. Эти гипотезы имеют место в случаях, когда необходимо обосновать предположение, что среднее значение некоторого показателя в двух группах различается или что показатель в одной группе с течением времени под влиянием каких-то факторов в среднем изменился.

Предположим, имеются две выборки, характеризующие показатель X в разных условиях. Например, показатель измеряется в двух различных группах и требуется доказать, что он в них в среднем различается. Или показатель измеряется в одной и той же группе, но в разных условиях, например до и после лечения, и нужно доказать, что именно лечение привело к изменению показателя. Выборки, по которым проверяется гипотеза, называются связанными, если каждому значению одной выборки x_i соответствует элемент y_i из другой выборки, характеризующие показатели для одного и того же пациента, но в различных условиях или в различные периоды времени. Несвязанные выборки, как правило, характеризуют различные группы респондентов, например группу ОЛ сравнивают с КГ, как в нашем случае.

Наиболее мощным и распространенным критерием сравнения средних для связанных и несвязанных выборок объема n и m является критерий Стьюдента [6, 8, 1]. Однако он применяется для случаев, когда показатели, представленные выборками, имеют закон распределения близкий к нормальному. В случае, когда показатели имеют отличный от нормального закон распределения, критерий Стьюдента применять нельзя, в этом случае его заменяют на разные

непараметрические критерии, например Уилкоксона, Манна – Уитни и др. [3, 1], которые менее мощные. Однако можно какими-либо методами объединять, интегрировать показатели так, чтобы в итоге получить некоторый новый показатель, распределенный по нормальному закону, и для него использовать критерий Стьюдента, что и будет сделано в данной работе.

В основе критерия Стьюдента лежит сравнение основных выборочных параметров (средних и дисперсий), поэтому он называется параметрическим. Рассмотрим случай, когда выборки независимы и не связаны.

Рассмотрим выборки (x_1, x_2, … x_n), (y_1, y_2, … y_m).

На первом этапе по выборкам вычисляются выборочные средние и дисперсии:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1+x_2+\ldots+x_n),\quad S_x^2 = \frac{1}{n-1}(x_1^2+x_2^2+\ldots+x_n^2-n\cdot(\bar{x})^2), \tag{7}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{m}(y_1+y_2+\ldots+y_m),\quad S_y^2 = \frac{1}{m-1}(y_1^2+y_2^2+\ldots+y_m^2-m\cdot(\bar{y})^2). \tag{8}$$

На втором этапе сравниваются дисперсии. Для этого вычисляется $F = \frac{\max(S_x^2;S_y^2)}{\min(S_x^2;S_y^2)}$, равное отношению большей дисперсии к меньшей. Это число сравнивается с критическим значением $F_{kr} = F_{1-\alpha}(k_1,k_2)$, взятым из статистических таблиц [114]. При этом $k_1 = n-1, k_2 = m-1$, если $S_x^2 > S_y^2$ и $k_1 = m-1, k_2 = n-1$, если $S_x^2 < S_y^2$. Если $F \le F_{kr}$, то дисперсии можно считать равными, если $F > F_{kr}$, то дисперсии различны.

На третьем этапе вычисляется статистика критерия Стьюдента:

$$t = \frac{\left|\bar{x}-\bar{y}\right|}{S\sqrt{1/n+1/m}},\quad \text{где}\quad S = \sqrt{\frac{(n-1)S_x^2+(m-1)S_y^2}{n+m-2}}, \tag{9}$$

если дисперсии равны, и

$$t = \frac{\left|\bar{x} - \bar{y}\right|}{\sqrt{S_x^2 / n + S_y^2 / m}}, \qquad (10)$$

если дисперсии различные.

По таблице обратного распределения Стьюдента [13] находят критическое значение статистики $t_{kr} = t_{1-\alpha}(n+m-2)$. Если $t \le t_{kr}$, то средние значения показателей для выборок не различаются.

В приложении А5 приведены результаты наблюдений объективных показателей в КГ, в приложении А6 — в группе ОЛ.

Был проведен анализ статистической информации. Проверка нормальности распределения для объективной информации показала, что все объективные показатели имеют закон распределения, отличный от нормального. Проверку проводили по критерию Колмогорова – Смирнова [13] на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$.

Таким образом, напрямую использовать критерий Стьюдента для сравнения средних показателей в группах нельзя. Для решения данной проблемы возможны два пути:

1) использовать вместо критерия Стьюдента непараметрические критерии, которые не зависят от закона распределения;
2) на основании имеющихся показателей сформировать некоторый обобщенный (интегральный) показатель, который бы имел нормальное распределение и, самое главное, который бы объективно отражал состояние пациента и, как следствие, качество лечения пациентов и в КГ, и в группе ОЛ.

Первое направление имеет существенный недостаток — непараметрические критерии менее мощные, чем критерий Стьюдента, так как используют лишь часть статистической информации, полученной от показателей. Ввиду этого было принято решение пойти по второму пути и сформировать некоторый итоговый показатель, который бы объективно отражал качество лечения в группах.

Существуют различные методики получения интегральных показателей на основании частных оценок. Один из наиболее объективных методов, позволяющий получать независимые оценки качества лечения пациентов по линейной шкале, основан на модели Раша оценки латентных переменных [14, 108, 16, 29].

Интегральная оценка состояния пациента на основе модели Раша

Рассмотрим группу из N пациентов, у которых необходимо оценить качество лечения по объективным показателям M. Введем некоторый интегральный показатель состояния пациента по объективным данным, который для i-го пациента обозначим как QT_i, $i = 1, 2, \dots N$.

Обозначим через матрицу U_{ij} оценку состояния i-го пациента по j-му объективному показателю, $i = 1, 2, \dots N$; $j = 1, 2, \dots M$. Оценки матрицы U_{ij} в общем случае могут измеряться по произвольным и в том числе дихотомическим, политомическим и непрерывным шкалам, которые могут быть разными для разных показателей. Модель Раша требует приведения оценок к общей единичной шкале, поэтому нужно провести процедуру нормализации на нее. Нормализованные оценки, которые обозначим через u_{ij} , должны быть из отрезка [0; 1] и направлены на максимизацию, то есть чем больше оценка, тем лучше состояние пациента.

Учитывая то, что все объективные показатели, указанные в таблице 6, направлены на минимизацию, то есть чем меньше значение показателя, тем лучше состояние пациента, для нормализации объективных показателей можно использовать формулу (11) [2]:

$$u_{ij} = \frac{\max\limits_i(U_{ij}) - U_{ij}}{\max\limits_i(U_{ij}) - \min\limits_i(U_{ij})}. \qquad (11)$$

Определим две группы латентных переменных:

QE_i — интегральная оценка состояния для i-го пациента;

QP_j — переменная, оценивающая свойства j-го частного показателя, а именно степень его невыполнимости или маловажности влияния на интегральный

показатель состояния пациента для всей группы пациентов. То есть чем меньше оценка данного показателя, тем больший будет его вес в интегральной оценке состояния пациентов.

В соответствии с [14, 108] вероятность того, что i-й пациент имеет более высокую оценку своего состояния при использовании j-ого объективного показателя, чем уровень невыполнимости этого показателя, будет равна:

$$P_{ij} = \frac{e^{QE_i - QP_j}}{1 + e^{QE_i - QP_j}}. \tag{12}$$

Для численного получения оценок латентных переменных по модели Раша необходимо приблизить теоретические вероятности, полученные по формуле (12) к эмпирическим оценкам этих вероятностей u_{ij}, полученным из приложений А5 и А6, нормированные по формуле (11). При этом в оценивании участвуют все пациенты, как из КГ, так и из группы ОЛ, после оценивания вновь производят разделение пациентов на группы.

В традиционной модели Раша для решения этой задачи используют метод максимального правдоподобия, однако этот метод применим только для дихотомических шкал объективных показателей. При наличии политомических или непрерывных шкал объективных показателей рационально использовать модель Раша, основанную на методе наименьших квадратов [29, 2], кроме того, по этой методике удается получить оценки с более высокой точностью [14]. Согласно модели, основанной на методе наименьших квадратов, оценки латентных переменных определяются из решения оптимизационной задачи следующего вида:

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}(u_{ij} - P_{ij})^2 \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(u_{ij} - \frac{e^{QE_i - QP_j}}{1 + e^{QE_i - QP_j}}\right)^2 \to \min . \tag{13}$$

Оценки состояния пациентов и показатели выполнимости объективных данных, полученных из решения задачи (13), будут измеряться по интервальным и линейным шкалам, но ввиду включения в задачу не самих латентных переменных,

а их разности, начало отсчета в них будет неопределенным. Нулевой уровень отсчета шкал можно выбрать так, чтобы значения всех оценок были неотрицательными. Тогда задача оптимизации (13) будет дополняться условиями нормировки:

$$QE_i \geq 0;\ QP_j \geq 0;\ i = 1,2,...,N;\quad j = 1,2,...,M \quad . \qquad (14)$$

Для удобства интерпретации полученных итоговых оценок состояния пациентов, полученных на основании объективных показателей, можно провести их дополнительное нормирование на единичную шкалу, при которой значение интегрального показателя качества жизни пациента будет равно доли в единичной сумме оценок для всех пациентов. Нормированные оценки состояния пациентов QEn_i будут равны:

$$QEn_i = \frac{QE_i - \min\limits_i (QE_i)}{\max\limits_i (QE_i) - \min\limits_i (QE_i)},\quad i = 1,2,...,N \quad . \qquad (15)$$

Согласно центральной предельной теореме теории вероятностей [134] такой интегральный показатель состояния здоровья пациента будет вероятнее всего распределен нормально, так как он формируется на основании 10 объективных показателей. Однако это предположение будет проверено дополнительно.

Модель Раша обладает следующими преимуществами по сравнению с другими методами обобщения статистической информации [14]:

1. Полученные оценки не зависят от набора объективных показателей.
2. Полученные оценки не зависят от состава пациентов.
3. Оценки представлены по линейной шкале без начала отсчета, которую можно перевести в любую иную шкалу для осуществления статистических процедур.

Согласно мнению многих исследователей [14, 29] модель Раша позволяет получать наиболее объективные оценки при обобщении статистической информации.

Проведем интеграцию объективных показателей для получения латентного обобщенного показателя состояния пациентов в группах по описанной методике.

Это позволит сравнить средние показатели состояния пациентов в КГ и группе ОЛ и в итоге оценить эффективность лечения. Оценки состояния пациентов, полученные по модели Раша в КГ, представлены в таблице 7, а в группе ОЛ — в таблице 8. В таблицах приведены как абсолютные оценки, так и нормированные по формуле (15). Для расчетов была использована методика численного решения оптимизационных задач (13), (15) в среде MS Excel.

Полученные результаты позволят оценить качество лечения в группах на основании средних значений состояния здоровья пациентов.

Таблица 7 — Интегральные оценки состояния пациентов, полученные по модели Раша в контрольной группе

Паци-ент	Оценка состояния	Нормирован-ная оценка	Паци-ент	Оценка состояния	Нормирован-ная оценка	Паци-ент	Оценка состояния	Нормирован-ная оценка
1	44,887	0,471	10	44,233	0,448	19	44,529	0,458
2	44,616	0,461	11	44,149	0,445	20	34,376	0,103
3	43,760	0,431	12	44,162	0,446	21	44,283	0,450
4	43,997	0,440	13	43,801	0,433	22	44,546	0,459
5	43,891	0,436	14	44,715	0,465	23	44,494	0,457
6	43,816	0,433	15	43,934	0,438	24	44,716	0,465
7	31,418	0,000	16	39,239	0,273	25	43,931	0,437
8	42,800	0,398	17	43,656	0,428			
9	44,184	0,446	18	44,215	0,447			

Таблица 8 — Интегральные оценки состояния пациентов, полученные по модели Раша в группе оперативного лечения

Паци-ент	Оценка состояния	Нормирован-ная оценка	Паци-ент	Оценка состояния	Нормирован-ная оценка	Паци-ент	Оценка состояния	Нормирован-ная оценка
1	45,654	0,498	16	45,532	0,493	31	45,907	0,507
2	45,452	0,491	17	45,789	0,502	32	45,431	0,490
3	45,425	0,490	18	51,514	0,703	33	45,541	0,494

4	46,211	0,517	19	44,433	0,455	34	45,541	0,494
5	44,700	0,464	20	45,619	0,497	35	46,090	0,513
6	45,431	0,490	21	45,341	0,487	36	45,432	0,490
7	45,548	0,494	22	44,877	0,471	37	45,552	0,494
8	45,427	0,490	23	44,633	0,462	38	45,288	0,485
9	45,782	0,502	24	45,013	0,475	39	45,549	0,494
10	45,543	0,494	25	45,252	0,484	40	45,425	0,490
11	46,062	0,512	26	45,457	0,491	41	45,559	0,494
12	45,532	0,493	27	44,664	0,463	42	60,021	1,000
13	45,928	0,507	28	45,457	0,491	43	45,791	0,503
14	46,323	0,521	29	45,562	0,495	44	46,101	0,513
15	45,430	0,490	30	44,630	0,462	45	45,898	0,506

Сравнение средних показателей состояния пациентов в группах по критерию Стьюдента

На первом этапе проведем оценку нормальности распределения полученной интегральной оценки состояния пациентов в объединенной группе (КГ и группа ОЛ), которая получена на основании модели Раша. Ранее предположили, что этот показатель распределен по нормальному закону, проверим это предположение по критерию Колмогорова – Смирнова.

Результат проверки нормальности интегральной оценки состояния здоровья пациентов QE_i показал, что на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ состояние здоровья пациентов распределено по нормальному закону. Для иллюстрации этого факта приведем гистограмму результатов оценок состояния пациентов в обеих группах, полученных по модели Раша, с наложением на нее кривой нормального распределения (рисунок 27). Для расчетов использован статистический пакет Statgraphics.

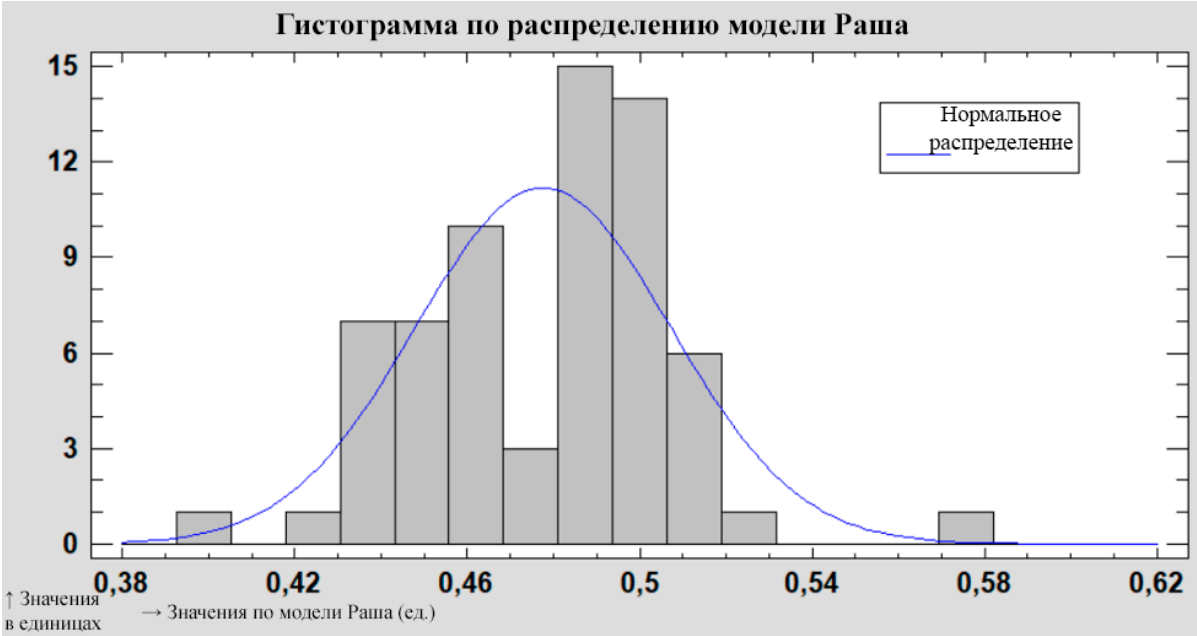

Рисунок 27 — Распределение состояния пациентов в объединенной группе с наложением кривой нормального распределения (изображение получено в программе Statgraphics на основе данных автора)

Рисунок 27 показывает, что гистограмма данных хорошо согласуется с кривой нормального распределения. Таким образом, для решения главной задачи — оценки качества лечения в КГ и группе ОЛ — можно использовать параметрический критерий Стьюдента.

Основные результаты статистического анализа и проверки гипотезы о равных математических ожиданиях качества лечения в группах приведены в таблице 9, а графики, иллюстрирующие средние уровни состояния пациентов в группах, на рисунке 28.

Таблица 9 — Результаты статистического анализа объективных показателей в группах

Показатель	Контрольная группа	Группа оперативного лечения	Примечание
Выборочное среднее	0,4068	0,5077	

Выборочная дисперсия	0,0130	0,0068	Дисперсии можно считать равными при α = 0,05
Медиана	0,4451	0,4938	
t-статистика	3,8885		
Уровень значимости	0,01	0,05	0,1
t-критическое	2,3824	1,6676	1,2941

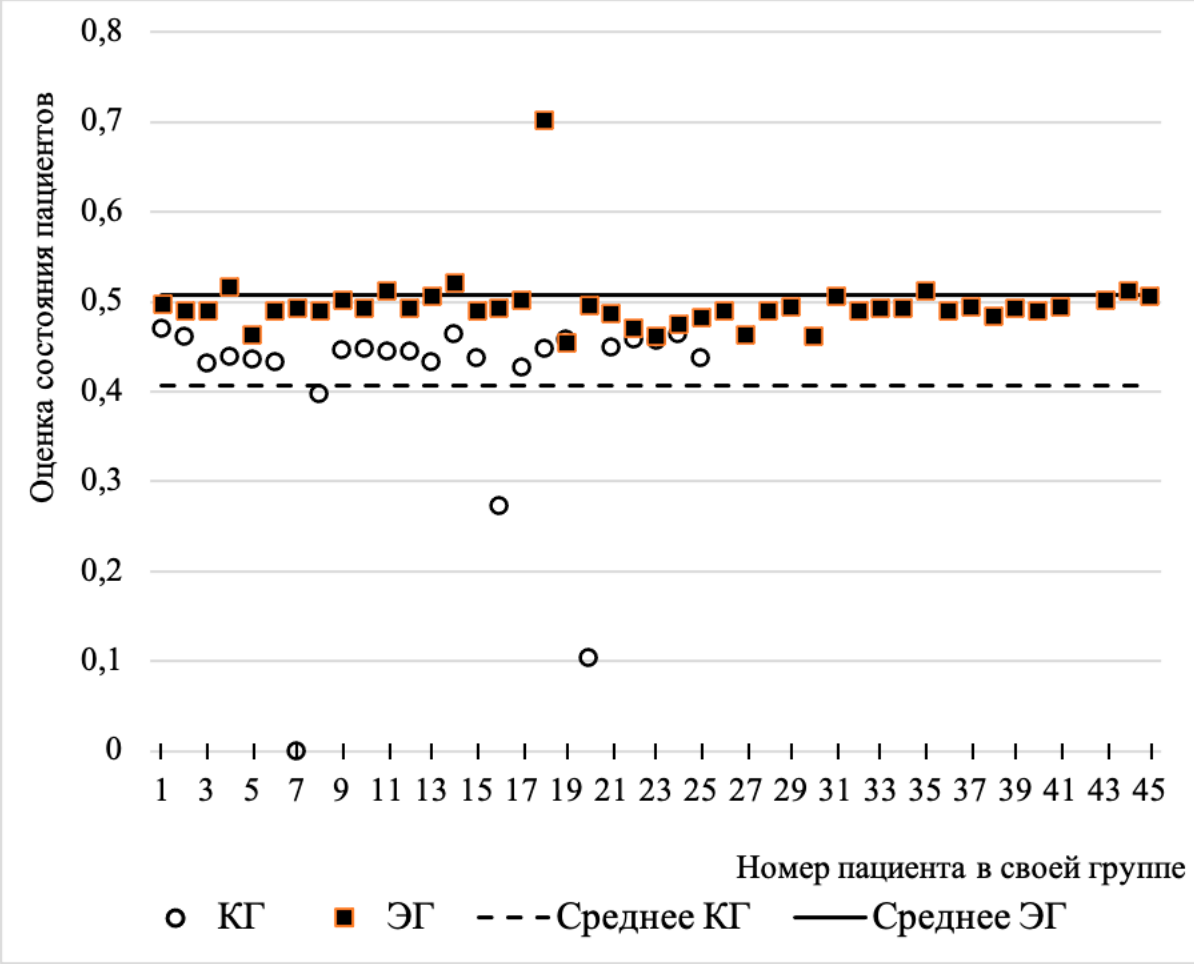

Рисунок 28 — Показатели состояния пациентов и их средние уровни

Как показывают последние строки таблицы 9, *t*-статистика Стьюдента больше критических значений на всех уровнях значимости, следовательно, гипотеза о равенстве математических ожиданий отвергается. Это дает основание утверждать, что с вероятностью менее 0,01 средний уровень показателей состояний пациентов,

который можно интерпретировать как качество лечения в группе ОЛ, превышает средний уровень показателей в КГ с консервативным лечением. Все это говорит об эффективности оперативного лечения.

Проведем теперь аналогичные расчеты для информации, полученной на основании опросников.

Анализ качества лечения по информации, полученной на основании опросников

Было проведено три опроса качества жизни пациентов:

1) в КГ после консервативного лечения;

2) в группе ОЛ до операции;

3) в группе ОЛ после операции.

Результаты опроса качества жизни в КГ и группе ОЛ приведены в приложениях А7 и А8 соответственно.

Был проведен анализ результатов опроса. Проверка нормальности распределения для всех разделов и опросников показала, что все результаты имеют нормальный закон распределения, на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$.

Таким образом, можно использовать критерий Стьюдента для сравнения средних значений в группах. Для иллюстрации нормальности распределения на рисунках 29 и 30 приведены гистограммы результатов опроса в группе ОЛ.

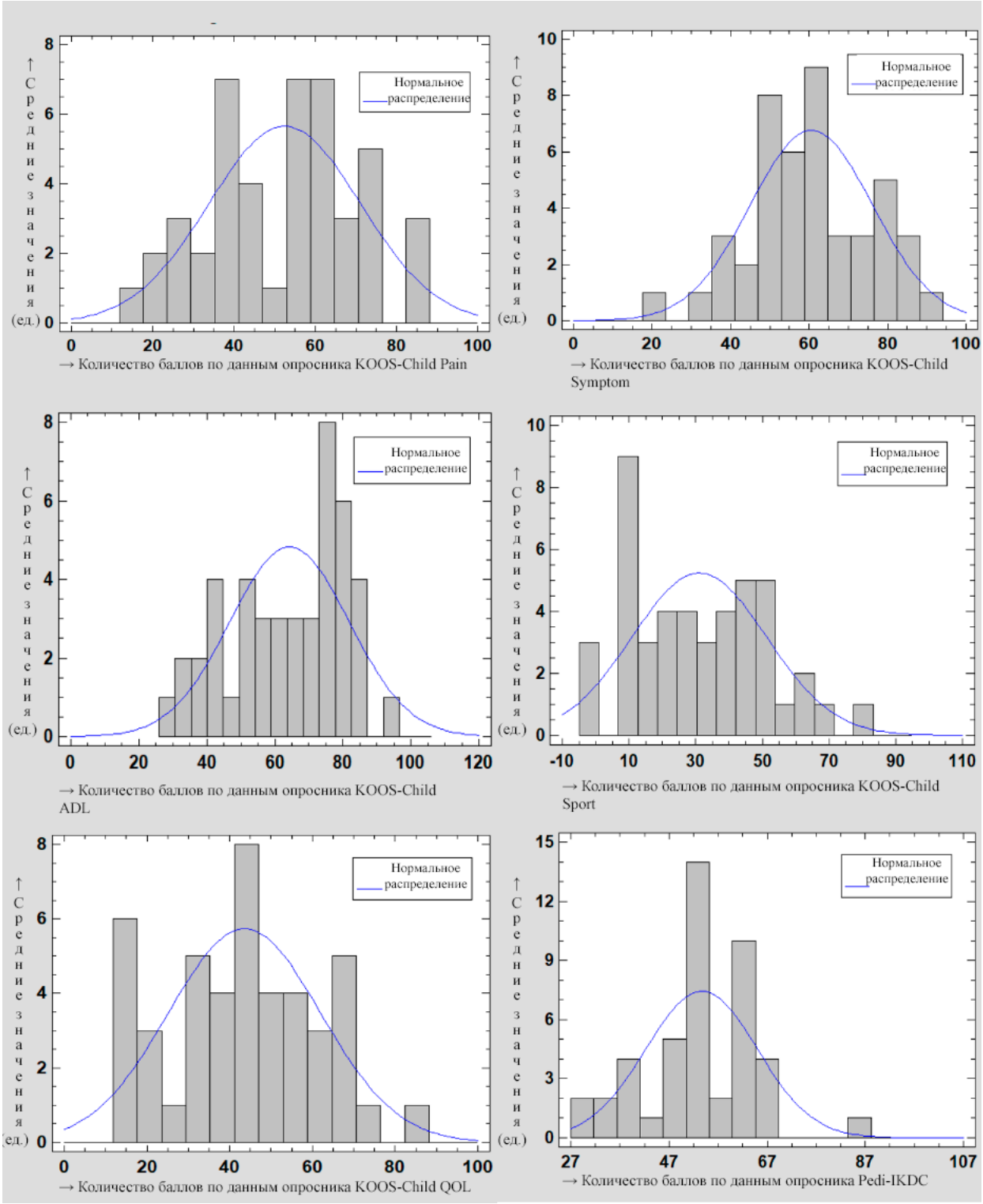

Рисунок 29 — Гистограммы результатов обработки разделов опросников в группе оперативного лечения до лечения с кривой нормального распределения (изображение получено в программе Statgraphics на основе данных автора)

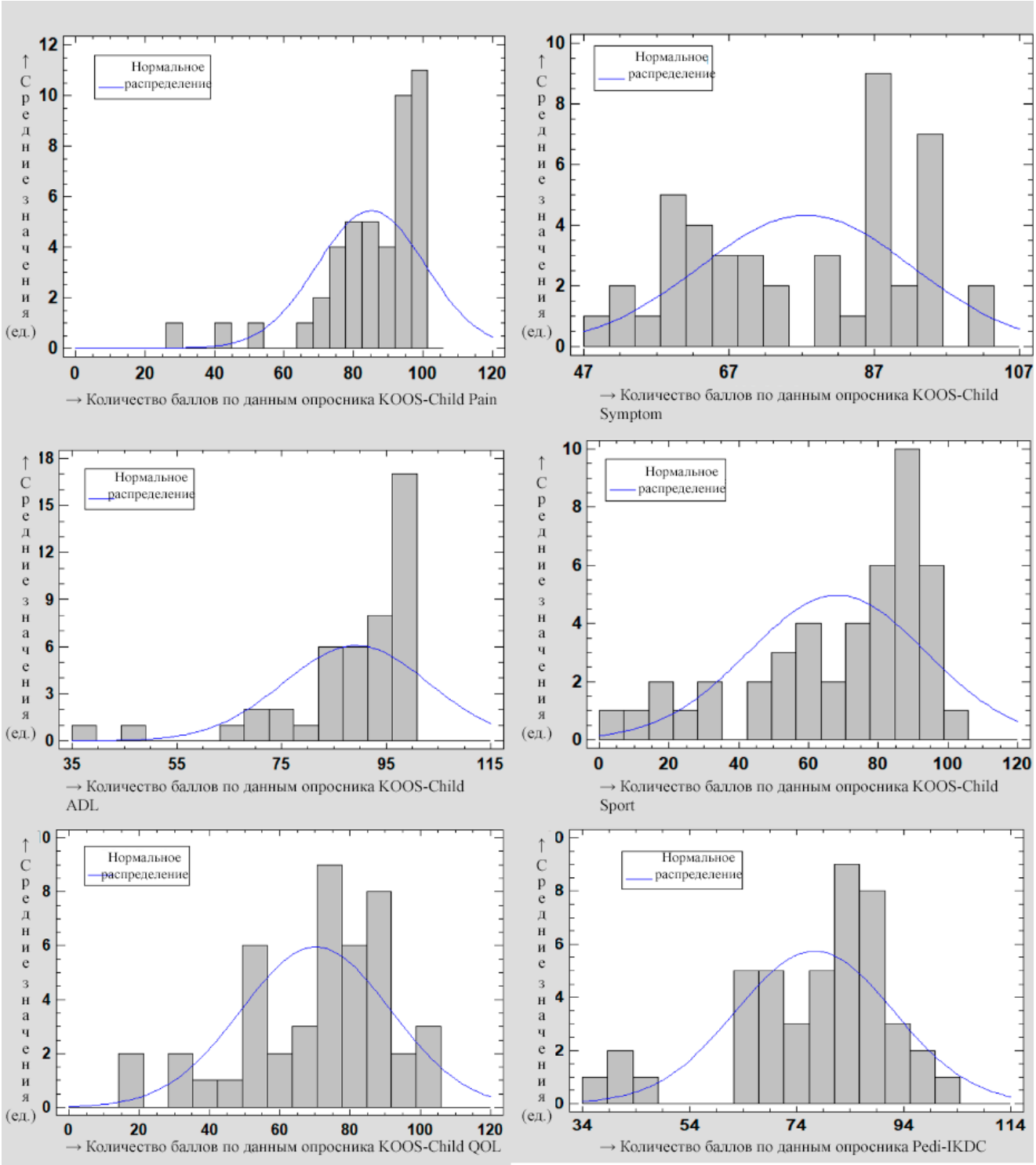

Рисунок 30 — Гистограммы результатов обработки разделов опросников в группе оперативного лечения после лечения с кривой нормального распределения (изображение получено в программе Statgraphics на основе данных автора)

Как видно из рисунков 29 и 30, максимум распределения в группе ОЛ после лечения выше, чем до лечения, что косвенно подтверждает его эффективность. Проверим это предположение по критерию Стьюдента.

Проведем сравнение результатов опроса качества жизни в КГ и группе ОЛ после лечения. Средние уровни качества жизни сравним по критерию Стьюдента. Результаты статистического анализа приведены в приложении А9.

Из таблицы приложения А9 видно, что для всех разделов опросника средние уровни качества жизни существенно различаются на уровне значимости менее 0,01 (кроме раздела 2.2, где уровень значимости менее 0,05). Это позволяет утверждать, что качество жизни, и как следствие, качество лечения с высокой вероятностью в КГ ниже, чем в группе ОЛ, что подтверждает бóльшую эффективность оперативного лечения, чем консервативного.

Для наглядности, на рисунке 31 приведены гистограммы среднего качества жизни в группах для всех разделов опросника.

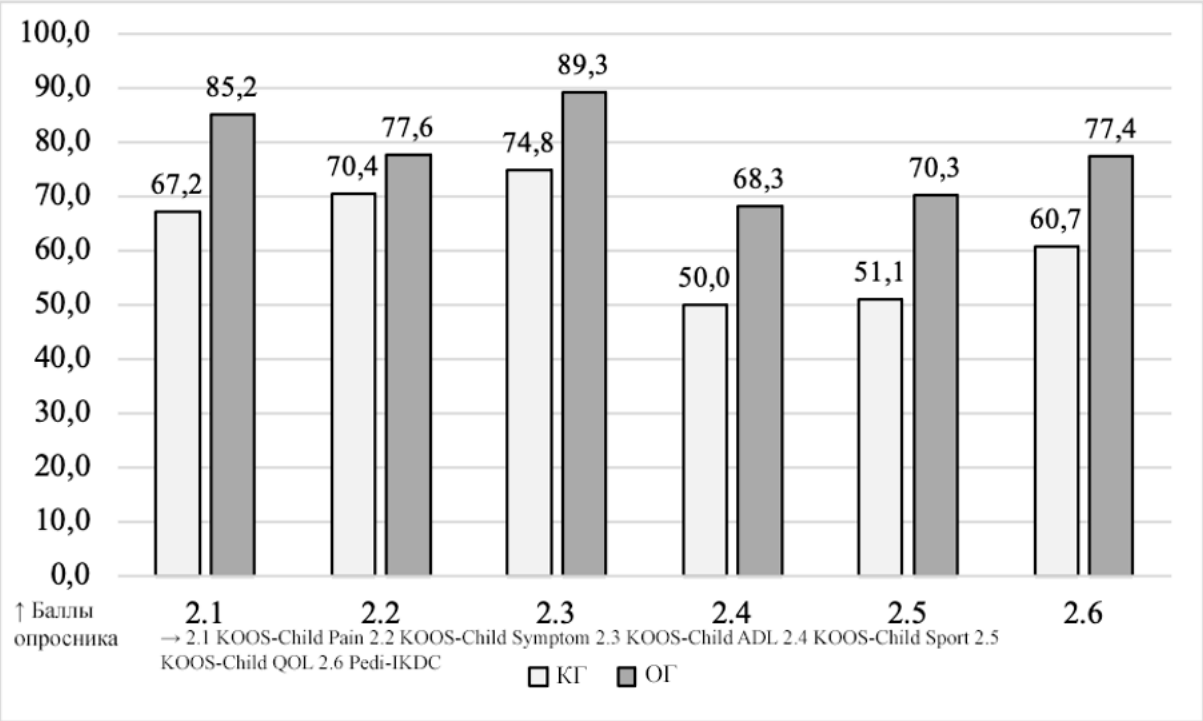

Рисунок 31 — Средние уровни качества жизни в группах после лечения

Анализ эффективности оперативного лечения

В заключение сравним результаты опроса качества жизни в группе ОЛ до и после лечения. Это позволит обосновать эффективность оперативного лечения. Средние уровни качества жизни сравним по критерию Стьюдента. Результаты статистического анализа приведены в приложении А10.

Из приложения А10 видно, что для всех разделов опросника средние уровни качества жизни существенно различаются на уровне значимости менее 0,01. Это позволяет утверждать, что качество оперативного лечения с высокой вероятностью эффективно и приводит к повышению качества жизни (рисунок 32).

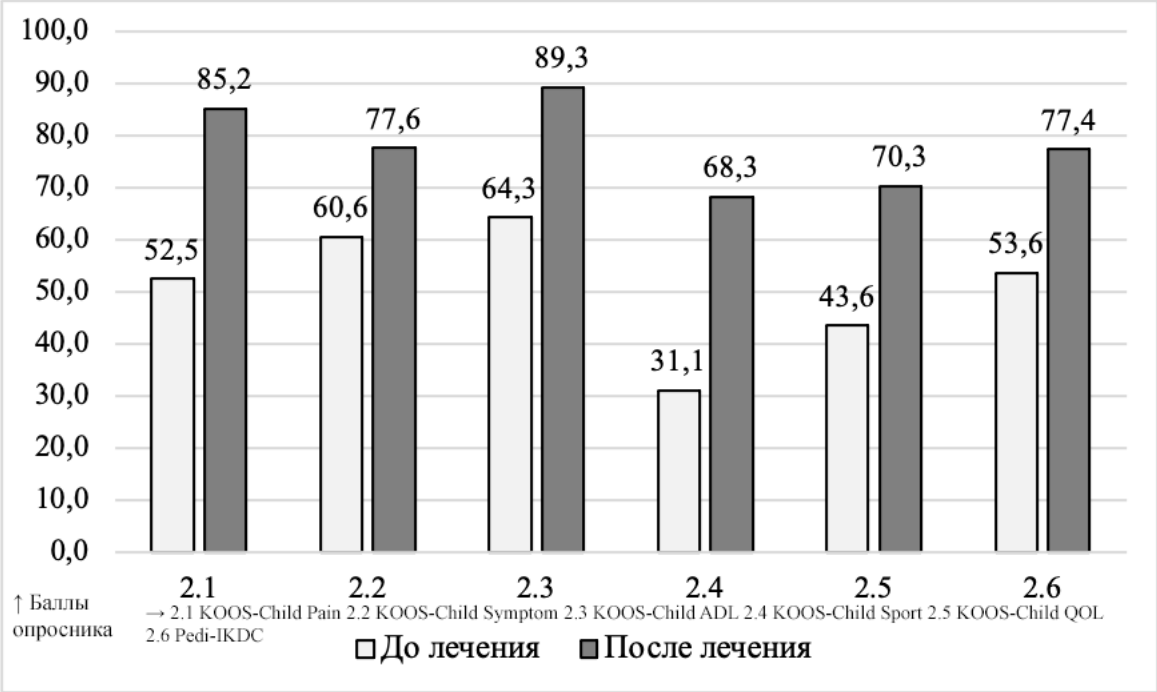

Рисунок 32 — Средние уровни качества жизни в группе оперативного лечения до и после лечения для всех разделов опросника

Таким образом, задача, поставленная в данном исследовании, выполнена и статистически обосновано то, что оперативное лечение является более результативным чем консервативное, эффективность этого лечения значительная и приводит как к улучшению объективных показателей, так и качества жизни пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в диссертации тема посвящена проблеме антеромедиальной нестабильности коленного сустава у детей вследствие разрыва ПКС.

Информация в **главе 1**, основанная на данных обзора литературы, выявляет актуальность проблемы, а также показывает современные взгляды и перспективные возможности в будущем.

В течение последних 20 лет отмечается постоянный рост травм ПКС среди детского населения. Он обусловлен тем, что все больше детей и подростков стали активно заниматься различными организованными видами спорта, включая экстремальные [105, 80, 24, 124].

N.A. Beck, et al. [33] проанализировали случаи повреждений ПКС у детей и подростков в возрасте 6–18 лет в период 1993–2003 г. По их данным, средний показатель частоты травм ПКС составил 121 на 100 000 населения в год. Ежегодный прирост равнялся в среднем 2,3 % в год.

В работе B.C. Werner, et al. [130] отмечается возрастание случаев повреждения ПКС и, соответственно, проведенных операций по ее реконструкции. В период с 2007 по 2011 г. в возрастных группах 10–14 лет число прецедентов увеличилось на 300, а в возрастной группе 15–19 лет — почти на 1000.

D.E. Ramski, et al. [107] выполнен метаанализ сравнения исходов между 217 пациентами с разрывом ПКС, часть из которых лечилась консервативно, а другим пациентам была выполнена реконструкция ПКС. Вторую группу составили 353 пациента с разрывом ПКС после ранней и отсроченной реконструкции связки. Результаты сравнения показали, что при консервативном лечении разрыва связки 75 % пациентов испытывали нестабильность, а после оперативного лечения — 13,6 %. У больных после консервативного лечения разрывы мениска были зарегистрированы в 9,1 раз чаще (35,4 против 3,9 %). Ни один пациент с разрывом ПКС, получивший консервативное лечение, не вернулся к прежнему уровню спортивной активности. Среди прооперированных пациентов в спорт вернулось 85,7 % [107].

Не стоит забывать и про ассоциированную травму совместно с разрывом ПКС: повреждение медиального мениска, суставного хряща и медиальной боковой связки (так называемая несчастная триада). J.T. Newman, et al. [102] отметили, что повреждение вышеуказанных структур более характерно для детей до 14 лет, а у пациентов старшего возраста (от 20 до 45 лет) такой зависимости не прослеживается и достоверно не выявлено какой-либо корреляции между повреждением наружного мениска и несвоевременно выполненной операцией по реконструкции ПКС. При этом фактором риска развития осложнений у лиц 20–45 лет является наличие ожирения. В связи с этим следует отметить важность раннего оперативного лечения детей с повреждением ПКС.

До настоящего времени нет единого мнения относительно характера лечения повреждений ПКС у детей с незрелым скелетом: консервативное, консервативное с отсроченной реконструкцией или ранняя реконструкция ПКС. Все исследователи согласны, что главная задача при выборе метода лечения повреждения ПКС у детей с незрелым скелетом — это безопасность вмешательства для обеспечения долгосрочного функционального результата, снижения риска осложнений и сохранения зон роста. При консервативном лечении сохраняется риск развития нестабильности и вследствие этого вторичного повреждения мениска и хрящевой поверхности коленного сустава. А при классическом оперативном лечении вероятен риск повреждения зон роста и вследствие этого образования угловых деформаций в коленном суставе. Однако в настоящее время стоит пересмотреть ведение пациентов с антеромедиальной нестабильностью коленного сустава.

Во **второй главе** представлены материалы и методы проводимого исследования. В работу включен анализ данных 170 человек. Все пациенты проходили лечение в детском травматолого-ортопедическом отделении № 9 ФГБУ «НМИЦ ТО им Н.Н. Приорова» Минздрава России. Из них 100 человек принимали участие в исследовании по валидации и культурной адаптации опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC. 25 пациентов проходили консервативное лечение (контрольная группа). Остальным 45 выполнено оперативное лечение в объеме артроскопической пластики ПКС (26 — по классической методике, 19 — по

методике all-inside). Пациентам проведены клинический осмотр, выявляющий наличие гипотрофии мышц бедра и болезненность при пальпации в суставных щелях, тесты «переднего выдвижного ящика», Лахмана и pivot-shift. Пациенты отвечали на анкеты опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC. Оценивались данные МРТ-исследований. В отдаленном периоде пациенты проходили анкетирование, клинический осмотр, рентгенографическое и МРТ-исследования.

Критерии включения в группы исследования:

полный разрыв ПКС;

возраст до 18 лет;

отсутствие пластики ПКС в анамнезе;

развитие антеромедиальной нестабильности.

Критерии исключения:

частичный разрыв ПКС;

возраст старше 18 лет;

отсутствие нестабильности.

Основные методы исследования: клинический, лучевой, статистический.

В **контрольной группе** пациенты проходили консервативное лечение и наблюдались через 6 нед., 6, 12 и более месяцев после травмы. МРТ-исследования выполняли как минимум два раза. Средний срок между 1-й и 2-й МРТ составил 13 мес., минимальный — 2 мес., максимальный — 33 мес. Пациентам также назначалась консервативная терапия в объеме иммобилизации в ортезе в течение 4 нед., курс нестероидных противовоспалительных препаратов и последующая реабилитация.

В исследование не вошли пациенты, у которых помимо разрыва ПКС наблюдались переломы межмыщелкового возвышения и повреждение боковых связок, задней крестообразной связки.

Пациентам выполняли как минимум два МРТ-исследования (в первые недели после травмы и в различные сроки после первого исследования) на аппарате мощностью не менее 1,5 Тесла. Средний срок между выполнением 1-го и 2-го МРТ-исследования составил 13 мес., минимальный — 2 мес., максимальный — 33

мес. У 19 человек МРТ было выполнено на одном и том же аппарате, а у 6 — на разных. Пациентам назначали консервативную терапию в объеме иммобилизации в ортезе в течение 4 нед., курс нестероидных противовоспалительных препаратов и последующую реабилитацию.

Для выявления взаимосвязей между критериями, определяющими качество результатов лечения пациентов, использовали методы статистического анализа, состоящие из теории параметрического и непараметрического корреляционного анализа.

В **группе оперативного лечения** вошло 45 человек. Она была разделена на 2 подгруппы. В 1-й подгруппе — 26 пациентов с закрытыми зонами роста, которым выполняли пластику ПКС с проведенением каналом через зоны роста. Во 2-й подгруппе — 19 человек с пластикой ПКС по методике all-inside, из них 12 пациентов с открытыми зонами роста, 9 из которых выполняли пластику ПКС по методике all-inside partial transphyseal и 3 пациентам — по методике all-inside all epiphyseal.

План предоперационного планирования состоял из оценки костного возраста и прогнозируемого роста с целью выбора оптимальной техники оперативного лечения, который основывается на данных костного возраста по рентгенографии кисти и ожидаемого роста. В работе использовалась методика Таннера – Уайтхауса (TW2.1975) [119] и метод оценки костного возраста по атласу Грейлиха – Пайля (W.W. Greulich и S.I. Pyle, 1959) [67]. Метод TW2 основан на точном измерении каждой кости и выражении его в числовом коэффициенте, сумма всех коэффициентов дает показатель костного созревания в целом для кисти и запястья. Суть второго метода заключается в сравнительной оценке рентгенограммы пациента с рентгенограммами здоровых детей соответствующего пола, которые приняты за эталон. В среднем у пациентов с костным возрастом, обгоняющим паспортный, разница составила 1,9 года. У пациентов с отстающим костным возрастом (5 человек) разница составила 1,5 года.

В послеоперационном периоде пациентам с пластикой по методике all-inside проводили контрольную рентгенографию с целью оценки положения каналов в

большеберцовой и бедренной костях, а также правильного положения подвешивающей системы.

Рентгенография кисти позволяла оценить костный возраст пациента, который мог отличаться от паспортного. Дополнительно проводили расчет ожидаемого роста пациента по формуле в зависимости от пола (1. для мальчиков= рост отца+ рост матери/2+6.5см.; 2. для девочек= рост отца+ рост матери/2-6.5см). Данные процедуры с большой точностью позволяют оценить ожидаемый период роста пациента, что имело большое значение при выборе операционной тактики.

Помимо использования стандартных схем определения костного возраста также проводили определение при помощи программ на основе машинного обучения [61, 11]. Применение искусственного интеллекта с целью определения костного возраста пациента по рентгенограммам кисти является перспективным и имеет множество преимуществ. Заключение радиолога, травматолога и детского эндокринолога могут различаться, так как указанные методы оценки имеют долю субъективности и подчас обусловлены спецификой работы каждого специалиста.

В дополнение мы оценивали также половое развитие пациентов по шкале Таннера, которая дает представление о стадиях полового созревания. Оценка костного возраста и полового развития позволяет узнать ростовой потенциал ребенка.

В **третьей главе** представлены результаты работы по валидации и культурной адаптации опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC. В нашем исследовании участвовали 100 человек. Для корректного проведения процедуры валидации и культурной адаптации сначала перевод шкал с английского языка на русский выполняет профессиональный медицинский переводчик, практикующий врач – травматолог-ортопед. После составляется версия опросника для апробации с учетом культурных особенностей языковой группы.

Процедура валидации и культурной адаптации, проведенная в нашей работе, соответствует общепринятым стандартам. В исследовании приняли участие 100 пациентов в возрасте до 18 лет, из них 51 мужского и 49 женского пола. Пациентов

опрашивали по опросникам KOOS-Child и Pedi-IKDC, а также по апробированному и хорошо зарекомендовавшему себя тесту Lysholm. При этом учитывалось то, что опросник KOOS-Child позволял получать результат не только в целом, но и по категориям KOOS-Child Pain, KOOS-Child Symptom, KOOS-Child ADL, KOOS-Child Sport/Rec и KOOS-Child QOL.

Проводили также статистический анализ данных, апробируемый опросник проверяли на валидность и корреляцию. По данным статистического анализа коэфициент α Кронбаха составил 0,902, что говорит о высокой степени согласованности вопросов внутри теста. Высокий уровень статистической взаимосвязи результатов опросников (корреляции результатов) также подтверждает адекватность и объективность оценок, основанных на использовании опросника. Также проводилась оценка валидности опросников по трем составляющим. По составляющей «Выполнимость вопросов» все задания удовлетворяют требованиям достаточной выполнимости и по этому критерию могут быть использованы в практической деятельности. По составляющей «Дискриминативность вопросов» все задания, за исключением вопроса № 13 опросника Pedi-IKDC, имеют высокую или умеренную дискриминативность и дают адекватный вклад в итоговую оценку.

Четвертая глава включает в себя описание консервативного и оперативного лечения.

В **контрольной группе** проводили оценку структур коленного сустава пациентов детского возраста с повреждением ПКС после консервативного лечения с целью оценки его результатов у молодых спортсменов, используя методы клинического осмотра, анкетирования и МРТ-диагностики. По данным МРТ-исследования у 52 % пациентов отмечаются остеохондральные изменения мыщелков костей. У 56 % пациентов отмечено истончение хрящевого покрытия коленного сустава на ≥0,7 см. Клинически подтвержденную нестабильность коленного сустава имеют 23 человека. В дальнейшем 13 (5 %) пациентам выполняли оперативное лечение. По результатам исследования мы делаем вывод о неудовлетворительных результатах консервативного лечения. Только 2 пациента

вернулись к прежним нагрузкам и клинически нестабильность коленного сустава не отмечалась. В остальных случаях пациенты не удовлетворены результатами лечения. На основании данных МРТ-исследований и данных статистического анализа у пациентов отмечаются выраженные признаки нарушения распределения нагрузки в коленном суставе, а также вторичное повреждение мениска вследствие антеромедиальной нестабильности.

Вторая группа пациентов получала оперативное лечение. В зависимости от костной зрелости пациента применяли следующие техники:

1. Классическая методика пластики ПКС у пациентов с закрытыми зонами роста.
2. Методика all-inside у пациентов с закрытыми зонами роста.
3. Методика all-inside partial transphyseal у пациентов с открытыми зонами роста, ожидаемый рост которых составляет менее 5 см от роста на момент операции.
4. Методика all-inside all epiphyseal у пациентов с открытыми зонами роста, ожидаемый рост которых составляет более 5 см от роста на момент операции.

В главе 4 подробно описаны техники проведения операций с клиническими примерами и изображениями.

В **пятой главе** проведен анализ результатов лечения пациентов.

В группу ОЛ входили 45 человек с травмами ПКС. Травмы были получены во время занятий спортом: командные виды — 20 человек, контактные виды — 10, другие виды — 10; по другим причинам — 5 человек. Пациенты были разделены на две подгруппы. В 1-ю подгруппу входили 26 пациентов с закрытыми зонами роста, которым выполняли пластику ПКС по классической методике, во 2-ю подгруппу вошли 19 пациентов, которым выполняли пластику ПКС по методике all-inside. В ней количество пациентов с открытыми зонами роста составило 12 человек и 5 с закрытыми. У пациентов с активными зонами роста 9-ти выполняли пластику ПКС по методике all-inside partial transphyseal и 3 пациентам по методике all-inside all-epiphyseal.

В группе ОЛ оценивали те же показатели, что и в контрольной:

4. Данные клинического осмотра (объем движений, тесты на стабильность).

5. Данные МРТ-исследований до и в разные сроки после операции (оценка состояния суставного хряща, костных структур, менисков и трансплантата).

6. Данные шкал KOOS-Child, Pedi-IKDC и KOOS, IKDC (если пациенты достигли совершеннолетия). Опрос проводили перед оперативным лечением и после него в разные сроки наблюдения.

Направление тоннеля у пациентов с активными зонами роста значимо отличается от классического. Что в свою очередь также позволяет провести операцию по пластике ПКС при разрыве трансплантата, избегая пластики костных тоннелей, тем самым уменьшая срок восстановления и возврата в спорт. Поскольку консервативное лечение молодых спортсменов приводит к неудовлетворительным результатам, пациентам с ожидаемым ростом до 5 см от паспортного возможно выполнение методики partial transphyseal. Эта методика показала отличные клинические результаты и рекомендована пациентам с открыты зонами роста как альтернатива консервативному лечению.

В отдаленном периоде пациентов с открытыми зонами роста у 2 человек (4 %) отмечались неудовлетворительные результаты. Обоим пациентам проведено оперативное лечение в объеме all-inside all-epiphyseal, отмечалась нестабильность коленного сустава, по данным МРТ в обоих случаях имелись остеохондральные изменения наружного мыщелка бедренной кости. Угловых деформаций и нарушений роста отмечено не было.

В группе пациентов с активными зонами роста после оперативного лечения в объеме all-inside partial transphyseal осложнений выявлено не было. Все пациенты были удовлетворены результатами лечения. По данным исследований лучевыми методами угловых деформаций коленного сустава обнаружено не было.

В группе пациентов с закрытыми зонами роста после оперативного лечения по методике all-inside со стандартным направлением тоннелей осложнений так же не выявлено. Все пациенты были удовлетворены результатами.

В группе пациентов с закрытыми зонами роста после оперативного лечения по классической методике было отмечено 3 (6,5 %) случая неудовлетворенностью

лечением. Пациенты отмечали нестабильность в коленном суставе, а также по результатам МРТ-исследования были отмечены остеохондральные изменения наружного мыщелка бедренной кости (1 человек) и внутреннего мыщелка бедренной кости (1 человек).

Оценка результатов по опросникам у пациентов в группе ОЛ до операции и после имеет так же большую разницу. Среднее значение составляет 27 баллов, что говорит о значимом улучшении состояния пациентов. KOOS-Child Sport показал наилучший результат — разница между баллами до и после лечения составила 37,2 балла. Разница по опроснику KOOS-Pain — 32,7 балла. Эти данные позволяют сделать вывод о значимом улучшении состояния пациентов после операции.

В группе ОЛ пациентам по методике all-inside проводили расчет костного возраста, который в среднем отличался в бóльшую сторону от паспортного на 21 мес. В нашей практике имеются случаи, когда паспортный возраст пациента составлял 14 лет, тогда как костный — 17 лет. Расчет костного возраста и ожидаемого роста пациентов позволил нам выбрать подходящее лечение. Эти процедуры являются золотым стандартом в практике эндокринологов и педиатров по всему миру, что даем нам более обоснованный и научный подход в лечении антеромедиальной нестабильности пациентов с активными зонами роста с разрывом ПКС.

В работе использовался алгоритм ведения пациентов детского возраста с антеромедиальной нестабильностью при повреждении передней крестообразной связки. Если у пациента подтверждена клинически антеромедиальная нестабильность, а по данным МРТ повреждение ПКС, то следующим шагом будет определение костного возраста и ожидаемого роста пациента. На основании полученных данных врач придет к выводу об активности зон роста и сможет сделать прогноз об оставшемся времени на рост и о том, сколько сантиметров он прибавит. Далее принимается решение о проведении оперативного лечения, советующего ожидаемому росту.

Только у 2 пациенток с открытыми зонами роста отмечались неудовлетворительные результаты лечения, которые были связаны с нарушением техники операции.

У пациентов в закрытыми зонами роста так же наблюдались осложнения. В одном случае пациент наблюдался у травматолога по месту жительства. Спустя 6 нед. после оперативного лечения по месту жительства было принято решение о вскрытии гематомы в области верхней 1/3 голени. Спустя 8 мес. с момента оперативного лечения у пациента отмечалось ограничение движений в коленном суставе. Был назначен курс реабилитационных мероприятий, после чего был достигнут нужный объем движений.

В другом случае пациент получил повторную травму спустя 8 мес. с момента оперативного лечения во время физических нагрузок. Еще у одного пациента отмечалась антеромедиальная нестабильность коленного сустава в связи с нарушением техники операции. Пациенту была проведена пластика костных тоннелей с последующей реконструкцией ПКС.

ВЫВОДЫ

1. Анализ МРТ-исследований у 72% пациентов при консервативном лечении показал изменения в коленном суставе, связанные с антеромедиальной нестабильностью. У 52% отмечены остеохондральные изменения мыщелков бедренной и большеберцовой костей, подтверждающие нарушение распределения нагрузки в коленном суставе при повреждении ПКС. Вторичное повреждение менисков отмечено у 40 % пациентов, истончение хрящевого покрытия — у 56 %. Таким образом, консервативное лечение пациентов с антеромедиальной нестабильностью после разрыва ПКС привело к неудовлетворительным результатам ($p > 0,05$). Только у 8 % пациентов из контрольной группы не выявлено нестабильности коленного сустава и вернулись к прежним нагрузкам. В остальных 92% случаев пациенты не удовлетворены результатами лечения.
2. Хорошие результаты лечения у пациентов с закрытыми зона роста, которым выполнялась пластика ПКС с проведением стандартных каналов и у пациентов, которым выполнялась пластика ПКС all-inside получены у 94% и 100% соответственно. В группе оперативного лечения у пациентов с открытыми зона роста, которым выполнялась пластика ПКС all-inside с проведением каналов до зоны роста и по методике all-inside partial transphyseal, получены хорошие отдаленные результаты в 96% и 100% соответственно.
3. Оценка костного возраста пациентов с открытыми зонами роста обеспечила обоснованный выбор вида реконструкции ПКС и локализации каналов для трансплантата. У 74% костный возраст в среднем опережал паспортный на 21 месяц у 26% отставал от паспортного на 17 месяцев.
4. Опросники Pedi- IKDC и KOOS-Child прошли процедуру валидизации и культурной адаптации и обеспечили на ряду с клинических осмотром и МРТ-исследованиями объективную оценку функционального статуса пациентов с повреждениями ПКС. Высокую степень согласованности вопросов внутри тестов и высоком уровне статистической взаимосвязи результатов подтверждает

коэффициент α Кронбаха: 0,902 для опросника Pedi-IKDC и 0,959 для KOOS-Child.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В рамках предоперационного планирования рекомендуется проводить процедуру расчета костного возраста и ожидаемого роста в целях минимизации рисков и определения правильной тактики лечения пациентов с разрывом ПКС.
2. Мы рекомендуем использование опросников KOOS-Child и Pedi-IKDC у пациентов молодого возраста, особенно у групп, активно занимающихся спортом как на любительском, так и профессиональном уровнях.
3. Для лечения передней крестообразной связки коленного сустава у пациентов с открытыми зонами роста мы рекомендуем придерживаться следующей методики:

    - если у пациента костный рост планируется менее 5 лет, а до ожидаемого роста остается менее 5 см, то показана техника all-inside partial transphyseal;
    - если у пациента костный рост планируется менее 1 года рекомендуется техника пластики ПКС с проведением классических костных каналов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ПКС передняя крестообразная связка

IKDC International Knee Documentration Committee (Международный комитет по документации для обследования коленного сустава)

KOOS Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (оценка исходов травмы коленного сустава и остеоартрита)

МРТ магнитно-резонансная томография

PBTB patellar bone-tendon-bone (кость – сухожилие – кость надколенника)

GST *m. gracilis, m. semitendinosus*

ADL daily living

QOL quality of life

ОЛ оперативное лечение

КГ контрольная группа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анастази А. Психологическое тестирование / Под ред. К.М. Гуревича, В.И. Лубовского. – 1982. 320 с.
2. Барлаков С.А. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий / С.А. Барлаков, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. - СПб.: Интермедия, 2017.— 264 с.
3. Боровков А.А. Математическая статистика. 4-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2010. 704 с.
4. Брянская А.И. Опыт хирургического лечения повреждений передней крестообразной связки у подростков / А.И. Брянская, П.П. Сергеева //Детская хирургия. – 2015. – Т. 19. – №. 3. – С. 13-14.
5. Геворкян, П.С. Теория вероятностей и математическая статистика / П.С. Геворкян, А.В. Потемкин, И.М. Эйсымонт. - М.: Физматлит, 2016. - 176 с.
6. Гласс Д. Статистические методы в педагогике и психологии / Д. Гласс, Д. Стэнли. Пер. с англ. – Прогресс, 1976.
7. Детская эндокринология. Руководство по детской эндокринологии / [И.И. Дедов и др.] 2006.
8. Захаров В.П. Применение математических методов в социально-психологических исследованиях. Ленинград: ЛГУ, 1985.
9. Иванов Я.А. Валидация и культурная адаптация шкалы KOOS-Child / Я.А. Иванов, А.Г. Ельцин, Д.С. Мининков // Вестник травматологии и ортопедии им. НН Приорова. – 2021. – Т. 28. – №. 1. – С. 53-64.
10. Косик И.И. Комбинированный алгоритм определения костного возраста на основе анализа рентгенограмм кисти / И.И. Косик, А.М. Недзьведь, Г.М. Карапетян // Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика. – 2020. – Т. 2. – С. 105–114.
11. Косик, И.И. Определение костного возраста с использованием искусственного интеллекта / И.И. Косик, С.Л. Кабак, Г.М. Карапетян, Е.И. Кислая, В.В. Ермаков, О.В. Недзьведь, Т.А. Шевчук // БГМУ в авангарде медицинской

науки и практики: рецензируемый сборник научных трудов – 2020. – Вып. 10. – С. 154-165.

12. Лисицын М.П. Проприоцептивная функция крестообразного комплекса коленного сустава (обзор литературы) / М.П. Лисицын Т.М. Андреева // Вестник травматологии и ортопедии им. НН Приорова. – 2001. – Т. 3. – С. 69-73.

13. Ллойд Э. Справочник по прикладной статистике // Э. Ллойд, У. Ледерман. Москва: Финансы и статистика, 1990.

14. Маслак А.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов / А.А. Маслак, С.И. Моисеев, С.А. Осипов // Проблемы управления. – 2015. – №. 5. – С. 58-66.

15. Меркулов В.Н. Повреждения передней крестообразной связки с отрывом костного фрагмента от межмыщелкового возвышения большеберцовой кости у детей и подростков / В.Н. Меркулов, Д Р.К. Довлуру, А.Г. Ельцин, Д.С. Мининков // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2014. – №. 2. – С. 46–51.

16. Моисеев С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. – 2015. – № 2.1 (16). – С. 166-172.

17. Богатов В.Б., Образование синовиальной кисты в проекции большеберцового канала после пластики передней крестообразной связки (случай из практики) / В.Б. Богатов, Р.Ш. Садыков, И.Р. Понамарев // Травматология и ортопедия России. – 2017. – Т. 23. – №. 2. – С. 59-65.

18. Салихов М.Р., Сравнительный анализ артроскопических методик реконструкции передней крестообразной связки у детей подросткового возраста / М.Р. Салихов, В.В. Авраменко // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 259-268.

19. Федулова Д.В. Развитие проприоцепции после травматического повреждения передней крестообразной связки коленного сустава. В кн.: Физическая культура и спорт-основы здоровой нации: Материалы IV

Международной научно-практической конференции / под ред. Е.Г. Фоменко. Чита: Забайкальский государственный университет, – 2017. – С. 227–234.

20. Федулова Д.В. Роль проприоцепции в механизме движения человека и ее восстановление после разрыва передней крестообразной связки и мениска коленного сустава / Д.В. Федулова, К.А. Бердюгин //Современные проблемы науки и образования. – 2018. – №. 4. – С. 192-192.

21. Цыкунов М.Б. Использование категорий Международной классификации функционирования для оценки нарушений при патологии опорно-двигательной системы. Часть 2 (дискуссия) // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2019. Т. 26, № 2. С. 37–42.

22. Цыкунов М.Б. Реабилитационный диагноз при патологии опорно-двигательной системы с использованием категорий международной классификации функционирования //Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация. – 2019. – Т. 1. – №. 2.

23. Akinleye S.D. / All-epiphyseal ACL reconstruction: a three-year follow-up / S.D. Akinleye, F. Sewick, L.Wells // International Journal of Sports Physical Therapy. – 2013. – Т. 8. – №. 3. – С. 300.

24. Al-Hadithy N. / Current concepts of the management of anterior cruciate ligament injuries in children / N. Al-Hadithy, A.L. Dodds, K.S.N. Akhtar, C.M. Gupte // The Bone & Joint Journal. – 2013. – Т. 95. – №. 11. – С. 1562-1569. DOI: 10.1302/0301-620X.95B11.31778.

25. Anderson A.F. Transepiphyseal replacement of the anterior cruciate ligament in skeletally immature patients: a preliminary report // JBJS. – 2003. – Т. 85. – №. 7. – С. 1255-1263. DOI: 10.2106/00004623-200307000-00011.

26. Anderson A.F. / Transepiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in pediatric patients: surgical technique / A.F. Anderson, C.N. Anderson // Sports Health. – 2009. – Т. 1. – №. 1. – С. 76-80. DOI: 10.1177/1941738108326703.

27. Arastu M.H. Prevalence and consequences of delayed diagnosis of anterior cruciate ligament ruptures / M.H. Arastu, S. Grange, R. Twyman // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 2015. – Т. 23. – №. 4. – С. 1201-1205. DOI:

10.1007/s00167-014-2947-z.

28. Ardern C. L. International Olympic Committee consensus statement on prevention, diagnosis and management of paediatric anterior cruciate ligament (ACL) injuries / G.R. Ekås, H. Grindem, H. Moksnes, A.F. Anderson, F. Chotel, .L. Engebretsen [et al] //British Journal of Sports Medicine. – 2018. – T. 52. – №. 7. – C. 422-438. DOI: 10.1136/bjsports-2018-099060

29. Barkalov S. A. / Models for processing expert information, based on the theory of latent variables / S.A. Barkalov, S.I. Moiseev, O.N. Bekirova // Eleventh International Conference" Management of large-scale system development" MLSD. – IEEE, 2018. – C. 1-4.

30. Barrack R. L. et al. Evidence of reinnervation of free patellar tendon autograft used for anterior cruciate ligament reconstruction / R. L. Barrack, P. J. Lund, B. G. Munn, C. Wink, L. Happel [et al] //The American Journal of Sports Medicine. – 1997. – T. 25. – №. 2. – C. 196-202. DOI: 10.1177/036354659702500210.

31. Barrack R. L. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee / R. L. Barrack, H.B. Skinner, S.L. Buckley //The American Journal of Sports Medicine. – 1989. – T. 17. – №. 1. – C. 1-6. DOI: 10.1177/036354658901700101.

32. Beaton D. Recommendations for the cross-cultural adaptation of health status measures / D. Beaton, C. Bombardier, F. Guillemin, M.B. Ferraz // New York: American Academy of Orthopaedic Surgeons. – 2002. – T. 12. – C. 1-9. DOI: 10.1097/00007632-200012150-00014

33. Beck N. A. ACL tears in school-aged children and adolescents over 20 years / N.A. Beck J.T.R. Lawrence, J.D. Nordin, T.A. DeFor, M. Tompkins // Pediatrics. – 2017. – T. 139. – №. 3. DOI: 10.1542/peds.2016-1877.

34. Biedert R.M., The intraoperative evaluation of the anterior cruciate ligament reflex in bone-patellar tendon-bone grafts after ACL reconstruction using electromyography / R.M. Biedert, E.B. Zwick // J Bone Joint Surg Br. – 1997; –T. 79. – №. 2S. – C. 203.

35. Boden B. P. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury / B.P. Boden, G.S. Dean, J.A. Feagin, &W.E. Garrett // Orthopedics. – 2000. – T. 23. – №. 6. – C. 573-578.

36. Bogunovic L. Treatment of tibial eminence fractures: a systematic review / L. Bogunovic, M. Tarabichi, D. Harris, R. Wright. //The journal of knee surgery. – 2015. – T. 28. – №. 03. – C. 255-262. DOI: 10.1055/s-0034-1388657.

37. Booz C. Artificial intelligence in bone age assessment: accuracy and efficiency of a novel fully automated algorithm compared to the Greulich-Pyle method / C. Booz, I. Yel, J.L. Wichmann, S. Boettger, A. Al Kamali, M.H. Albrecht, B. Bodelle [et al] //European radiology experimental. – 2020. – T. 4. – №. 1. – C. 1-8. DOI: 10.1186/s41747-019-0139-9.

38. Caine D. Epidemiology of pediatric and adolescent sports injuries" International Perspectives" / D. Caine, N. Maffulli, C. Caine // Micheli LJ Clin Sports Med. – 2008. – T. 27. – №. 1. – C. 19-50. DOI: 10.1016/j.csm.2007.10.008.

39. Calvo R. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: 10-year follow-up study / R. Calvo, D. Figueroa, F. Gili, A. Vaisman, P. Mocoçain, M. Espinosa, S. Arellano [et al] //The American Journal of Sports Medicine. – 2015. – T. 43. – №. 2. – C. 289-294. DOI: 10.1177/0363546514557939.

40. Chambers C. C. Partial transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction: clinical, functional, and radiographic outcomes / R.Z. Unger, J.M. Burnham, L. Gammon, C.S. Malempati, C.A. Jacobs, E.C. Makhni //The American Journal of Sports Medicine. – 2019. – T. 47. – №. 6. – C. 1353-1360. DOI: 10.1177/0363546519836423.

41. Collins M. J. Growth abnormalities following anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature patient: a systematic review / M.J. Collins, T.A. Arns, T. Leroux, A. Black, R. Mascarenhas, Jr. B.R. Bach, B. Forsythe [et al] //Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. – 2016. – T. 32. – №. 8. – C. 1714-1723. DOI: 10.1016/j.arthro.2016.02.025.

42. Conn J. M. Sports and recreation related injury episodes in the US population, 1997–99 / J.M. Conn, J.L. Annest, J. Gilchrist // Injury prevention. – 2003. – T. 9. – №. 2. – C. 117-123. DOI: 10.1136/ip.9.2.117

43. Cordasco F. All-inside, all-epiphyseal ACL reconstruction in skeletally immature athletes: return to play, incidence of second surgery and two-year clinical outcomes / F. Cordasco, J. Graziano, P. DeMille, T. Chiaia, D. Nawabi, M. McCarthy,

D. Green // Arthroscopy. – 2015. – Т. 31. – №. 6. – С. e1. DOI: 10.1177/0363546516677723.

44. Corrigan J. P. Proprioception in the cruciate deficient knee / J.P. Corrigan, W.F. Cashman, M.P. Brady // The Journal of bone and joint surgery. British volume. – 1992. – Т. 74. – №. 2. – С. 247-250. DOI: 10.1302/0301-620X.74B2.1544962.

45. Cruz A. I. All-epiphyseal ACL reconstruction in children: review of safety and early complications / A.I. Cruz, P.D. Fabricant, M. McGraw, J.C. Rozell, T.J. Ganley, L. Wells // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2017. – Т. 37. – №. 3. – С. 204-209 DOI: 10.1097/BPO.0000000000000606.

46. Dabis J. Paediatric proximal ACL tears managed with direct ACL repair is safe, effective and has excellent short-term outcomes / J. Dabis, S.K. Yasen, A.J. Foster, J.L. Pace, A.J. Wilson // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 2020. – Т. 28. – №. 8. – С. 2551-2556. DOI: 10.1007/s00167-020-05872-2.

47. Dare D. M. Increased lateral tibial slope is a risk factor for pediatric anterior cruciate ligament injury: an MRI-based case-control study of 152 patients / D.M. Dare, P.D. Fabricant, M.M. McCarthy, B.J. Rebolledo, D.W. Green, F.A. Cordasco, K.J. Jones // The American journal of sports medicine. – 2015. – Т. 43. – №. 7. – С. 1632-1639. DOI: 10.1177/0363546515579182.

48. Dingel A. Pediatric ACL tears: natural history / A. Dingel, J. Aoyama, T. Ganley, K. Shea // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2019. – Т. 39. – С. S47-S49. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001367.

49. Dunn K. L. Early operative versus delayed or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament injuries in pediatric patients / K.L. Dunn, K.C. Lam, T.C. Valovich McLeod // Journal of athletic training. – 2016. – Т. 51. – №. 5. – С. 425-427. DOI: 10.4085/1062-6050.51.5.11.

50. Ekås G. R. Knee pathology in young adults after pediatric anterior cruciate ligament injury: a prospective case series of 47 patients with a mean 9.5-Year follow-up / G.R. Ekås, M.M. Laane, A. Larmo, H. Moksnes, H. Grindem, M.A. Risberg, L. Engebretsen // The American Journal of Sports Medicine. – 2019. – Т. 47. – №. 7. – С. 1557-1566. DOI: 10.1177/0363546519837935.

51. Ekås G. R. Coping with anterior cruciate ligament injury from childhood to maturation: a prospective case series of 44 patients with mean 8 years' follow-up / G.R. Ekås, H. Moksnes, H. Grindem, M.A. Risberg, L. Engebretsen // The American Journal of Sports Medicine. – 2019. – T. 47. – №. 1. – C. 22-30. DOI: 10.1177/0363546518810750.

52. Englund M. Meniscal pathology on MRI increases the risk for both incident and enlarging subchondral bone marrow lesions of the knee: the MOST Study / M. Englund, A. Guermazi, F.W. Roemer, M. Yang, Y. Zhang, M.C. Nevitt, D.T. Felson // Annals of the rheumatic diseases. – 2010. – T. 69. – №. 10. – C. 1796-1802. DOI: 10.1136/ard.2009.121681.

53. Fabricant P. D. Reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete: a review of current concepts: AAOS exhibit selection / P.D. Fabricant, K.J. Jones., D. Delos, F.A. Cordasco, R.G. Marx, A.D. Pearle, D.W. Green // JBJS. – 2013. – T. 95. – №. 5. – C. e28. DOI: 10.2106/JBJS.L.00772.

54. Fabricant P. D. Early ACL reconstruction in children leads to less meniscal and articular cartilage damage when compared with conservative or delayed treatment / P.D. Fabricant, N. Lakomkin, Jr. A.I. Cruz, E. Spitzer, J.T. R. Lawrence, R.G. Marx // Journal of ISAKOS. – 2016. – T. 1. – №. 1. – C. 10-15. DOI: 10.1136/jisakos-2015-000012.

55. Fabricant P. D. All-inside, all-epiphyseal autograft reconstruction of the anterior cruciate ligament in the skeletally immature athlete / P.D. Fabricant, M.M. McCarthy, F.A. Cordasco, D.W. Green // JBJS Essential Surgical Techniques. – 2013. – T. 3. – №. 2. doi: 10.2106/JBJS.ST.M.00017.

56. Fabricant P. D. Development and validation of a pediatric sports activity rating scale: the Hospital for Special Surgery Pediatric Functional Activity Brief Scale (HSS Pedi-FABS) / P.D. Fabricant, A. Robles, T. Downey-Zayas, H.T. Do, R.G. Marx, R.F. Widmann, D.W. Green // The American Journal of Sports Medicine. – 2013. – T. 41. – №. 10. – C. 2421-2429. DOI: 10.1177/0363546513496548.

57. Finch C. Sport and active recreation injuries in Australia: evidence from emergency department presentations / C. Finch, G. Valuri, J. Ozanne-Smith // British journal of sports medicine. – 1998. – T. 32. – №. 3. – C. 220-225. DOI:

10.1136/bjsm.32.3.220
58. Freeman M. A. R. Articular contributions to limb muscle reflexes. The effects of partial neurectomy of the knee-joint on postural reflexes / M.A.R. Freeman, B. Wyke // British Journal of Surgery. – 1966. – Т. 53. – №. 1. – С. 61-69.
59. Golański G. Results of treatment of the intercondylar eminence of tibia in children / P. Flont, Z. Lipczyk, K.R. Niedzielski // Results of treatment of the intercondylar eminence of tibia in children. Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.– 2010. – Т. 75. – №. 5. – С. 305-311.
60. Greenberg E. M. Rehabilitation considerations for all epiphyseal ACL reconstruction / E.M. Greenberg, J. Albaugh, T.J. Ganley, J.T.R. Lawrence // International Journal of Sports Physical Therapy. – 2012. – Т. 7. – №. 2. – С. 185.
61. Thodberg H. H. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity / Thodberg, H. H., Kreiborg, S., Juul, A., & Pedersen, K. D. // IEEE transactions on medical imaging. – 2008. – Т. 28. – №. 1. – С. 52-66. DOI: 10.1109/TMI.2008.926067.
62. Halabi S. S. The RSNA pediatric bone age machine learning challenge / S.S. Halabi, L.M. Prevedello, J. Kalpathy-Cramer, A.B. Mamonov, A. Bilbily, M. Cicero, .A.E. Flanders // Radiology. – 2019. – Т. 290. – №. 2. – С. 498-503. DOI: 10.1148/radiol.2018180736.
63. Harven K.J. Gender difference in noncontact ACL / K.J. Harven, M. Seeland // Clin Sport Med. 2000;19(2):287–902.
64. Hefti E. Evaluation of knee ligament injuries with the IKDC form / E. Hefti, W. Müller, R.P. Jakob, H.U. Stäubli //Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 1993. – Т. 1. – №. 3. – С. 226-234. DOI: 10.1007/BF01560215
65. Hewett T. E. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study / T.E. Hewett, G.D. Myer, K.R. Ford, Jr. R.S. Heidt, A.J. Colosimo, S.G. McLean, P. Succop [et al] // The American journal of sports medicine. – 2005. – Т. 33. – №. 4. – С. 492-501. DOI: 10.1177/0363546504269591.
66. Holden S. Clinical assessment of countermovement jump landing kinematics in

early adolescence: sex differences and normative values / S. Holden, C. Boreham, C. Doherty, D. Wang, E. Delahunt // Clinical Biomechanics. – 2015. – Т. 30. – №. 5. – С. 469-474. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2015.03.008.

67. Iannaccone G. WW Greulich. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. I volume-atlante di 256 pagine. Stanford University Press, Stanford, California, 1959/ Iannaccone G. WW Greulich, SI Pyle // Acta geneticae medicae et gemellologiae: twin research. – 1959. – Т. 8. – №. 4. – С. 513-513. DOI: 10.1017/S1120962300018680.

68. Irrgang J. J. Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form / J.J. Irrgang, A.F. Anderson, A.L. Boland, C.D. Harner, M. Kurosaka, P. Neyret, K.D. Shelborne [et al] // The American journal of sports medicine. – 2001. – Т. 29. – №. 5. – С. 600-613. DOI: 10.1177/03635465010290051301

69. Kiapour A. M. Changes in cross-sectional area and signal intensity of healing anterior cruciate ligaments and grafts in the first 2 years after surgery / A.M. Kiapour, K. Ecklund, M.M. Murray, BEAR Trial Team, B. Flutie, C. Freiberger, B.C. Fleming [et al] // The American journal of sports medicine. – 2019. – Т. 47. – №. 8. – С. 1831-1843. DOI: 10.1177/0363546519850572.

70. Kim J. R. Computerized bone age estimation using deep learning based program: evaluation of the accuracy and efficiency/ J.R. Kim, W.H. Shim, H.M. Yoon, S.H. Hong, J.S. Lee, Y.A. Cho, S. Kim // American Journal of Roentgenology. – 2017. – Т. 209. – №. 6. – С. 1374-1380. DOI: 10.2214/AJR.17.18224.

71. Knapik D. M. Anterior cruciate ligament injuries in skeletally immature patients: a meta-analysis comparing repair versus reconstruction techniques / D.M. Knapik, J.E. Voos // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2020. – Т. 40. – №. 9. – С. 492-502.

72. Kocher M. S. Reliability, validity, and responsiveness of a modified International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (Pedi-IKDC) in children with knee disorders / M.S. Kocher, J.T. Smith, M.D. Iversen, K. Brustowicz, O. Ogunwole, J. Andersen, D.Zurakowski [et al] // The American journal of sports

medicine. – 2011. – Т. 39. – №. 5. – С. 933-939. DOI: 10.1177/0363546510383002.

73. Kocher M. S. Laxity and functional outcome after arthroscopic reduction and internal fixation of displaced tibial spine fractures in children / M.S. Kocher, E.S. Foreman,, L.J Micheli // Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. – 2003. – Т. 19. – №. 10. – С. 1085-1090. DOI: 10.1016/j.arthro.2003.10.014.

74. Kocher M. S. Physeal sparing reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature prepubescent children and adolescents: surgical technique / M.S. Kocher, S. Garg, L.J. Micheli // JBJS. – 2006. – Т. 88. – №. 1_suppl_2. – С. 283-293. DOI: 10.2106/JBJS.F.00441.

75. Kocher M. S. Outcomes of physeal-sparing ACL reconstruction with iliotibial band autograft in skeletally immature prepubescent children / M.S. Kocher, B.E.Heyworth, P.D. Fabricant, F.A. Tepolt, L.J.Micheli // JBJS. – 2018. – Т. 100. – №. 13. – С. 1087-1094. DOI: 10.2106/JBJS.17.01327.

76. Kocher M. S. Partial tears of the anterior cruciate ligament in children and adolescents / M.S. Kocher, L.J. Micheli, D. Zurakowski, A. Luke // The American journal of sports medicine. – 2002. – Т. 30. – №. 5. – С. 697-703. DOI: 10.1177/03635465020300051201.

77. Kocher M. S. Reliability, validity, and responsiveness of a modified International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (Pedi-IKDC) in children with knee disorders / M.S. Kocher, J.T. Smith, M.D. Iversen, K. Brustowicz, O. Ogunwole, J. Andersen, D. Zurakowski // The American journal of sports medicine. – 2011. – Т. 39. – №. 5. – С. 933-939. DOI: 10.1177/0363546510383002.

78. Kohl S. Mid-term results of transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in children and adolescents / S. Kohl, C. Stutz, S. Decker, K. Ziebarth, T. Slongo, S.S. Ahmad, D.S. Evangelopoulos, // The knee. – 2014. – Т. 21. – №. 1. – С. 80-85. DOI: 10.1016/j.knee.2013.07.004.

79. Kostogiannis I. Activity level and subjective knee function 15 years after anterior cruciate ligament injury: a prospective, longitudinal study of nonreconstructed patients / I. Kostogiannis, E. Ageberg, P. Neuman, L. Dahlberg, T. Friden, H. Roos // The American journal of sports medicine. – 2007. – Т. 35. – №. 7. – С. 1135-1143. DOI:

10.1177/0363546507299238.
80. Kraus T. The epidemiology of knee injuries in children and adolescents / T. Kraus, M. Švehlík, G. Singer, J. Schalamon, E. Zwick, W. Linhart // Archives of orthopaedic and trauma surgery. – 2012. – T. 132. – №. 6. – C. 773-779. DOI: 10.1007/s00402-012-1480-0.
81. Kruse L.M. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review / L.M. Kruse, B. Gray, R.W. Wright // The Journal of bone and joint surgery. American volume. – 2012. – T. 94. – №. 19. – C. 1737. DOI: 10.2106/JBJS.K.01246.
82. Krych A.J. Surgical repair of meniscal tears with concomitant anterior cruciate ligament reconstruction in patients 18 years and younger / A.J. Krych, R.T. Pitts, K.A. Dajani, M.J. Stuart, B.A. Levy, D.L. Dahm // The American Journal of Sports Medicine. – 2010. – T. 38. – №. 5. – C. 976-982. DOI: 10.1177/0363546509354055.
83. Kumar S. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in the skeletally immature: follow-up to a minimum of sixteen years of age / S. Kumar, D. Ahearne, D.M. Hunt // JBJS. – 2013. – T. 95. – №. 1. – C. e1. DOI: 10.2106/JBJS.K.01707.
84. Lang P. J. Prevention, treatment, and rehabilitation of anterior cruciate ligament injuries in children / P.J. Lang, D. Sugimoto, L.J. Micheli // Open access journal of sports medicine. – 2017. – T. 8. – C. 133. DOI: 10.2147/OAJSM.S133940.
85. Lanzetti R.M. Over the top anterior cruciate ligament reconstruction in patients with open physes: a long-term follow-up study / R.M. Lanzetti, V. Pace, A. Ciompi, D. Perugia, M. Spoliti, F. Falez, C. Auro // International Orthopaedics. – 2020. – T. 44. – №. 4. – C. 771-778. DOI: 10.1007/s00264-020-04490-4.
86. Lawrence J.T.R. All-epiphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature patients / J.T.R. Lawrence, A.L. Bowers, J. Belding, S.R. Cody, T.J. Ganley // Clinical Orthopaedics and Related Research®. – 2010. – T. 468. – №. 7. – C. 1971-1977. DOI: 10.1007/s11999-010-1255-2.
87. Lee H. M. Correlation between proprioception, muscle strength, knee laxity, and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency

/ H.M. Lee, C.K. Cheng J.J. Liau // The Knee. – 2009. – Т. 16. – №. 5. – С. 387-391. DOI: 10.1016/j.knee.2009.01.006.

88. Liljeros K. Arthroscopic fixation of anterior tibial spine fractures with bioabsorbable nails in skeletally immature patients / K. Liljeros, S. Werner, P.M. Janarv // The American Journal of Sports Medicine. – 2009. – Т. 37. – №. 5. – С. 923-928. DOI: 10.1177/0363546508330133.

89. Limbird T. J. EMG profiles of knee joint musculature during walking: changes induced by anterior cruciate ligament deficiency / T.J. Limbird, R. Shiavi, M. Frazer, H. Borra // Journal of orthopaedic research. – 1988. – Т. 6. – №. 5. – С. 630-638. DOI: 10.1002/jor.1100060503.

90. Lubowitz J. H. Knee medial collateral ligament and posteromedial corner anatomic repair with internal bracing / J.H. Lubowitz, G. MacKay, B. Gilmer // Arthroscopy techniques. – 2014. – Т. 3. – №. 4. – С. e505-e508. DOI: 10.1016/j.eats.2014.05.008.

91. Madelaine A. Conservative management of anterior cruciate ligament injury in paediatric population: about 53 patients / A. Madelaine, G. Fournier, E. Sappey-Marinier, T. Madelaine, R. Seil, N. Lefevre, F.A Society [et al] // Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. – 2018. – Т. 104. – №. 8. – С. S169-S173. DOI: 10.1016/j.otsr.2018.09.001.

92. Makela E. A. The effect of trauma to the lower femoral epiphyseal plate. An experimental study in rabbits / E.A. Makela, S.E.P.P.P.O. Vainionpaa, K.I.M.M.O. Vihtonen, M.A.T.T.I. Mero, P.E.N.T.T.I. Rokkanen // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1988. – Т. 70. – №. 2. – С. 187-191. DOI: 10.1302/0301-620X.70B2.3346285.

93. Mather III R. C. Cost-effectiveness analysis of the diagnosis of meniscus tears / III R.C. Mather III, W.E. Garrett, B.J. Cole, K. Hussey, M.P. Bolognesi, T. Lassiter, L.A. Orlando // The American journal of sports medicine. – 2015. – Т. 43. – №. 1. – С. 128-137. DOI: 10.1177/0363546514557937.

94. Mathew S. Is anteromedial drilling safe in transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction in adolescents with growth remaining? / S. Mathew, H.B. Ellis,

C.W. Wyatt, M.J. Sabatino, A.J. Zynda, G. Dennis, P.L. Wilson // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2019. – Т. 39. – №. 4. – С. e278-e283. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001289.

95. McCarthy M. M. All-epiphyseal, all-inside anterior cruciate ligament reconstruction technique for skeletally immature patients / M.M. McCarthy, J. Graziano, D.W. Green, F.A. Cordasco // Arthroscopy Techniques. – 2012. – Т. 1. – №. 2. – С. e231-e239. DOI: 10.1016/j.eats.2012.08.005.

96. Meyers M. H. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia / M.H. Meyers, F.M. McKeever // JBJS. – 1959. – Т. 41. – №. 2. – С. 209-222.

97. Micheli L.J. Anterior cruciate ligament reconstruction in patients who are prepubescent / L.J. Micheli, B. Rask, L. Gerberg // Clinical Orthopaedics and Related Research®. – 1999. – Т. 364. – С. 40-47. DOI: 10.1097/00003086-199907000-00006.

98. Moksnes H. Prevalence and incidence of new meniscus and cartilage injuries after a nonoperative treatment algorithm for ACL tears in skeletally immature children: a prospective MRI study / H. Moksnes, L. Engebretsen, M.A. Risberg // The American Journal of Sports Medicine. – 2013. – Т. 41. – №. 8. – С. 1771-1779. DOI: 10.1177/0363546513491092.

99. Molander M.L. Fracture of the intercondylar eminence of the tibia: a review of 35 patients / M.L. Molander, G. Wallin, I. Wikstad // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1981. – Т. 63. – №. 1. – С. 89-91. DOI: 10.1302/0301-620X.63B1.7225187.

100. Moutzouri M. Greek KOOS-Child: a valid, disease specific, diagnostically accurate and responsive PROM in children with knee-related pathology / M. Moutzouri, P. Tsoumpos, T. Bania, E. Billis, J. Gliatis // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 2021. – Т. 29. – №. 6. – С. 1841-1849. DOI: 10.1007/s00167-020-06237-5

101. Mughal A.M. Bone age assessment methods: a critical review / A.M. Mughal, N. Hassan, A. Ahmed // Pakistan journal of medical sciences. – 2014. – Т. 30. – №. 1. – С. 211. DOI: 10.12669/pjms.301.4295.

102. Newman J. T. Factors predictive of concomitant injuries among children and

adolescents undergoing anterior cruciate ligament surgery / J.T. Newman, P.M. Carry, E.B. Terhune, M.D. Spruiell, A. Heare, M. Mayo, A.F. Vidal // The American Journal of Sports Medicine. – 2015. – T. 43. – №. 2. – C. 282-288. DOI: 10.1177/0363546514562168.

103. Noyes F. R. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability / F.R. Noyes, D.S. Matthews, P.A. Mooar, E.S. Grood // JBJS. – 1983. – T. 65. – №. 2. – C. 163-174. DOI: 10.2106/00004623-198365020-00004.

104. Örtqvist M. Development of the knee injury and osteoarthritis outcome score for children (KOOS-child) comprehensibility and content validity / M. Örtqvist, E.M. Roos, E.W. Broström, P.M. Janarv, M.D. Iversen // Acta orthopaedica. – 2012. – T. 83. – №. 6. – C. 666-673. DOI: 10.3109/17453674.2012.747921.

105. Parkkari J. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46 500 people with a 9 year follow-up / J. Parkkari, K. Pasanen, V.M. Mattila, P. Kannus, A. Rimpelä // British journal of sports medicine. – 2008. – T. 42. – №. 6. – C. 422-426. DOI: 10.1136/bjsm.2008.046185.

106. Perera N. S. Anterior cruciate ligament rupture: delay to diagnosis / N.S. Perera, J Joel, J.A. Bunola // Injury. – 2013. – T. 44. – №. 12. – C. 1862-1865. DOI: 10.1016/j.injury.2013.07.024.

107. Ramski D. E. Anterior cruciate ligament tears in children and adolescents: a meta-analysis of nonoperative versus operative treatment / D.E. Ramski, W.W. Kanj, C.C. Franklin, K.D Baldwin, T.J. Ganley // The American journal of sports medicine. – 2014. – T. 42. – №. 11. – C. 2769-2776. DOI: 10.1177/0363546513510889.

108. Rasch G. Probabilistic models for some intelligence tests and attainment tests //Danish Institute for Educational Research, Copenhagen, Denmark. – 1960.

109. Rebmann D. Immunohistochemical analysis of sensory corpuscles in human transplants of the anterior cruciate ligament / D. Rebmann, H.O. Mayr, H. Schmal, S. Hernandez Latorre, A. Bernstein // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2020. – T. 15. – №. 1. – C. 1-9. DOI: 10.1186/s13018-020-01785-5.

110. Roemer F. W. MRI-detected subchondral bone marrow signal alterations of the knee joint: terminology, imaging appearance, relevance and radiological differential diagnosis / F.W. Roemer, R. Frobell, D.J. Hunter, M.D. Crema, W. Fischer, K. Bohndorf, A. Guermazi. // Osteoarthritis and Cartilage. – 2009. – T. 17. – №. 9. – C. 1115-1131. DOI: 10.1016/j.joca.2009.03.012

111. Roos E.M. Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) — development of a self-administered outcome measure / E.M. Roos, H.P. Roos, L.S. Lohmander, C. Ekdahl, B.D. Beynnon // J Orthop Sports Phys Ther. 1998. Vol. 28, No. 2. P. 88–96. DOI: 10.2519/jospt.1998.28.2.88

112. Schneider S. Sports injuries among adolescents: incidence, causes and consequences / S. Schneider, S. Yamamoto, C. Weidmann, B. Brühmann // Journal of paediatrics and child health. – 2012. – T. 48. – №. 10. – C. E183-E189. DOI: 10.1111/j.1440-1754.2012.02578.x

113. Shanmugam C. Sports injuries in children / C. Shanmugam N. Maffulli // British medical bulletin. – 2008. – T. 86. – №. 1. – C. 33-57. DOI: 10.1093/bmb/ldn001

114. Shifflett G. D. Growth arrest following ACL reconstruction with hamstring autograft in skeletally immature patients: a review of 4 cases / S. Schneider, S. Yamamoto, C. Weidmann, B. Brühmann // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2016. – T. 36. – №. 4. – C. 355-361. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000466.

115. Smith H. C. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: a review of the literature—part 2: hormonal, genetic, cognitive function, previous injury, and extrinsic risk factors / H.C. Smith, P. Vacek, R.J. Johnson, J.R. Slauterbeck, J. Hashemi, S. Shultz, B.D. Beynnon // Sports health. – 2012. – T. 4. – №. 2. – C. 155-161. DOI: 10.1177/1941738111428282.

116. Smith J. O. Paediatric ACL repair reinforced with temporary internal bracing / J.O. Smith, S.K. Yasen, H.C. Palmer, B.R. Lord, E.M. Britton, A.J. Wilson // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 2016. – T. 24. – №. 6. – C. 1845-1851. DOI: 10.1007/s00167-016-4150-x.

117. Stanitski C. L. Observations on acute knee hemarthrosis in children and adolescents / C.L. Stanitski J.C. Harvell, F. Fu // Journal of pediatric orthopedics. –

1993. – Т. 13. – №. 4. – С. 506-510. DOI: 10.1097/01241398-199307000-00016.

118. Swami V. G. MRI anatomy of the tibial ACL attachment and proximal epiphysis in a large population of skeletally immature knees: reference parameters for planning anatomic physeal-sparing ACL reconstruction / V.G. Swami, M. Mabee, C. Hui, J.L. Jaremko // The American Journal of Sports Medicine. – 2014. – Т. 42. – №. 7. – С. 1644-1651. DOI: 10.1177/0363546514530293.

119. Tanner J. M. A note on the bone age at which patients with true isolated growth hormone deficiency enter puberty / J.M. Tanner, R.H. Whitehouse // The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. – 1975. – Т. 41. – №. 4. – С. 788-790. DOI: 10.1210/jcem-41-4-788

120. Tegner Y., Lysholm J. Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries / Y. Tegner, J. Lysholm // Clinical orthopaedics and related research. – 1985. – №. 198. – С. 43-49.

121. TThodberg H.H. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity / H.H. Thodberg, S. Kreiborg, A. Juul, K.D. Pedersen // IEEE transactions on medical imaging. – 2008. – Т. 28. – №. 1. – С. 52-66. DOI: 10.1109/TMI.2008.926067.

122. Rioux Trottier E. Validation of the French version of the KOOS-child questionnaire / E. Rioux Trottier, M. Beauséjour, S. Lamer, P. Glavas, G. Grimard, M.L. Nault // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 2019. – Т. 27. – №. 7. – С. 2361-2367. DOI: 10.1007/s00167-018-5302-y

123. Tsuda E. Restoration of anterior cruciate ligament-hamstring reflex arc after anterior cruciate ligament reconstruction / E. Tsuda, Y. Ishibashi, Y. Okamura, S. Toh // Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy. – 2003. – Т. 11. – №. 2. – С. 63-67. DOI: 10.1007/s00167-002-0338-3.

124. Utukuri M. M. Update on paediatric ACL injuries / M.M. Utukuri, H.S. Somayaji, V. Khanduja, G.S.E. Dowd, D.M. Hunt // The knee. – 2006. – Т. 13. – №. 5. – С. 345-352. DOI: 10.1016/j.knee.2006.06.001.

125. van der List J. P. The locations of anterior cruciate ligament tears in pediatric and adolescent patients: a magnetic resonance study / J.P. van der List D.N. Mintz G.S.

DiFelice // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2019. – Т. 39. – №. 9. – С. 441-448. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001041.

126. Van Dyck P. Prospective comparison of 1.5 and 3.0-T MRI for evaluating the knee menisci and ACL / P. Van Dyck, F.M. Vanhoenacker, V. Lambrecht, K. Wouters, J.L. Gielen, L. Dossche, P.M. Parizel // JBJS. – 2013. – Т. 95. – №. 10. – С. 916-924. DOI: 10.2106/JBJS.L.01195.

127. Vavken P. Concurrent meniscal and chondral injuries in pediatric and adolescent patients undergoing ACL reconstruction / P. Vavken, F.A. Tepolt, M.S. Kocher// Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2018. – Т. 38. – №. 2. – С. 105-109. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000777.

128. Vega J. R. Arthroscopic fixation of displaced tibial eminence fractures: a new growth plate–sparing method / J.R. Vega, L.A. Irribarra, A.K. Baar, M. Iñiguez, M. Salgado, N. Gana // Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery. – 2008. – Т. 24. – №. 11. – С. 1239-1243. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.07.007.

129. Vincenzo De Sanctis M. Are the new automated methods for bone age estimation advantageous over the manual approaches? / M. Vincenzo De Sanctis, A.T. Soliman, M. Salvatore Di Maio, S. Bedair // Pediatric Endocrinology Reviews (PER). – 2014. – Т. 12. – №. 2.

130. Werner B. C. Trends in pediatric and adolescent anterior cruciate ligament injury and reconstruction / B.C. S. Yang, A.M. Looney, F.W. Gwathmey // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2016. – Т. 36. – №. 5. – С. 447-452. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000482.

131. Willimon S. C. Micheli anterior cruciate ligament reconstruction in skeletally immature youths: a retrospective case series with a mean 3-year follow-up / S.C. Willimon, C.R. Jones, M.M. Herzog, K.H. May, M.J. Leake, M. T. Busch // The American Journal of Sports Medicine. – 2015. – Т. 43. – №. 12. – С. 2974-2981. DOI: 10.1177/0363546515608477.

132. Wong S. E. Complications after pediatric ACL reconstruction: a meta-analysis / S.E. Wong, B.T. Feeley, N.K. Pandya // Orthopaedic Journal of Sports Medicine. – 2017. – Т. 5. – №. 7_suppl6. – С. 2325967117S00434. DOI:

10.1097/BPO.0000000000001075.

133. Yellin J. L. Rehabilitation following anterior cruciate ligament tears in children: a systematic review / J.L. Yellin, P.D. Fabricant, A. Gornitzky, E.M. Greenberg, S. Conrad, J.A. Dyke, T.J. Ganley // JBJS reviews. – 2016. – Т. 4. – №. 1. – С. e4. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.O.00001.

134. Yildiz M. Implementation and statistical evaluation of a web-based software for bone age assessment / M. Yildiz, A. Guvenis, E. Guven, D. Talat, M. Haktan // Journal of medical systems. – 2011. – Т. 35. – №. 6. – С. 1485-1489. DOI: 10.1007/s10916-009-9425-z.

135. Yoo W. J. Growth plate disturbance after transphyseal reconstruction of the anterior cruciate ligament in skeletally immature adolescent patients: an MR imaging study / W.J. Yoo, M.S. Kocher, L.J. Micheli // Journal of Pediatric Orthopaedics. – 2011. – Т. 31. – №. 6. – С. 691-696. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3182210952.

136. Young S. W. Mechanoreceptor reinnervation of autografts versus allografts after anterior cruciate ligament reconstruction / S.W. Young, R.D. Valladares, F. Loi, J.L. Dragoo // Orthopaedic journal of sports medicine. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 2325967116668782. DOI: 10.1177/2325967116668782.

137. Zimny M. L. Neuroreceptors in the tissues of the knee joint / M.L. Zimny C.S. Wink // Journal of Electromyography and Kinesiology. – 1991. – Т. 1. – №. 3. – С. 148-157. DOI: 10.1016/1050-6411(91)90031-Y.

Приложение А1

Описательная статистика результатов опроса

Статистический показатель	Опросник / Категория опросника							
	KOOS-Child Pain	KOOS-Child Symptom	KOOS-Child ADL	KOOS-Child Sport/Rec	KOOS-Child QOL	KOOS-Child Total	Pedi-IKDC	Lysholm
Среднее	64,69	75,04	78,73	52,08	50,75	66,10	55,97	67,89
Дисперсия	422,29	248,01	356,93	729,34	508,69	303,55	263,25	274,70
Медиана	67,19	76,79	81,82	53,57	54,17	66,35	58,15	68,50
Эксцесс	–0,203	–0,163	0,742	–0,805	–0,519	–0,040	–0,416	0,081
Асимметрия	–0,580	–0,507	–1,143	–0,227	–0,187	–0,579	–0,336	–0,528

Приложение А2

Форма для заполнения

Дата заполнения: _____ Дата рождения: _____

ФИО: _____

ИНСТРУКЦИЯ

Эти вопросы позволят получить информацию о том, как на Вас влияет травма коленного сустава. Ответьте на каждый вопрос, поставив только одну галочку в соответствующем поле. Если Вы не уверены, какой вариант выбрать, выберите тот ответ, который подходит в большей степени.

ПРОБЛЕМЫ СВЯЗАННЫЕ С КОЛЕННЫМ СУСТАВОМ

S1. Как часто в течение последних 7 дней Ваше колено отекало (увеличивалось в размере)?

☐ Никогда ☐ Редко ☐ Иногда ☐ Часто ☐ Всегда

S2. Как часто в течение последних 7 дней Ваш коленный сустав “хрустел”/“скрипел”?

☐ Никогда ☐ Редко ☐ Иногда ☐ Часто ☐ Всегда

S3. Как часто в течение последних 7 дней Ваше колено блокировалось (не согнуть\не разогнуть)?

☐ Никогда ☐ Редко ☐ Иногда ☐ Часто ☐ Всегда

S4. Как часто в течениие последних 7 дней Вам удавалось полностью разогнуть ногу самостоятельно?

☐ Всегда ☐ Часто ☐ Иногда ☐ Редко ☐ Никогда

S5. Как часто в течение последних 7 дней Вам удавалось полностью согнуть колено самостоятельно?

☐ Всегда ☐ Часто ☐ Иногда ☐ Редко ☐ Никогда

S6. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней сразу после пробуждения производить движения в колене?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

S7. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней двигать коленом в течение дня после того, как вы посидите?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

P1. Как часто за последний месяц Вы испытывали боль в колене?

☐ Никогда ☐ Редко ☐ Иногда ☐ Часто ☐ Всегда

ИНТЕНСИВНОСТЬ БОЛИ

Насколько сильную боль в колене Вы испытали **за последние 7 дней** во время следующих видов активности? В каждом пункте отметьте наиболее подходящий ответ

	Нет боли	Немного больно	Средняя боль	Сильная боль	Невыносимая боль
P2. Скручивания в колене, когда идете\стоите\бежите					
P3. Полностью выпрямляете колено					
P4. Полностью сгибаете колено					
P6a. Поднимаетесь по лестнице					
P6b. Спускаетесь по лестнице					
P8a. Приседаете с согнутыми коленками					
P9. Стоите прямо в течении какого-то времени					

СЛОЖНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОВСЕДНЕВНЫХ ВИДОВ АКТИВНОСТИ

А1. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней спускаться по лестнице?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А2. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней подниматься по лестнице?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А3. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней вставать со стула?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А5. В течение последних 7 дней испытывали ли Вы сложности при приседании (при подъеме вещей с пола)?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А7. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней садиться и выходить из машины?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А10. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней вставать с кровати?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А12. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней менять положение колена, находясь в постели?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А13. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней заходить в ванную / душ / выходить из ванной / душа?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

А14. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней пребывать в положении сидя так, чтобы травмированное колено было согнуто?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

A16. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней носить тяжелые сумки / рюкзаки и т. п.?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

A17. Насколько тяжело Вам было в последние 7 дней выполнять простые работы по дому, например, убирать в комнате, загружать / разгружать посудомоечную машину, заправлять кровать и т. п.?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

СЛОЖНОСТИ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЙ СПОРТОМ И ИГР

SP1. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней приседать во время игр или занятий спортом? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	
SP2. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней бегать во время игр или занятий спортом? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	
SP3. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней прыгать во время игр или занятий спортом? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	
SP4. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней поворачиваться / крутиться во время игр или занятий спортом из-за травмы колена? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	
SP5. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней вставать на колени? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	
SPN6. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней удерживать равновесие во время ходьбы / бега по неровной поверхности? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	
SPN7. Насколько тяжело Вам было за последние 7 дней играть в спортивные игры из-за травмы колена? ☐ Несложно ☐ Немного сложно ☐ Достаточно сложно ☐ Очень сложно ☐ Почти невозможно	

КАК ТРАВМА ПОВЛИЯЛА НА ВАШУ ЖИЗНЬ?

Q1. Как часто Вы думаете о проблемах, связанных с вашим коленом?

☐ Никогда ☐ Редко ☐ Иногда ☐ Часто ☐ Всегда

Q2. Насколько сильно Вы изменили образ вашей жизни из-за травмы?

☐ Не изменил(а) ☐ Немного изменил(а) ☐ Частично изменил(а) ☐ Заметно изменил(а) ☐ Очень изменил(а)

Q3. Насколько уверенно Вы опираетесь на травмированное колено?

☐ Уверенно ☐ Не совсем уверенно ☐ Опираюсь ☐ Тяжело опираюсь ☐ Не опираюсь

Q4. В целом, насколько Вам тяжело из-за травмы колена?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

QN5. Насколько Вас затрудняет нагрузка, связанная со школой (дорога до школы, подъем по лестнице, открывание дверей, ношение книг, участие в играх и мероприятиях) из-за травмы коленного сустава?

☐ Не затрудняет ☐ Немного затрудняет ☐ Достаточно затрудняет ☐ Очень затрудняет

☐ Практически невозможно выполнять прежние нагрузки

QN6. Насколько тяжело Вам было делать что-то вместе с друзьями из-за травмы колена?

☐ Не тяжело ☐ Немного тяжело ☐ Достаточно тяжело ☐ Очень тяжело ☐ Практически невозможно

Спасибо большое за выполнение теста!

Общая информация

1. ФИО: _____ _____ _____
2. Дата рождения _____
3. Дата заполнения: __ __ / __ __ / __ __ __ __

Информация о травме

Дата травмы: __ __ / __ __ / __ __ __ __
ММ ДД ГГГГ

Каждый вопрос посвящен отдельному аспекту травмы. Пожалуйста, ответьте на каждый вопрос, поставив только одну галочку в соответствующем поле.

СИМПТОМЫ

1. Если бы Вас попросили выполнить следующие действия, какие из них удаются на сегодняшний день, не приводя к **сильной боли** в колене?

❑1 Высокоинтенсивные виды активности, такие как прыжки или резкие повороты для изменения направления, например, в баскетболе или футболе

❑2 Интенсивные виды активности, такие как тяжелая атлетика, катание на лыжах или теннис

❑3 Такие интенсивные виды активности, как быстрая ходьба или бег трусцой

❑4 Малоинтенсивные виды активности, такие как ходьба с нормальной скоростью

❑5 Я не могу заниматься ни одним из указанных видов активности из-за сильной боли в колене

2. Как часто болит травмированное колено?

Никогда	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**Болит Все время**
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	

3. Как сильно болит Ваше колено сегодня?

Не болит совсем	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**Болит очень сильно**
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	

4. Насколько вам **сложно сгибать** травмированное колено и двигать им?

❑1 Не сложно
❑2 Немного сложно
❑3 Умеренно сложно
❑4 Сильно сложно
❑5 Крайне сложно

5. Насколько **отекало (опухало)** травмированное колено с момента получения травмы?

❑1 Совсем не отекало
❑2 Немного отекало
❑3 Умеренно отекало
❑4 Сильно отекало
❑5 Крайне сильно отекало

6. Какие действия в настоящий момент не приводят к **отёку (опуханию)** коленного сустава?

❑1 Высокоинтенсивные виды активности, такие как прыжки или резкие повороты для изменения направления, например, в баскетболе или футболе
❑2 Интенсивные виды активности, такие как тяжелая атлетика, катание на лыжах или теннис
❑3 Такие интенсивные виды активности, как быстрая ходьба или бег трусцой
❑4 Малоинтенсивные виды активности, такие как ходьба с нормальной скоростью
❑5 Я не могу выполнять ничего из перечисленного, потому что травмированное колено опухает, даже когда я нахожусь в состоянии покоя

	Да	Нет
7. С момента получения травмы были ли у Вас эпизоды **«блокады» (застревания)** травмированного колена (так, что вы совсем не могли им двигать)?	❑1	❑2
8. С момента получения травмы возникало ли ощущение, что травмированное колено **«заблокировалось» (застряло)** в одном положении, **но вскоре у вас получалось им двигать**?	❑1	❑2

9. Какие действия сегодня удалось бы выполнить без **ощущения неустойчивости в коленном суставе?**

❑1 Высокоинтенсивные виды активности, такие как прыжки или резкие повороты для изменения направления, например, в баскетболе или футболе
❑2 Интенсивные виды активности, такие как тяжелая атлетика, катание на лыжах или теннис
❑3 Такие интенсивные виды активности, как быстрая ходьба или бег трусцой
❑4 Малоинтенсивные виды активности, такие как ходьба с нормальной скоростью
❑5 Я не могу выполнять ничего из перечисленного, потому что есть ощущение, что я не могу опереться на травмированное колено

ЗАНЯТИЯ СПОРТОМ

10. Какие упражнения являются частью Вашей ежедневной активности?

❑1 Высокоинтенсивные виды активности, такие как прыжки или резкие повороты для изменения направления, например, в баскетболе или футболе

❑2 Интенсивные виды активности, такие как тяжелая атлетика, катание на лыжах или теннис

❑3 Такие интенсивные виды активности, как быстрая ходьба или бег трусцой

❑4 Малоинтенсивные виды активности, такие как ходьба с нормальной скоростью

❑5 Я не могу выполнить что-либо из вышеперечисленного

11. Влияет ли Ваша травма колена на способность:

	Не беспокоит	**Немного**	**Беспокоит**	**Сильно беспокоит**	**Я не могу это делать**
a. Подниматься по лестнице?	❑	❑	❑	❑	❑
b. Спускаться по лестнице?	❑	❑	❑	❑	❑
c. Опереться на травмированное колено?	❑	❑	❑	❑	❑
d. Глубоко присесть?	❑	❑	❑	❑	❑
e. Сесть в кресло?	❑	❑	❑	❑	❑
f. Встать с кресла?	❑	❑	❑	❑	❑
g. Бегать?	❑	❑	❑	❑	❑
h. Прыгать и опираться на травмированное колено?	❑	❑	❑	❑	❑
i. Резко начать движение и остановиться?	❑	❑	❑	❑	❑

ФУНКЦИЯ

12. Насколько хорошо работало Ваше колено до травмы?

Ничего не мог им делать	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**Не испытывал каких-либо проблем**
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	

13. Насколько хорошо работает Ваше колено сейчас?

Ничего не могу им делать	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**Могу делать все что хочу**
	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	❑	

14. Как вы отвечали на вопросы? ❑1 Самостоятельно ❑2 При помощи родителей/взрослых

Приложение А4

Сводная таблица показателей пациентов с разрывом передней крестообразной связки, которым проводилось оперативное лечение в объеме пластик по методике all-inside

Пациент	Пол	Рост, см	Рост матери, см	Рост отца, см	Паспортный возраст, лет	Костный возраст, лет	Предполагаемый рост, см
1	м	161	170	183	11	13,6	183
2	м	170	164	186	12,1	13,8	187
3	ж	150	154	178	13,3	15,3	152
4	м	170	162	168	13,5	14,3	175
5	м	181	173	175	14	16,4	185
6	ж	164	168	175	15,3	17	165
7	м	178	165	170	15	17,3	180
8	м	175	168	180	16,7	17,5	177
9	м	172	165	170	17	16,5	175
10	ж	164	175	170	14,8	17	165
11	ж	171	170	181	14	16	169
12	м	172	166	180	15,2	13	179,5
13	ж	165	164	174	14,4	16,5	162,5
14	м	172	171	182	16	13	183
15	м	180	170	175	15,2	16,4	181,5
16	м	176	162	185	14,2	13,5	188
17	м	168	170	178	13	12	185
18	м	179	164	171	14,8	17,5	180
19	м	173	168	170	14	16	178

Примечание. м — мужской, ж — женский.

Приложение А5

Результаты измерения объективных показателей в контрольной группе

Пациент	Обозначение показателя									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
1	0	0	0,96	0	0	0	0	0	16	0
2	0	0	0,53	0	0	0	1	0	17	0
3	0	0	0,74	0	0	0	1	0	17	1
4	0,53	0	0,55	0,72	0	0	0	0	16	1
5	0	0,77	0,72	71	0	0	1	0	15	1
6	0	0	0	0	0	1	1	0	16	1
7	0,78	1,26	0,97	0	0	1	1	1	21	1
8	1,51	0	1,12	0,77	1	0	1	0	17	1
9	0	0,6	0	1	1	0	1	0	16	1
10	0,78	0	0	0	0	0	0	0	16	1
11	0,74	0	0,56	0	0	0	0	0	13	1
12	0	0	0,69	0,68	0	0	0	0	16	1
13	0	0	0	0	0	1	0	0	20	1
14	0	1	0	0	0	0	0	0	14	1
15	0	0	0,52	0,67	0	0	0	0	20	1
16	1,57	0	0,88	0	0	1	1	0	21	1
17	0,87	0,55	0,71	0,51	1	0	0	0	17	1
18	0	0	0	0	1	0	0	0	20	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	16	1
20	0	0,71	0,94	0	0	1	0	1	15	1
21	0,5	0	0,4	0	0	0	0	0	14	1
22	0	0	0	0,4	0	0	0	0	16	1
23	0	0	0	0	0	1	0	0	14	1
24	0	1	0	0	0	0	0	0	14	1
25	0	0	0,52	0,5	0	0	0	0	20	1

Приложение А6

Результаты измерения объективных показателей в группе оперативного лечения

Пациент	Обозначение показателя									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
1	–0,3	0	–0,4	0	0	0	0	0	17	0
2	0	0,5	0	0	0	0	0	0	16	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
4	0	0	0	0	0	0	–1	0	16	0
5	0,6	0	0,5	0	0	0	–1	0	13	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
14	0	0	0	0	0	0	-1	0	15	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
18	0	0	0	0	0	0	–1	0	14	0
19	0	0	0	0	0	0	1	0	13	1
20	0,6	0	0,4	0	0	0	–1	0	16	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
22	0	0,3	0,2	0	0	0	1	0	16	0
23	–0,3	0	0	0	0	0	0	0	16	1
24	0,4	0	0,5	0	0	0	0	0	16	0
25	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0	16	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
27	0	0	0	0	0	0	0	1	15	1
28	0	0,5	0	0	0	0	0	0	16	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	15	1
31	0,5	0	0,3	0	0	0	-1	0	15	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
35	0,3	0,1	0	0	0	0	–1	0	16	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
38	0,1	0,2	0,2	0	0	0	0	0	16	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0

Пациент	Обозначение показателя									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
41	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
42	0,2	0,2	0,1	0	0	0	–1	0	12	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
44	–0,5	0	0	0	0	0	0	0	12	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0

Приложение А7

Результаты опроса качества жизни после лечения в контрольной группе

Пациент	Обозначение разделов опросника					
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
1	59	89	100	93	71	75
2	91	96	100	93	67	80
3	69	68	84	57	63	64
4	75	61	82	50	50	46
5	84	79	95	61	54	56
6	78	89	75	71	63	64
7	63	79	77	11	58,33	53
8	56	57	77	11	38	38
9	41	75	82	18	50	53
10	84	71	91	14	38	60
11	69	68	82	54	42	72
12	100	68	39	93	96	71
13	71	64	52	61	40	62
14	66	71	55	50	42	64
15	56	71	75	50	50	62
16	50	54	77	57	40	57
17	56	68	86	11	33,33	42
18	56	68	86	11	33,33	51
19	41	75	82	18	50	61
20	31	46	66	50	29,17	55
21	64	68	82	54	42	72
22	98	68	39	93	96	70
23	72	64	52	61	40	62
24	87	71	58	60	40	60
25	62	72	76	50	52	68

Приложение А8

Результаты опроса качества жизни в группе оперативного лечения

Пациент	До операционного лечения						После операционного лечения					
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
1	18,00	50,00	42,00	25,00	70,00	54,00	94,44	60,71	95,59	85,00	87,50	80,00
2	37,50	60,71	56,82	0,00	12,50	40,00	75,00	60,71	90,91	21,43	50,00	64,00
3	40,63	53,57	75,00	42,86	16,67	54,00	88,89	89,29	91,18	50,00	50,00	66,00
4	56,25	57,14	77,27	10,71	37,50	38,00	69,44	64,29	83,82	25,00	37,50	42,00
5	24,00	48,00	64,00	43,00	19,00	30,00	50,00	52,00	68,00	5,00	20,00	38,00
6	56,25	67,86	86,36	10,71	33,33	55,00	94,44	67,86	100,00	90,00	68,75	80,00
7	46,00	21,00	45,00	60,00	40,00	64,00	94,00	72,00	98,00	95,00	86,00	85,00
8	74,00	62,00	42,00	24,00	40,00	60,00	90,00	70,00	100,00	90,00	90,00	88,00
9	68,75	67,86	81,82	53,57	41,67	60,00	78,13	92,86	90,91	82,14	79,17	74,00
10	87,50	50,00	81,82	53,57	45,83	88,00	96,88	85,71	88,64	32,14	29,17	70,00
11	84,38	85,71	86,36	17,86	70,83	50,00	93,75	100,00	95,45	92,86	79,17	65,00
12	65,63	60,71	95,45	67,86	50,00	47,00	86,00	80,00	84,00	74,00	79,00	68,00
13	53,13	57,14	65,91	17,86	41,67	50,00	84,38	85,71	86,36	17,86	70,83	84,00
14	75,00	91,67	79,55	53,57	33,33	66,00	90,00	84,00	86,00	80,00	95,00	80,00
15	75,00	85,71	84,09	82,14	66,67	69,00	100,00	92,00	86,00	94,00	86,00	84,00
16	64,00	50,00	40,00	30,00	50,00	55,00	80,00	60,00	70,00	55,00	75,00	68,00
17	43,75	84,00	59,09	39,29	66,67	64,00	64,00	86,00	65,00	60,00	74,00	80,00
18	68,75	64,29	61,36	64,29	45,83	58,00	80,00	92,00	74,00	84,00	76,00	72,00
19	40,00	42,00	52,00	32,00	16,00	38,00	40,63	53,57	75,00	42,86	16,67	65,00
20	64,00	40,00	30,00	20,00	64,00	54,00	100,00	67,86	100,00	95,00	100,00	100,00
21	60,00	50,00	34,00	42,00	54,00	52,00	94,44	64,29	100,00	85,00	75,00	84,00
22	57,00	52,00	40,00	20,00	32,00	47,00	90,00	80,00	100,00	86,00	84,00	88,00
23	15,63	46,43	40,91	35,71	16,67	30,00	30,00	50,00	45,00	35,00	30,00	40,00
24	62,50	78,57	77,27	10,71	58,33	59,00	94,44	64,29	100,00	65,00	75,00	70,00
25	55,00	30,00	55,00	40,00	70,00	52,00	97,00	57,14	100,00	75,00	87,50	73,00
26	40,00	62,00	44,00	32,00	64,00	60,00	100,00	71,43	100,00	100,00	100,00	78,00
27	42,00	64,00	66,00	0,00	40,00	34,00	83,33	75,00	88,24	10,00	43,75	47,00
28	40,00	54,00	72,00	52,00	84,00	55,00	97,22	64,29	94,12	70,00	100,00	70,00
29	72,00	40,00	32,00	24,00	60,00	54,00	94,44	60,71	97,06	85,00	87,50	90,00
30	18,75	57,14	63,64	25,00	25,00	40,00	100,00	67,86	38,64	92,86	95,83	84,00
31	28,13	50,00	52,27	25,00	12,50	36,00	81,25	92,86	95,45	57,14	54,17	82,00
32	31,25	64,29	50,00	7,14	20,83	46,00	93,75	96,43	100,00	71,43	75,00	90,00
33	40,63	75,00	81,82	17,86	50,00	64,00	78,13	92,86	90,91	57,14	66,67	89,00
34	56,25	71,43	75,00	50,00	50,00	54,00	75,00	71,43	93,18	71,43	54,17	84,00
35	43,75	64,29	72,73	42,86	66,67	54,00	75,00	60,71	81,82	50,00	50,00	64,00
36	50,00	78,57	81,82	42,86	45,83	60,00	84,38	78,57	95,45	60,71	54,17	84,00

Пациент	До операционного лечения						После операционного лечения					
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
37	87,50	50,00	81,82	53,57	45,83	68,00	100,00	96,43	100,00	85,71	91,67	96,00
38	40,63	53,57	75,00	42,86	16,67	54,00	71,88	85,71	97,73	42,86	75,00	86,00
39	31,25	64,29	50,00	7,14	20,83	54,00	100,00	89,29	100,00	82,14	62,50	96,00
40	62,50	75,00	70,45	39,29	41,67	62,00	93,75	100,00	95,45	92,86	79,17	92,00
41	62,50	78,57	77,27	10,71	58,33	60,00	84,38	96,43	97,73	89,29	70,83	86,00
42	75,00	82,14	56,82	0,00	41,67	52,00	75,00	85,71	84,09	82,14	66,67	84,00
43	56,25	67,86	86,36	10,71	33,33	67,00	96,88	89,29	97,73	85,71	79,17	92,00
44	62,50	78,57	77,27	10,71	58,33	63,00	100,00	96,43	100,00	85,71	91,67	94,00
45	28,13	39,29	75,00	7,14	33,33	42,00	92,00	89,29	96,00	82,14	62,50	86,00

Приложение А9

Результаты статистического анализа в группах после лечения

Статистический показатель	Обозначение раздела опросника											
	2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		2.6	
	КГ	ОЛ	КГ	ОЛ	КГ	ОЛ	КГ	ОЛ	КГ	ОЛ	КГ	ОЛ
Выборочное среднее	67,15	85,16	70,43	77,62	74,78	89,28	50,01	68,26	51,10	70,26	60,72	77,38
Выборочная дисперсия	307,77	242,79	117,81	215,85	291,44	194,68	745,14	649,04	300,96	454,45	103,29	216,83
Медиана	90,00	68,00	68,00	80,00	77,27	95,45	53,57	80,00	50,00	75,00	62,00	82,00
t-статистика	4,280		2,331		3,626		2,744		4,072		5,568	
Уровень значимости α	0,01		0,05		0,1		–		–		–	
t-критическое	2,382		1,668		1,294		–		–		–	

Примечение. КГ — контрольная группа, ОЛ — оперативное лечение

Приложение А10

Результаты статистического анализа в группе оперативного лечения до и после лечения

Статистический показатель	Обозначение раздела опросника											
	2.1		2.2		2.3		2.4		2.5		2.6	
	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
Выборочное среднее	52,48	85,16	60,59	77,62	64,32	89,28	31,06	68,26	43,59	70,26	53,62	77,38
Выборочная дисперсия	348,9	242,7	243,8	215,8	306,3	194,7	405,9	649,0	338,9	454,4	129,2	216,8
Медиана	56,25	68,00	60,71	80,00	66,00	95,45	30,00	80,00	41,67	75,00	54,00	82,00
t-статистика	9,012		5,330		7,480		7,683		6,352		8,567	
Уровень значимости α	0,01		0,05		0,1		–		–		–	
t-критическое	2,369		1,662		1,291		–		–		–	