

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ДИСТРАКЦИОННОГО ОСТЕОГЕНЕЗА НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У ДЕТЕЙ. КЛИНИКО-РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ



ЛОСЕВ Ф.Ф.,

член-корреспондент РАН, д.м.н., профессор, директор ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, заслуженный деятель науки Российской Федерации, cnis@cnis.ru



ШАПОВАЛОВ П.И.,

врач – челюстно-лицевой хирург отделения хирургического лечения аномалий черепно-челюстно-лицевой области ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, shapovalov_pi@cnis.ru



ХОДЯЧИЙ А.Е.,

к.м.н., врач-рентгенолог, ведущий отделением лучевых методов диагностики ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, dr_ho@mail.ru



КУЛАКОВ А.А.,

академик РАН, д.м.н., профессор, научный руководитель ФГБУ Национальный медицинский исследовательский центр «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России, заслуженный деятель науки Российской Федерации, kulakov@cnis.ru

Дистракционный остеогенез нижней челюсти широко применяется у детей с врождёнными и приобретёнными формами недоразвития нижней челюсти, позволяя постепенно удлинить кость и улучшить функцию нижней челюсти. Для планирования лечения все чаще используется 3D-моделирование, повышающее точность остеотомий и установки дистракторов. Однако в клинической практике возможны небольшие расхождения между расчетной (планируемой) и фактически достигнутой длиной челюсти из-за эластичности мягких тканей, реакции регенерата и других факторов. Поэтому настоящая работа посвящена определению степени соответствия предоперационного трёхмерного компьютерного планирования дистракции нижней челюсти у пациентов детского возраста.

Ключевые слова: нижняя челюсть, дистракционный остеогенез, 3D-планирование, точность, дети, ретроспективное исследование.

ASSESSMENT OF PRECISION OF THE DISTRACTION OSTEOGENESIS OF THE LOWER JAW IN CHILDREN. CLINICAL AND RADIOLOGICAL ANALYSIS

Losev F., Shapovalov P., Khodyachii A., Kulakov A.

Distraction osteogenesis of the lower jaw is widely used for the children with congenital or acquired forms of underdevelopment of the lower jaw, allowing gradual lengthening of the bone and improving of the mandibular functions. The treatment is increasingly planned with the use of 3D modelling, which improves precision of the osteotomies and distractor installing. However, in clinical practice minor discrepancies between the calculated (planned) and actually achieved

lengthening of the jaw are possible because of the soft tissues elasticity, reaction of the regenerate and other factors. That is why this work deals with assessing of the degree of compliance of the pre-surgical 3D computer planning of distraction osteogenesis of the lower jaw in children.

Key words: lower jaw, distraction osteogenesis, 3D planning, precision, children, retrospective study.

Введение

Дистракционный остеогенез (ДО) нижней челюсти – эффективный метод лечения детей с её недоразвитием, применяемый как при врождённых синдромах (Пьера Робена, Тричера Коллинза), краниофациальной микросомии (КФМ), так и при приобретённых деформациях (последствиях травм, анкилозе височно-нижнечелюстных суставов [ВНЧС]) [1, 2]. В отличие от ортогнатической операции ДО обеспечивает постепенное растяжение остеотомированных фрагментов нижней челюсти, стимулируя образование нового костного регенерата.

Классический темп дистракции составляет около 1 мм в сутки [15, 16], что эмпирически считается оптимальным компромиссом между скоростью остеогенеза и натяжением мягких тканей. Известно, что превышение темпа ($>1-2$ мм/сут.) чревато формированием слабого фиброзного регенерата или несращения [14], тогда как чрезмерно медленная активация ($<0,5$ мм/сут.) может привести к преждевременному окостенению остеотомированных фрагментов [16]. Таким образом, строгое соблюдение протокола ДО имеет решающее значение для успеха лечения.

В последние годы существенный прогресс достигнут в области компьютерного моделирования оперативных вмешательств на нижней челюсти. Широкое внедрение трёхмерного (3D) моделирования и виртуального планирования операций позволило значительно повысить точность коррекции челюстно-лицевых деформаций [3, 2]. С помощью компьютерных программ на основе данных мультисрезовой КТ (МСКТ) можно детально спланировать линию остеотомии, величину и направление перемещения фрагментов челюсти, а также смоделировать установку дистракционного аппарата под оптимальным углом.

Изготовленные индивидуальные хирургические шаблоны облегчают точное позиционирование дистрактора в соответствии с виртуальным планом. По дан-

ном литературы, применение такого Virtual Surgical Planning позволяет добиться отклонения фактического положения фрагмента от запланированного не более чем на 0,6–2 мм, что считается клинически приемлемой точностью [3]. Тем не менее даже при использовании современных технологий неизбежны незначительные расхождения между расчетными и фактическими результатами. На точность реализации плана влияют упругость и сопротивление мягких тканей, тракция жевательной мускулатуры, погрешности в определении линии остеотомии, точность установки аппарата и другие факторы [5, 6]. Поэтому актуальным является проведение клинических исследований, оценивающих реальную точность ДО в условиях применения компьютерно-томографического 3D-планирования и определяющих, насколько предсказуемо достижение запланированного удлинения челюсти и каков диапазон возможных отклонений.

Цель исследования

Определить степень соответствия предоперационного 3D-планирования дистракции нижней челюсти у детей, сравнив планируемую величину удлинения с фактически полученной величиной на основании данных клинико-рентгенологических сопоставлений.

Материалы и методы

Проведено одноцентровое клинико-рентгенологическое, статистическое исследование. В анализ включены 50 пациентов (дети и подростки 7–17 лет [средний возраст $\approx 13 \pm 2,8$ лет]) с недоразвитием нижней челюсти, которым в Клинике детской челюстно-лицевой хирургии ФГБУ НМИЦ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава России (ЦНИИСиЧЛХ) было выполнено лечение методом ДО.

Половина пациентов (25 чел.) имела врождённую патологию (КФМ и др.), остальные 25 чел. – приобретённые деформации (последствия травм и заболеваний, в том числе фиброзные и костные анкилозы ВНЧС).

Критерии включения: дети в возрасте до 18 лет с диагнозом «одностороннее или двухстороннее недоразвитие нижней челюсти», которым показано хирургическое удлинение нижней челюсти методом ДО.

Критерии исключения: отсутствие данных предоперационного моделирования или контрольной визуализации результатов по данным КТ.

Всем пациентам проведено стандартное обследование, включавшее фотопротокол, рентгенографию (ортопантомографию, телерентгенографию) и МСКТ челюстно-лицевой области с последующей 3D-реконструкцией черепа.

На основе МСКТ-данных осуществлено виртуальное планирование остеотомии и дистракции с использованием специализированного программного обеспечения («Бонабайт», Россия). Симулировалось перемещение медиального фрагмента нижней челюсти до оптимального положения (восстановление прикуса и лицевой симметрии). При двухстороннем недоразвитии нижней челюсти планировалось достижение возрастной нормы размера нижней челюсти. Расчётная *величина дистракции* определялась как разница между требуемой длиной отстающего фрагмента и его исходной длиной. Полученные плановые параметры использовались для изготовления индивидуальных операционных шаблонов, обеспечивающих установку дистракционного аппарата под заданным радиусом.

Хирургическое лечение выполнялось по общепринятой методике – остеотомия ветви и/или угла нижней челюсти с последующей фиксацией наkostenного дистрактора.

97 процентам пациентов были применены *криволинейные компрессионно-дистракционные аппараты* (с различным радиусом кривизны [40°, 50°, 70°, 100°]), позволяющие одновременно корректировать как горизонтальный, так и вертикальный компоненты деформации. Лишь в единичных случаях (3%) использовались прямолинейные аппараты (при ограниченном дефиците только длины тела нижней челюсти без выраженной вертикальной составляющей).

При двухсторонних деформациях была проведена *билатеральная дистракция*. Такие вмешательства выполнены 18 чел. Схема активации – стандартная: латентный период – 5–7 дней, затем – активация со скоростью 1 мм/сут. (по 0,5 мм 2 раза в день) при контроле состояния регенерата. У отдельных пациентов темп активации индивидуализировался в диапазоне 0,5–1,5 мм/сут. – в зависимости от темпов минерализации регенерата (оценка проводилась клинически по рентгенологическим признакам и по данным УЗИ-регенерата). Средняя планируемая величина удлинения нижней челюсти по группе составила $\approx 21 \pm 4,0$ мм. Причем значения варьировали от 15 мм (при умеренных деформациях) до 30 мм (при крайне тяжёлом двухстороннем недоразвитии нижней челюсти).

При необходимости планировалась этапная коррекция: например, у детей с синдромом Пьера Робена с выраженным двухсторонним дефицитом (>25 мм) первый этап дистракции проводился до нормализации функции дыхания, после чего (по мере роста ребёнка) планировалось выполнение повторной дистракции или ортогнатической коррекции во втором этапе лечения.

Для всех пациентов до операции и после завершения ДО использовался фотопротокол (фас, профиль, состояние окклюзии). Оценивались конфигурация лица, выраженность асимметрии, положение подбородка по отношению к срединной линии лица, величина сагиттальной щели и вертикального перекрытия. При необходимости фиксировались данные функциональных нарушений (дыхание, речь, жевание). Для объективизации девиации подбородка применялись линейные измерения по фотограмметрическим ориентирам, а для оценки прикуса – стандартные ортодонтические методы.

После завершения дистракционного периода и периода фиксации аппарата (средняя длительность фиксации $\approx 8 \pm 1,1$ мес.) проводилось контрольное КТ-исследование для оценки достигнутого результата. Большинству пациентов была выполнена *контрольная МСКТ* с 3D-реконструкцией, по которой измерялись итоговые линейные размеры нижней челюсти (аналогично предоперационным измерениям).

На основании контрольных измерений вычислялась *фактическая величина удлинения* – разница между длиной фрагмента нижней челюсти после лечения и исходной длиной до операции. Для каждого исследуемого было, таким образом, получено две величины: планируемая (по 3D-реконструкции) и фактически достигнутая (по контрольным данным). Точность *планирования* оценивалась через разность этих величин (планируемая минус фактическая, мм) и относительное отклонение (% от планируемой длины). Абсолютные значения отклонения характеризовали величину ошибки независимо от направления (недобор или перебор длины). Дополнительно отмечалось, потребовались ли иные вмешательства для полной коррекции деформации.

Собранные данные обрабатывались методами описательной статистики с расчетом средних значений (M), стандартного отклонения (σ) и диапазона (\min – \max). Проверка распределения на нормальность показала соответствие выборки критерию Шапиро–

Уилка ($p > 0,05$). Сравнение планируемых и фактических величин удлинения проводилось с использованием парного t-теста Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Так же рассчитывался коэффициент корреляции Пирсона (r) между плановой и фактической длинами регенерата для оценки степени взаимосвязи.

Данные были сгруппированы и проанализированы как по всей выборке, так и по подгруппам:

- пациенты с врождённой и с приобретённой этиологией деформации (для проверки влияния этиологического фактора на точность);

- пациенты, перенёвшие повторную distraction (для оценки результатов двухэтапного лечения).

Статистический анализ выполнен с использованием пакета статистики SPSS 26.0.

Результаты

Были проанализированы данные всех пациентов (50 чел.), включенных в исследование. Все прошли лечение методом ДО, и была получена достаточная информация для оценки точности планирования.

У 48 чел. (94%) запланированная коррекция деформации выполнена полностью за один курс ДО; 3 больным (6%) из-за тяжести состояния применена повторная distraction спустя некоторое время после первой.

Общие клинические исходы лечения были удовлетворительными для всех пациентов: достигнуты значимое удлинение нижней челюсти, улучшение окклюзии и профиля лица. Серьёзных интра- и послеоперационных осложнений не отмечено. Нескольким пациентам с исходно выраженным двухсторонним недоразвитием после ДО потребовалась дополнительная ортодонтическая коррекция прикуса. В единичных случаях при достижении роста планировалась заключительная ортогнатическая операция для окончательного устранения остаточных дефектов.

Сравнение плановых и фактических параметров удлинения

Фактическая величина distraction статистически не отличалась от расчётной: среднее планируемое удлинение составило $21,7 \pm 4,0$ мм, фактически достигнутое – $21,8 \pm 4,1$ мм ($p = 0,88$). Средняя разница между планируемой величиной и результатом составила $0,03 \pm 1,3$ мм. У 96% пациентов отклонение не превышало 2 мм, у 68% – 1,5 мм. Планируемое удлинение по группе

равнялось $21,7 \pm 4,0$ мм ($M \pm \sigma$), а фактически достигнутая длина – $21,8 \pm 4,1$ мм.

Среднее отклонение оказалось крайне малым: $+0,03$ мм (положительное значение указывает, что в среднем фактический результат незначительно превысил планируемый) при стандартном отклонении 1,3 мм. Иными словами, в среднем *планируемая и достигнутая длины совпали с точностью до сотых долей миллиметра*, а разброс индивидуальных погрешностей составил $\approx 1-2$ мм.

Статистический тест подтвердил отсутствие значимой разницы между планируемыми и фактическими величинами по выборке в целом (парный t-тест: $p = 0,88$), то есть нулевое отклонение (совпадение планируемой величины к фактически полученному приросту костной ткани) не противоречит полученным данным; r между запланированной и достигнутой длинами нижней челюсти $\approx 0,95$ ($p < 0,001$), что свидетельствует об очень сильной прямой взаимосвязи: чем большее удлинение запланировано, тем большее удлинение фактически получено (пропорционально плану).

Ниже представлен график рассеяния, сравнивающий индивидуальные планируемые и фактические значения удлинения у всех 50 пациентов с завершённым лечением: точки располагаются близко к линии идентичности (биссектрисе), отражая высокое соответствие полученного результата запланированному (рис. 1, с. 6).

Как видно из рисунка, в подавляющем большинстве наблюдений фактический результат очень близок к плановому. Для количественной оценки вычислена частота определённых диапазонов ошибки планирования. Анализ ее распределения показал, что у 39 чел. (78%) абсолютное расхождение между планируемой и фактической величинами удлинения не превышало 1,5 мм. В эту группу вошли 12 чел. (24%) с минимальной разницей 0,5–0,7 мм, что сопоставимо с точностью измерений на КТ. У 11 чел. (22%) отмечены наибольшие отклонения в пределах 1,5–2 мм, распредившиеся примерно поровну между превышением расчётной величины ($n = 5$; 10%) и её недобором ($n = 6$; 12%). Таким образом, у подавляющего большинства детей фактический результат статистически не отличался от планируемого: наиболее часто встречались отклонения порядка 0,5–1,0 мм, а распределение ошибки имело пик около нулевого значения и плавно убывало к краям диапазона (± 2 мм).

Кроме того, была проведена стратифицированная оценка точности планирования в различных группах пациентов.

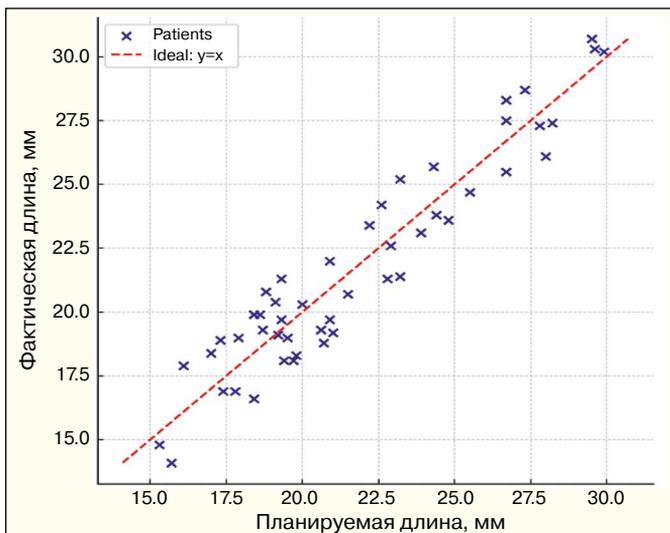


Рис. 1. Соотношение планируемой и фактически достигнутой величин distraction у каждого пациента (мм). Примечания. По оси абсцисс отложена планируемая по 3D-моделированию величина удлинения, по оси ординат – фактически достигнутая длина. Красная пунктирная линия обозначает идеальное совпадение – «планируемая=фактической». Синими крестиками отмечены результаты отдельных пациентов. Видно, что большинство точек группируется вдоль линии $y=x$ без существенного систематического отклонения в ту или иную сторону.

У пациентов с врождёнными деформациями (группа 1, $n=25$) среднее расхождение между запланированной и фактически достигнутой величиной удлинения составило $-0,04 \pm 1,1$ мм, а у лиц с приобретённой патологией (группа 2, $n=25$) – $-0,02 \pm 1,5$ мм. Полученные значения были практически идентичны; статистически значимых различий между группами не выявлено ($p=0,95$). Это указывает на то, что этиология недоразвития не оказывает достоверного влияния на точность планирования ДО: методика

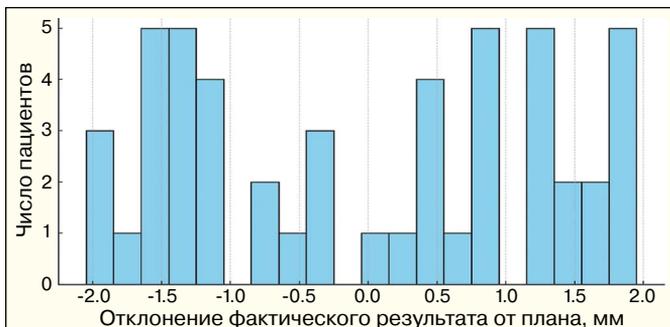


Рис. 2. Распределение ошибки планирования distraction. Примечания. Горизонтальная ось – величина отклонения фактически достигнутого результата от планируемого, мм (от отрицательных значений – к положительным; отрицательное значение свидетельствует, что достигнутая длина больше запланированной). Вертикальная ось – число пациентов с данным диапазоном ошибки. Гистограмма показывает, что у большинства больных погрешность планирования находится в интервале от $-1,5$ мм до $+1,5$ мм. Лишь в единичных случаях наблюдаются отклонения, близкие к граничным значениям (-2 мм или $+2$ мм).

предоперационного моделирования демонстрирует сопоставимые результаты как при синдромальных, так и при посттравматических состояниях. Не было установлено и значимой ассоциации между точностью и другими факторами (пол ребенка, тип применённого distractionного аппарата и др.), а наблюдаемые отклонения имели преимущественно случайный (индивидуальный) характер. Распределение ошибки планирования наглядно представлено на рис. 2.

В литературе подчёркивается, что при тяжёлых синдромальных формах недоразвития может быть оправдана многоэтапная тактика лечения, включающая повторные этапы ДО или ортогнатическую хирургию после заверше-

ния роста. Такой подход позволяет снизить риск осложнений, связанных с чрезмерным одномоментным удлинением нижней челюсти [5, 11]. Полученные в данном исследовании результаты подтверждают эти выводы: на рис. 3 (с. 7) представлено распределение планируемых и фактических величин distraction с почти полным совпадением медианных и средних значений в обеих группах.

Клинические итоги

По данным фотопротокола и клинической оценки, у 44 чел. (88%) отмечены улучшения профиля лица и восстановление симметрии нижней челюсти. Девиация подбородка уменьшилась с $4,2 \pm 1,8$ мм до $1,1 \pm 0,9$ мм ($p < 0,001$). Величина сагиттальной щели до лечения составляла $5,6 \pm 2,3$ мм, после лечения – $2,1 \pm 1,4$ мм ($p < 0,01$). Вертикальное перекрытие distraction изменилось с $4,0 \pm 1,7$ мм до $2,8 \pm 1,2$ мм ($p < 0,05$). В подгруппе пациентов с выраженной асимметрией ($n=18$) в 15 случаях (83%) удалось достичь почти полного восстанов-

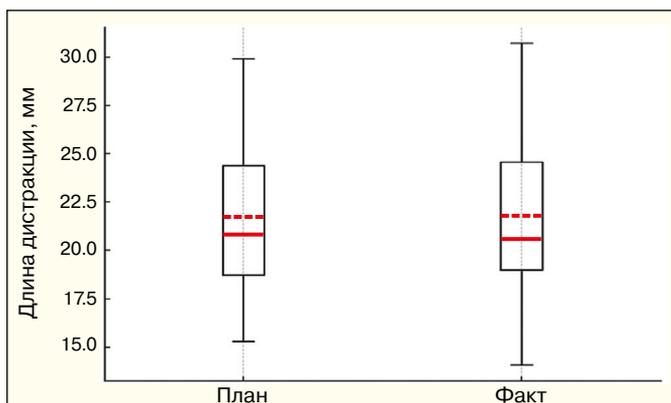


Рис. 3. Сравнение планируемой и достигнутой величин дистракции, вохplot (“ящик с усами”) инструмент для выявления ключевых характеристик распределения для распределения значений планируемого удлинения (слева – группа “планируемая величина”) и фактически достигнутого удлинения (справа – группа “фактическая величина”). **Примечания.** Прямоугольники отображают диапазон от 25-го до 75-го перцентиля (межквартильного размаха); горизонтальная линия внутри прямоугольника – медиана выборки; красная пунктирная линия – среднее значение; “усы” – минимальные и максимальные значения без учета выбросов. Рисунок демонстрирует почти полное совпадение медиан и средних значений в группах планируемой и фактической, а также схожую вариабельность результатов, что указывает на отсутствие существенной разницы между запланированной и достигнутой длинами.

ления симметрии по срединной линии. Осложнений, требующих неотложной хирургической коррекции, не наблюдалось. В 6 случаях (12%) после завершения дистракции проводилась дополнительная ортодонтическая коррекция прикуса.

Таким образом, в результате исследования было показано, что компьютерное планирование величины дистракции позволяет с высокой точностью предсказать фактический итог лечения. Во всех случаях достигнуто удлинение челюсти, близкое к расчётному, отклонения не превышали допустимых величин и не влияли на клинический исход.

Клиническая динамика подтверждает объективные данные: у большинства пациентов устранена девиация подбородка (с 4,2 до 1,1 мм), уменьшена сагиттальная щель (с 5,6 до 2,1 мм) и снижено вертикальное перекрытие (с 4,0 до 2,8 мм).

Полученные результаты обеспечили улучшение профиля лица и восстановление симметрии у 88% больных, при этом тяжёлые осложнения отсутствовали.

Обсуждение

В настоящем исследовании впервые в отечественной практике дана количественная оценка точности компьютерно-томографического 3D-планирования ДО нижней челюсти у детей на выборке клинических

наблюдений. Полученные результаты свидетельствуют, что современная методика виртуального планирования обладает исключительно высокой точностью. Средняя разница между планируемой и фактической (≈ 0 мм) оказалась статистически неотличимой от нуля, то есть практически хирургам удалось реализовать ровно ту длину удлинения, которая была запланирована при виртуальном моделировании.

Разброс индивидуальных ошибок (1–2 мм) невелик для челюстно-лицевой хирургии и сопоставим с имеющимися литературными данными. Так, *K. Chen et al.*, *V. Villamil et al.* сообщают о средних отклонениях порядка 0,6–1,9 мм при применении 3D-планирования и индивидуальных шабло-

нов остеотомии [3, 4]. В данной работе средняя ошибка моделирования составила менее 1 мм, при этом у 96% пациентов отклонения не превышали ± 2 мм, что подтверждает высокие точность и воспроизводимость метода. Отмеченные при статистическом усреднении различия порядка 0,1–0,5 мм имеют, скорее, теоретическое значение, поскольку клинически значимыми считаются расхождения, превышающие разрешающую способность МСКТ (0,3–0,6 мм) и варьирующие в пределах биологических особенностей костного регенерата.

Следует отметить, что современные исследования подчёркивают ценность МРТ у детей для более детальной оценки состояния ВНЧС и мягкотканых структур [20].

Верификация результатов повторными измерениями на КТ показала, что межисследовательские расхождения не превышали 1 мм [10, 11], что соответствует пределу воспроизводимости метода. Следует учитывать также технические ограничения: минимальный шаг активации дистрактора составляет 0,25 мм за четверть оборота винта, что определяет нижний предел практической точности. Дополнительным фактором являются микродвижения костных фрагментов при фиксации аппарата, которые вносят вклад в вариабельность результата и ограничивают возможность достижения субмиллиметровых значений.

Поэтому разница в несколько сотых миллиметра фактически означает полное совпадение планируемой величины к фактической. С учётом этого полученные авторами настоящей статьи данные позволяют заключить, что заданная при планировании величина удлинения воспроизводится в ходе лечения практически полностью. Интересно, что не было обнаружено систематической тенденции к недовыполнению или перевыполнению плана. Ранее некоторые специалисты указывали на риск недополучения длины при дистракции из-за сопротивления мягкотканых структур. В частности, *N. Bastidas* и *S. Bartlett* в своих первых клинических опытах с использованием криволинейного дистрактора наблюдали недобор горизонтального выдвигания на 8–14 мм у ряда пациентов [5]. Они пришли к выводу, что при планировании подобных случаев целесообразно закладывать гиперкоррекцию $\approx 10\text{--}15\%$ сверх требуемой длины, чтобы компенсировать тормозящее влияние мягких тканей.

В данном исследовании столь значительных расхождений «планируемой–фактической» не отмечено. Вероятно, это связано с тем, что авторы статьи изначально учитывали возможную потерю длины: при моделировании намеренно добавляли небольшой «запас» +2 мм к расчетной величине удлинения, если прогнозировалось сильное натяжение рубцово-изменённых тканей (например, у пациентов после устранения анкилоза ВНЧС). И данный эмпирический приём оправдал себя – во всех случаях длины хватало для достижения намеченного функционально-эстетического результата. Ни одному ребенку не потребовалось экстренное повторное вмешательство из-за недостаточного удлинения. Случаи повторной дистракции были плановыми этапными мероприятиями, а не следствием ошибки или неэффективности первого лечения.

Это подтверждается и литературными источниками: сообщается, что при тяжёлых синдромальных микрогнатиях после ДО в раннем возрасте окончательная коррекция часто проводится позже (после завершения роста) – при повторных этапах ДО или ортогнатических операциях [11, 12]. Так, *A. Rachmiel et al.* отмечают, что в 80–85% случаев у детей с синдромом Робена улучшение дыхательной функции и формы лица, достигнутое с помощью ДО, сохраняется в отдалённом периоде, а дополнительные вмешательства требуются лишь в 15–20% случаев (преимущественно у тя-

жёлых синдромальных пациентов) [2, 8]. Опыт авторов статьи этому соответствует: подавляющее большинство ($\approx 94\%$) пациентов обошлись одним этапом дистракции, и только в отдельных тяжёлых случаях понадобился повторный этап для полного устранения деформации.

Отдельно следует обсудить значимость выявленной погрешности планирования с клинической точки зрения. Среднее абсолютное отклонение в данном исследовании составило около 1,2 мм, что примерно равно толщине кортикальной пластинки и обычно не отражается на внешнем облике пациента. Даже максимальные расхождения (до 2 мм) были компенсированы за счёт ортодонтических мероприятий (коррекция прикуса) и не потребовали хирургической коррекции.

В клиническом плане точность порядка ± 1 мм можно считать отличным результатом для столь сложной области, как челюстно-лицевая хирургия [12, 13]. С использованием виртуального планирования и индивидуальных хирургических шаблонов фактическая длина удлинения статистически не отличалась от расчётной: среднее планируемое удлинение составило $21,7 \pm 4,0$ мм, фактически достигнутое – $21,8 \pm 4,1$ мм; средняя разница – $0,03 \pm 1,3$ мм (парный t-тест: $p=0,88$), $r \approx 0,95$ ($p < 0,001$). В 96% наблюдений $|\Delta| \leq 2$ мм, в 68% $|\Delta| \leq 1,5$ мм (данные настоящего исследования). Эти величины сопоставимы с опубликованными оценками точности VSP: при дистракции и реконструкции нижней челюсти средняя линейная погрешность между планируемой величиной и результатом составляла $\approx 0,64\text{--}1,90$ мм. По данным клинического исследования *K. Chen и др.*, систематические обзоры по ортогнатической хирургии также показывают средние линейные отклонения в пределах $\approx 0,5\text{--}2$ мм при использовании VSP [3].

Данный обзор указывает, что индивидуальные хирургические шаблоны повышают точность остеотомии и позиционирования аппаратов, что способствует снижению вероятности суммарной технической ошибки. Такие показатели вносят весомый вклад в повышение надёжности и привлекательности метода ДО для широкого применения. Хирург может обоснованно обещать пациенту и его родителям определённую степень коррекции и с высокой вероятностью выполнить обещанное.

Применение ультразвукового скальпеля при остеотомии в ходе дистракционного остеогенеза облегчает разрез кости и снижает риск повреждения мягких

тканей, повышая точность и безопасность вмешательства [6]

Настоящее исследование подтвердило, что высокая точность достигнута независимо от типа патологии и применённых вариантов лечения. Не выявлено значимых различий точности между врождёнными и приобретёнными деформациями, что говорит об универсальности разработанного подхода к планированию. Также не отмечено влияния таких факторов, как односторонний или двухсторонний характер удлинения, использование криволинейного или прямого дистрактора, объём удлинения и т.п.: во всех подгруппах результат воспроизводимо близок к расчётному. Это свидетельствует, что методика компьютерно-томографического 3D-планирования, принятая в детской клинике ЦНИИСиЧЛХ, является достаточно отработанной и стандартизированной. В её реализации участвует мультидисциплинарная команда (хирург, рентгенолог), что минимизирует вероятность технических ошибок и повышает обобщаемость результатов.

Показано, что после межмолярной дистракции нижней челюсти у растущих пациентов достигается хорошая скелетная стабильность, без значимых рецидивов в отдалённом периоде [7]

Подобный командный подход и интеграция цифровых технологий полностью соответствуют современным тенденциям развития челюстно-лицевой хирургии [17, 18] Обзор подчёркивает, что дистракционный остеогенез нижней челюсти остаётся ключевым методом при врождённых и приобретённых деформациях, но его эффективность зависит от техники и правильного отбора пациентов [9].

Эти данные согласуются с отечественными исследованиями. В частности, в докторской диссертации *Н.И. Имшенецкой* показано, что персонализированный комплексный подход с использованием современных методов визуализации и этапного хирургического лечения позволяет повысить предсказуемость коррекции при КФМ и снизить риск осложнений [19].

Заключение

Компьютерно-томографическое 3D-планирование ДО позволяет с высокой точностью реализовать заданную величину удлинения нижней челюсти у детей и подростков с её недоразвитием различной этиологии. В проведённом ретроспективном исследовании получено практически полное совпадение расчётных и фактических

результатов лечения: средняя разница составила $0,03 \pm 1,3$ мм и была статистически незначимой ($p=0,88$). У 39 детей (78%) абсолютное отклонение не превышало 1,5 мм, у 11 чел. (22%) – 1,5–2,0 мм. Таким образом, виртуальное планирование является надёжным инструментом прогнозирования исхода ДО. Преоперационная модель позволяет хирургу точно определить необходимый объём коррекции, а применение индивидуальных шаблонов обеспечивает воспроизведение плана на практике.

Систематической ошибки при планировании не выявлено: методика одинаково предсказывает результат как при относительно небольших удлинениях (10–15 мм), так и при больших (>20 мм), исключая тенденцию к недо- или перераздвижению фрагментов. Точность не зависела от этиологии и характера деформации, что подтверждает универсальность подхода.

Полученные результаты согласуются с данными зарубежных исследований и подтверждают целесообразность широкого внедрения цифрового 3D-планирования в практику челюстно-лицевой хирургии. Такой подход повышает предсказуемость и эффективность лечения, снижает риск осложнений и уменьшает потребность в повторных операциях.

В тяжёлых врождённых случаях оптимальной стратегией является многоэтапная тактика (повторная дистракция или ортогнатическая коррекция после завершения роста), позволяющая достичь стабильного функционального и эстетического результата.

Исследование показало, что сочетание клинико-лучевой диагностики, виртуального планирования, индивидуальных шаблонов и контролируемой дистракции обеспечивает точность до 1 мм и может рассматриваться как современный стандарт челюстно-лицевой хирургии у детей.

Клинические результаты подтверждают эффективность метода: у 88% пациентов отмечены улучшение профиля лица и восстановление симметрии нижней челюсти. Девиация подбородка достоверно уменьшилась, нормализовались показатели сагиттальной щели и вертикального перекрытия.

Литература

