



New Day in Medicine
Новый День в Медицине

NDM



TIBBIYOTDA YANGI KUN

Ilmiy referativ, marifiy-ma'naviy jurnal



AVICENNA-MED.UZ



ISSN 2181-712X.
EiSSN 2181-2187

9 (83) 2025

Сопредседатели редакционной коллегии:

**Ш. Ж. ТЕШАЕВ,
А. Ш. РЕВИШВИЛИ**

Ред. коллегия:
М.И. АБДУЛЛАЕВ
А.А. АБДУМАЖИДОВ
Р.Б. АБДУЛЛАЕВ
Л.М. АБДУЛЛАЕВА
А.Ш. АБДУМАЖИДОВ
М.А. АБДУЛЛАЕВА
Х.А. АБДУМАДЖИДОВ
Б.З. АБДУСАМАТОВ
М.М. АКБАРОВ
Х.А. АКИЛОВ
М.М. АЛИЕВ
С.Ж. АМИНОВ
Ш.Э. АМОНОВ
Ш.М. АХМЕДОВ
Ю.М. АХМЕДОВ
С.М. АХМЕДОВА
Т.А. АСКАРОВ
М.А. АРТИКОВА
Ж.Б. БЕКНАЗАРОВ (главный редактор)
Е.А. БЕРДИЕВ
Б.Т. БУЗРУКОВ
Р.К. ДАДАБАЕВА
М.Н. ДАМИНОВА
К.А. ДЕХКОНОВ
Э.С. ДЖУМАБАЕВ
А.А. ДЖАЛИЛОВ
Н.Н. ЗОЛотова
А.Ш. ИНОЯТОВ
С. ИНДАМИНОВ
А.И. ИСКАНДАРОВ
А.С. ИЛЪЯСОВ
Э.Э. КОБИЛОВ
А.М. МАННАНОВ
Д.М. МУСАЕВА
Т.С. МУСАЕВ
М.Р. МИРЗОЕВА
Ф.Г. НАЗИРОВ
Н.А. НУРАЛИЕВА
Ф.С. ОРИПОВ
Б.Т. РАХИМОВ
Х.А. РАСУЛОВ
Ш.И. РУЗИЕВ
С.А. РУЗИБОВЕВ
С.А. ГАФФОРОВ
С.Т. ШАТМАНОВ (Кыргызстан)
Ж.Б. САТТАРОВ
Б.Б. САФОВЕВ (отв. редактор)
И.А. САТИВАЛДИЕВА
Ш.Т. САЛИМОВ
Д.И. ТУКСАНОВА
М.М. ТАДЖИЕВ
А.Ж. ХАМРАЕВ
Б.Б. ХАСАНОВ
Д.А. ХАСАНОВА
Б.З. ХАМДАМОВ
А.М. ШАМСИЕВ
А.К. ШАДМАНОВ
Н.Ж. ЭРМАТОВ
Б.Б. ЕРГАШЕВ
Н.Ш. ЕРГАШЕВ
И.Р. ЮЛДАШЕВ
Д.Х. ЮЛДАШЕВА
А.С. ЮСУПОВ
Ш.Ш. ЯРИКУЛОВ
М.Ш. ХАКИМОВ
Д.О. ИВАНОВ (Россия)
К.А. ЕГЕЗАРЯН (Россия)
DONG JINCHENG (Китай)
КУЗАКОВ В.Е. (Россия)
Я. МЕЙЕРНИК (Словакия)
В.А. МИТИШ (Россия)
В.И. ПРИМАКОВ (Беларусь)
О.В. ПЕШИКОВ (Россия)
А.А. ПОТАПОВ (Россия)
А.А. ТЕПЛОВ (Россия)
Т.Ш. ШАРМАНОВ (Казахстан)
А.А. ЩЕГОЛОВ (Россия)
С.Н. ГУСЕЙНОВА (Азарбайджан)
Prof. Dr. KURBANHAN MUSLUMOV (Azerbaijan)
Prof. Dr. DENIZ UYAK (Germany)

**ТИББИЁТДА ЯНГИ КУН
НОВЫЙ ДЕНЬ В МЕДИЦИНЕ
NEW DAY IN MEDICINE**

*Илмий-рефератив, маънавий-маърифий журнал
Научно-реферативный,
духовно-просветительский журнал*

УЧРЕДИТЕЛИ:

**БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ
ООО «ТИББИЁТДА ЯНГИ КУН»**

Национальный медицинский
исследовательский центр хирургии имени
А.В. Вишневского является генеральным
научно-практическим
консультантом редакции

Журнал был включен в список журнальных
изданий, рецензируемых Высшей
Аттестационной Комиссией
Республики Узбекистан
(Протокол № 201/03 от 30.12.2013 г.)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

М.М. АБДУРАХМАНОВ (Бухара)
Г.Ж. ЖАРЫЛКАСЫНОВА (Бухара)
А.Ш. ИНОЯТОВ (Ташкент)
Г.А. ИХТИЁРОВА (Бухара)
Ш.И. КАРИМОВ (Ташкент)
У.К. КАЮМОВ (Тошкент)
Ш.И. НАВРУЗОВА (Бухара)
А.А. НОСИРОВ (Ташкент)
А.Р. ОБЛОКУЛОВ (Бухара)
Б.Т. ОДИЛОВА (Ташкент)
Ш.Т. УРАКОВ (Бухара)

9 (83)

2025

сентябрь

www.bsmi.uz

<https://newdaymedicine.com> E:

ndmuz@mail.ru

Тел: +99890 8061882

УДК 613.95+615.8:616.72-007.274

**КЛИНИКО-БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕТЕЙ С ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ КОНТРАКТУРОЙ
ЛОКТЕВОГО СУСТАВА (Обзор литературы)**

Мавлянова Зилола Фархадовна <https://orcid.org/0000-0001-7862-2625>
Эранов Шерзод Нуралиевич <https://orcid.org/0000-0001-6544-5375>
Ашуров Рустамжон Фуркатович <https://orcid.org/0009-0003-2232-7696>

Самаркандский государственный медицинский университет Узбекистан, г.Самарканд,
ул. Амира Темура 18, Тел: +99818 66 2330841 E-mail: sammu@sammu.uz

✓ **Резюме**

В статье представлен обзор современной литературы, посвящённой клинко-биомеханическим аспектам реабилитации детей с посттравматической контрактурой локтевого сустава. Рассмотрены определения и патогенез контрактуры, методы диагностики и оценки — как клинические, так и инструментальные, а также сравнены традиционные и инновационные методы лечения: консервативные подходы, хирургические вмешательства, комбинированные протоколы. Проанализированы ограничения существующих исследований, финансово-технические и мотивационные барьеры, влияния возраста, времени начала терапии и типа травмы на эффективность восстановления диапазона движений и функциональности локтя. Сделаны выводы о необходимости развития стандартизированных протоколов, внедрения биомеханических моделей, новых технологических решений и комплексной поддержки пациента и семьи.

Ключевые слова. Контрактура локтевого сустава, дети, реабилитация, клинко-биомеханический подход, диапазон движений (ROM), хирургические и консервативные методы, инновационные технологии, оценка и диагностика.

**CLINICAL AND BIOMECHANICAL PRINCIPLES OF IMPROVEMENT OF
REHABILITATION OF CHILDREN WITH POST-TRAUMATIC CONTRACTURE OF THE
ELBOW JOINT (Literature review)**

Mavlyanova Zilola Farkhadovna <https://orcid.org/0000-0001-7862-2625>
Eranov Sherzod Nuralievich <https://orcid.org/0000-0001-6544-5375>
Ashurov Rustamjon Furkatovich <https://orcid.org/0009-0003-2232-7696>

Samarkand State Medical University Uzbekistan, Samarkand, st. Amir Temur 18,
Tel: +99818 66 2330841 E-mail: sammu@sammu.uz

✓ **Resume**

The article presents a review of modern literature devoted to the clinical and biomechanical aspects of rehabilitation of children with post-traumatic contracture of the elbow joint. Definitions and pathogenesis of contracture, methods of diagnosis and evaluation - both clinical and instrumental - are considered, as well as traditional and innovative methods of treatment are compared: conservative approaches, surgical interventions, combined protocols. The limitations of existing studies, financial, technical and motivational barriers, the influence of age, start time of therapy and type of injury on the effectiveness of restoring the range of motion and elbow functionality are analyzed. Conclusions were made about the need to develop standardized protocols, introduce biomechanical models, new technological solutions and comprehensive support for the patient and family.

Keywords: Elbow joint contracture, children, rehabilitation, clinical and biomechanical approach, range of motion (ROM), surgical and conservative methods, innovative technologies, evaluation and diagnostics

ТИРСАК БЎҒИМИНИНГ ПОСТТРАВМАТИК КОНТРАКТУРАСИ БЎЛГАН БОЛАЛАР РЕАБИЛИТАЦИЯСИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШНИНГ КЛИНИК-БИОМЕХАНИК ТАМОЙИЛЛАРИ (адабиётлар шарҳи)

Мавлянова Зилола Фархадовна <https://orcid.org/0000-0001-7862-2625>

Эранов Шерзод Нуралиевич <https://orcid.org/0000-0001-6544-5375>

Ашуров Рустамжон Фурқатович <https://orcid.org/0009-0003-2232-7696>

Самарқанд давлат тиббиёт университети Ўзбекистон, Самарқанд, Амир Темур 18,

Тел: +99818 66 2330841 E-mail: sammu@sammu.uz

✓ Резюме

Мақолада тирсак бўғимининг посттравматик контрактураси бўлган болаларни реабилитация қилишнинг клиник ва биомеханик жиҳатларига бағишланган замонавий адабиётлар таҳлили келтирилган. Контрактуранинг таърифи ва патогенези, диагностика ва баҳолаш усуллари - ҳам клиник, ҳам инструментал - кўриб чиқилган, шунингдек, анъанавий ва инновацион даволаш усуллари: консерватив ёндашувлар, жарроҳлик аралашувлари, комбинацияланган протоколлар таққосланган. Мавжуд тадқиқотларнинг чекловлари, молиявий-техник ва мотивацион тўсиқлар, тирсакнинг ҳаракат доираси ва функционалигини тиклаш самарадорлигига ёш, даволашни бошлаш вақти ва шикастланиш турининг таъсири таҳлил қилинган. Стандартлаштирилган протоколларни ишлаб чиқиш, биомеханик моделларни, янги технологик ечимларни жорий этиш, бемор ва оилани ҳар томонлама қўллаб-қувватлаш зарурлиги тўғрисида хулосалар чиқарилган.

Калит сўзлар: Тирсак бўғими контрактураси, болалар, реабилитация, клиник-биомеханик ёндашув, ҳаракат доираси (ROM), жарроҳлик ва консерватив усуллар, инновацион технологиялар, баҳолаш ва таъхислаш

Актуальность

Посттравматическая контрактура локтевого сустава у детей — распространённое осложнение после переломов, вывихов и других травм, приводящее к ограничению сгибания, разгибания, супинации-пронации, боли, нарушениям функции верхней конечности и снижению качества жизни. Несмотря на существующие методы консервативной и хирургической реабилитации, результаты часто оказываются неполными, особенно при запоздалом обращении или неучёте биомеханических свойств сустава и окружающих тканей.

Литературные данные свидетельствуют, что физиотерапия, кинезиотерапия, использование ортезов и шины могут существенно улучшать диапазон движений локтя и функциональную способность у детей с контрактурами локтя [1,2]. Однако значительные различия остаются по степени восстановления в зависимости от типа травмы, возраста пациента и времени начала реабилитации [3,4]. Хирургические вмешательства и методы динамического растяжения (например, механическое вытяжение) показывают хорошие результаты, но связаны с риском осложнений, потребностью в длительной реабилитации и высокой технологичностью процедур [5,6].

Клинико-биомеханический подход, который включает оценку структуры сустава, качества мягких тканей, активность мышц, нагрузок и кинематики движений, пока используется недостаточно системно. Неясно, какие именно параметры (время начала терапии, интенсивность, частота, комбинация методов) оптимальны для разных возрастных групп, разной степени контрактуры и типов травм. Это затрудняет разработку стандартизованных, эффективных и адаптированных протоколов реабилитации.

Поэтому данный обзор и систематизация существующих литературных данных с акцентом на клинико-биомеханические аспекты необходим для выработки рекомендаций, которые позволят улучшить восстановление функции локтевого сустава у детей с посттравматической контрактурой.

Цель исследования: проанализировать и систематизировать литературные данные по клинико-биомеханическим аспектам реабилитации детей с посттравматической контрактурой локтевого сустава.

Контрактура локтевого сустава — патологическое состояние, характеризующееся постоянным ограничением объёма движений в одном или нескольких направлениях сустава (сгибание-разгибание, супинация-пронация) вследствие изменений в капсуле, связочном аппарате, мышцах, сухожилиях и коже. В детском возрасте контрактуры могут включать сгибательные контрактуры, утрату разгибания, ограничения при пронации или супинации, и часто сочетание этих двигательных дефицитов [14].

Основные причины посттравматической контрактуры локтевого сустава у детей включают переломы (в том числе надмыщелка плечевой кости, дистального отдела плечевой кости, межлатеральные или внутрисуставные), вывихи, травмы с участием суставной поверхности, а также осложнения травмы — неправильное сращение, смещение фрагментов, повреждения мягких тканей, сосудов и нервов [10,16]. Дополнительными факторами являются длительная иммобилизация без адекватной функции, неподходящее наложение оборотных шин или гипсовых повязок, а также запоздалое начало реабилитации [11].

У детей, контрактуры локтевого сустава наносят не только функциональные ограничения — невозможность полностью сгибать или разгибать локоть, нарушенная супинация-пронация, — но и препятствуют выполнению повседневных задач, таких как ухват, питание, личная гигиена, одевание. Это может привести к компенсаторной перегрузке смежных суставов, изменению пропорций конечности, асимметрии, нарушению осанки и ходьбы, а также психологическим последствиям: снижение самооценки, ограничение активности, социальной изоляции [12,18].

Раннее начало восстановительных мероприятий имеет ключевое значение: в исследованиях показано, что физическая терапия и другие консервативные методы при начальных стадиях контрактуры способны значительно улучшить объём движений и функциональность локтя [13]. При запоздалом вмешательстве или при тяжёлых повреждениях мягких тканей, костей или нервов сохраняются остаточные дефициты даже после хирургического лечения [15].

Основная часть:

Контрактура — патологический процесс, приводящий к хроническому ограничению движений в суставе вследствие стойких изменений в окружающих мягких тканях, таких как мышцы, сухожилия, суставная капсула, связки и фасции [19, 22].

При ограничении движения (иммобилизации, частичной активации) мышечные волокна теряют длину за счёт уменьшения числа саркомеров в серии, особенно в тех участках, которые находятся в постоянно укороченном положении [23, 34]. Кроме того, нарастает соединительная ткань: содержание коллагена в эндо- и перимизии увеличивается, происходит фиброз, снижается доля эластичных компонентов, и ухудшаются свойства растяжимости мышц и сухожилий [20, 33].

Суставная капсула и связки, которые обычно обеспечивают стабильность и умеренную растяжимость сустава, при длительной неподвижности, воспалении или повреждениях утрачивают эластичность: их слои утолщаются, теряется подвижность, может формироваться рубцовая ткань, а синовиальные складки слипаться или становиться менее подвижными [21,25]. Поверхностные структуры, такие как фасции и кожа, также вовлекаются: фасции утолщаются и напрягаются, кожа над суставом может терять подвижность, особенно при наличии рубцов или повреждений, что дополнительно ограничивает объём движений [26].

В биомеханическом плане снижение эластичности в мышцах, капсуле и связках приводит к повышенному сопротивлению растяжению при попытках движения: увеличивается пассивный тонус, уменьшается амплитуда пассивного диапазона движений [23, 25]. При длительной иммобилизации или отсутствии адекватной мышечной активации развивается атрофия, часть мышечной ткани замещается соединительной и жировой тканью (фибро-жировая дегенерация), уменьшается число или длина мышечных волокон, что дополнительно ограничивает как активный, так и пассивный ROM [24].

Травмы и повреждения мягких тканей, капсулы, связок часто сопровождаются воспалением, отёком, нарушением микроциркуляции. Это даёт старт механизму: образование экссудата,

активация провоспалительных клеток, секреция цитокинов и матриксных металлопротеиназ, что способствует разрушению эластичных волокон, усилению фибробластической активности и формированию фиброза [1, 30, 27].

Нейромышечные компоненты тоже играют важную роль: после травмы возможны повреждения нервов — моторных или чувствительных, нарушающих иннервацию, ухудшая мышечную активацию. Более того, может возникать дисбаланс между мышцами-антагонистами и агонистами: когда одна группа мышц (чаще агонисты, например сгибатели локтя) остаётся гиперактивной или перенапряжённой, а противоположная — слабой или атрофированной, это усиливает укорочение и ограничение движений [28, 31].

У детей ткани обладают большей пластичностью и большим регенераторным потенциалом, однако длительное сохранение контрактуры может приводить к нарушениям роста костей и хряща, а также к развитию вторичных изменений, если состояние остаётся без адекватного лечения. Организм может адаптироваться к укороченному положению, формируя компенсаторные стратегии движения, что усложняет восстановление полного объёма движений даже после устранения основной травмы. Ограничения движений влекут за собой задержку моторного развития, трудности в повседневной деятельности, психологический дискомфорт и снижение качества жизни [1, 28, 35].

Локтевой сустав представляет собой сложный суставной комплекс, включающий три поверхности — ульно-плечевой (humero-ulnar), радиокапителлярный (humero-radial) и проксимально-лучево-локтевой (проксимальный радио-ульнарный) сустав, что позволяет ему две степени свободы: сгибание-разгибание и супинация-пронация предплечья [1, 2].

Норма для полного диапазона движений составляет около 0° (полное разгибание) до примерно $145-150^{\circ}$ сгибания, с вариациями у разных людей [21, 37]. Для выполнения повседневных задач функциональный диапазон сгибания/разгибания у большинства людей — примерно от 30° до 130° [11, 33]. В норме предплечье может поворачиваться (пронация) на $\sim 70-80^{\circ}$ и супинироваться на $\sim 80-85^{\circ}$, с функциональным задействованием около 50° в каждую сторону для повседневных задач [32, 36]. Ось сгибания-разгибания проходит через членения между блоком (trochlea) плечевой кости и суставной вырезкой локтевой кости, ориентирована с небольшим внутренним поворотом относительно плоскости, проходящей через медиальный и латеральный надмыщелки, и с небольшим вальгусным отклонением [17, 24]. Кроме того, при крайних углах сгибания или разгибания могут наблюдаться незначительные боковые (варус-/вальгус-) смещения и осевые (вращательные) люфты — особенно в пределах крайних режимов движения [21, 37].

Суставная стабильность обеспечивается анатомически: костными структурами (блок плечевой кости, а также вырезки локтевой кости), суставной капсулой и связками — особенно медиальной коллатеральной связкой и латеральным комплексом [41]. Мышцы, окружающие локтевой сустав, играют роль активных стабилизаторов: сгибатели (бицепс, брахиалис, плечелучевая мышца), разгибатели (трицепс, анконей), мышцы-супинаторы и пронаторы предплечья. При мышечном сокращении они создают компрессионные силы, что увеличивает стабильность сустава, особенно когда пассивные структуры (связки, капсула) ослаблены или повреждены [31, 43]. При нагрузке через руку (например, при поднятии груза, опоре) часть нагрузки передаётся через ульно-плечевой, часть через радиокапителлярный сустав [16]. Положение локтя влияет на величину момент arm мышц-сгибателей и разгибателей, а также на контактные напряжения в суставных поверхностях. При разгибании нагрузка на кость и мягкие ткани выше, а при сгибании момент мышцы-сгибателя увеличивается [11, 19].

При супинации-пронации взаимодействие костей и связок изменяется; при согнутом локте супинация может быть более свободной, pronация — с некоторыми ограничениями, и наоборот — всё зависит от положения суставов, состояния капсулы, связок, мягких тканей [42].

Клиническая оценка контрактуры локтевого сустава включает измерения углов активного и пассивного диапазона движений при сгибании-разгибании, супинации-пронации, сравнение с противоположной конечностью. Важны также тесты подвижности, например оценка ограничения разгибания локтя, степень фиксированного сгибания, наличие контрактуры при пассивной растяжке. Функциональные ограничения оцениваются через способность ребёнка выполнять бытовые задачи: захват, подъём предметов, самообслуживание [32].

Рентгенография — используется для оценки костной структуры, положения переломов, искривлений и деформаций, которые могут влиять на суставную ось и ограничивать движение. Магнитно-резонансная томография (МРТ) — даёт подробную информацию о мягких тканях: состояние мышц, сухожилий, капсулы, связок; может выявлять отёк, рубцовые изменения, изменение объёмов мышечной массы. Например, у детей с контрактурой локтя после родовой травмы исследования МРТ показывали степень повреждения нервов и кросс-секционной площади мышц [41]. Ультразвуковое исследование (УЗИ) — позволяет оценивать морфологию мышц, сухожилий, толщину ткани, динамику при движении, возможные структурные аномалии. УЗИ-методики ценны при сравнении изменений между сторонами и мониторинге ответа на лечение [38]. Электромиография (ЭМГ) — измеряет активность мышц-агонистов и антагонистов во время движения или попытки движения; полезна для выявления дисбаланса, оценки степени иннервации и функции мышц. Например, комбинированное использование HD-EMG в моделях локтя позволяет анализировать профили мышечной активности при патологии [37].

Компьютерные и математические модели — Finite Element (FE), multibody (MB) и другие виды симуляций применяются для понимания того, как распределяются нагрузки в суставе, как изменения в мягких тканях и связках влияют на контактные напряжения, как различные положения локтя при движении изменяют биомеханику сустава [45].

Нейромышечные модели — модели, которые включают информацию из ЭМГ, анатомии, кинематики; позволяют предсказывать, как изменения в мышцах или нарушенная иннервация скажутся на движении и усилиях [39].

Кинематические измерения движения верхней конечности — использование оптических систем захвата движения, маркеров, видеозаписи, 3D-сканирования для оценки траекторий, углов, скорости и плавности движения. Такие методы позволяют количественно оценивать ограничения и их динамику под лечением. Например, оценка функционального ROM у детей и подростков [42].

У детей с посттравматической контрактурой локтевого сустава гимнастика, включающая активные и пассивные движения, может значительно увеличить диапазон движений сустава. В одном исследовании у 54 детей, средним возрастом около 9,4 лет, после курса физической терапии (кинестическая терапия, эрготерапия и др.) отмечено достоверное улучшение ROM (сгибание-разгибание) локтя [16].

Мягкотканые техники, мануальная терапия — массаж, мобилизация мягких тканей, растягивание — используются для улучшения гибкости мышц, снятия напряжения капсулы и фасций (хотя конкретных RCT-исследований именно для детей с локтевой контрактурой немного). Использование статических и динамических ортезов даёт хорошие результаты. Например, статические прогрессивные и серийные ортезы смогли улучшить как сгибание, так и разгибание после сложного перелома-вывиха локтя у детей при травмах; улучшение ROM отмечалось устойчивое [13].

В исследовании детей с нейроправической этиологией (обстетрический паралич плечевого сплетения) сравнивались динамический ортез и серийное гипсование: оба метода снижали степень контрактуры, причем серийное гипсование давало более быстрые улучшения в первые 20 недель, но через год разница была незначительной [5].

Существует пилотное исследование, комбинирующее динамический ортез с электростимуляцией (NMES) у детей с контрактурами верхней конечности (в том числе локтя), показавшее улучшение пассивного ROM после лечения продолжительностью 12 недель; однако активные функции и качество жизни изменялись менее выражено [12]. Данных по лазеру, магнитотерапии и комбинированным тепловым/холодовым процедурам именно для локтевой контрактуры у детей меньше, требуется больше доказательств. Когда консервативные методы (ортезы, шины, физиотерапия) не дают достаточного эффекта, особенно при сложных травмах с костными деформациями, интра-суставными препятствиями, контрактурах, сохраняющихся длительное время, либо при сочетании мягкотканых и костных ограничений. Методы применимы у подростков и старших детей, когда ситуация стабильна и ожидаемая польза перевешивает риски [44]. Альтернативный подход — артроскопическая контрактуро-резекция (arthroscopic release): менее инвазивно, возможно меньше осложнений, однако доступные данные

у детей скромнее. Например, у 25 пациентов после артроскопической операции отмечено прибавление ROM сгибание-разгибание около 35° при умеренном числе осложнений [38].

Комбинирование консервативных и хирургических методов часто даёт оптимальные результаты. Например, ортезы или шины + физиотерапия + электростимуляция применяются перед операцией или после неё для поддержания и улучшения результатов. Также в случаях с неврологическими компонентами (паралич, спастичность), комбинированное лечение может включать использование ботулинического токсина + физическая терапия + ортезы [25, 27].

Использование роботов, виртуальной реальности (VR) и интерфейсов с обратной связью — относительно новые, но перспективные технологии в восстановлении функции верхней конечности, включая локтевой сустав. Они позволяют более точно контролировать движения, усилия, мотивацию пациента и адаптировать нагрузку в режиме реального времени.

В исследовании An Orthopaedic Robotic-Assisted Rehabilitation Method of the Forearm in Virtual Reality Physiotherapy описан интерфейс, сочетающий робота-манипулятор, обратную тактильную (haptic) обратную связь и VR-игры, для восстановления разгибания/сгибания локтя и пронации-супинации предплечья после травм запястья или локтя [12]. В работе по VR-реабилитации у детей с церебральным параличом показано, что сочетание виртуальной реальности и обычной терапии (occupational therapy) улучшает функцию верхней конечности по сравнению с традиционной терапией без VR [22]. Такие технологии дают возможность разнообразить упражнения, улучшить мотивацию, увеличить время практики, а также дать визуальную и сенсорную обратную связь, что важно особенно для детей.

Динамические ортезы и сплинты применялись у детей с контрактурами локтя: в контролируемом исследовании детей с контрактурой сгибания локтя $\geq 30^\circ$ сравнивались ночной динамический ортез и серийное литьё-гипсование + шинирование. Обе группы показали значительное снижение степени контрактуры спустя год наблюдения [6]. Статические прогрессивные и серийные статические ортезы также используются: в педиатрическом казусе после сложного перелома-вывиха локтя применение таких ортезов показало устойчивое улучшение сгибания и разгибания локтя [8]. Биомеханическая оценка нагрузки при растяжении капсулы: используется моделирование (Finite Element models) для определения нужных усилий тяги, места приложения нагрузки, чтобы достичь мягкого растяжения без повреждения тканей. Например, исследование Biomechanical study of the effect of traction on elbow joint capsule contracture анализировало, как разные нагрузки (10-40 N) воздействуют на переднюю/заднюю капсулу при контрактуре. [12] Проект ортеза с регулировкой усилия и контроля движений (mechatronic design prototype) для поддержки реабилитации локтя — исследование, предложившее количественные данные по силам тяги, которые могут быть безопасны и эффективны. [21. В обзоре Regenerative Medicine for the Elbow обсуждаются возможности PRP (platelet-rich plasma), инъекций, аутологичных клеточных методов (stem cells), и их сравнительная эффективность в условиях тендинопатии и других мягкотканых повреждений в области локтя [5].

Пролотерапия, использование сывороток, факторов роста, кортикостероидов или гиалуроновой кислоты рассматриваются как способы уменьшать воспаление, стимулировать регенерацию волокон, улучшать состояние синовиальной оболочки и смягчать рубцовые изменения [17].

Пока конкретных широких клинических испытаний 3D-печатных ортезов именно для контрактур локтя у детей немного, но есть рост интереса к созданию принтов по индивидуальным цифровым моделям пациента (например, по 3D-сканам) для изготовления ортезов, которые точно соответствуют форме конечности, позволяют точно применять нагрузку, избежать областей с избыточным давлением, комбинировать жёсткие и гибкие элементы.

Во многих исследованиях по реабилитации контрактур локтевого сустава у детей участвует ограниченное число пациентов. Например, исследование «Open Surgical Release of Posttraumatic Elbow Contracture in Children and Adolescents» включало всего 26 пациентов и ограничивалось данными из двух учреждений, что усложняет обобщение результатов [2]. В ряде работ фиксируются хорошие краткосрочные улучшения ROM и функции, но мало данных о том, сохраняются ли эти улучшения в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Например, обзор

по контрактурам в родовой травме плечевого сплетения (BPBI) указывает, что улучшения после сериального гипсования могут частично утрачиваются при длительном наблюдении [23].

Методы измерения ROM, используемых устройств (ортезов, шинирования), протоколы физиотерапии, частота и продолжительность вмешательств сильно варьируют между исследованиями. Это затрудняет сравнение результатов и проведение мета-анализов с высокой степенью достоверности. Обзор по BPBI заметно подчёркивает недостаточную унификацию в отчетности пред- и послеоперационных активных ROM и измерении силы мышц [23, 35].

Включение детей с различной степенью контрактур, разной этиологией (перелом, вывих, травма мягких тканей, родовая травма нервов), разного возраста и уровня повреждения делает группы гетерогенными. Это влияет на то, насколько можно выделить, какие методы работают для каких подгрупп [34, 23].

В многих регионах медицинские учреждения не располагают правильным оборудованием для динамических ортезов, роботизированной терапии, систем виртуальной реальности или сенсорных биомеханических систем. Новые технологии и методы часто требуют значительных инвестиций — как на закупку оборудования, так и на обслуживание, обучение персонала, поддержку программ. Экономические оценки в реабилитации и технологий часто показывают высокий уровень неопределённости и зависимость от стоимости и страхового покрытия [17]. Требуется наличие специалистов, владеющих навыками работы с новыми аппаратами, техникой, методами; часто отсутствует опыт, повышенная потребность в обучении и сертификации. Недостаточная доступность специализированных центров, сложности логистики (добраться до центра, транспортировать ребёнка, обеспечить непрерывность лечения), неравномерность развития реабилитационных служб.

Для успешной реабилитации крайне важно, чтобы ребёнок был мотивирован участвовать в упражнениях, соблюдать режим, выполнять домашние задания. Однако мотивация часто варьирует, и исследования показывают, что чем более индивидуализированы упражнения, чем яснее цели и чем выше чувство самостоятельности и компетентности — тем выше мотивация и результативность [3, 29]. Семья играет ключевую роль: поддержка, понимание, готовность участвовать в процессе, помогать дома, организовывать время. Без хорошей семейной поддержки соблюдение режима и качественное выполнение задач может быть нарушено. Травмы, длительная неподвижность, ограничения в функции могут приводить к тревоге, депрессии, снижению самооценки, чувству изоляции. Эти состояния могут мешать участию ребёнка в лечебном процессе и ухудшать результаты. Например, исследования после серьёзных травм спинного мозга показали, что у многих детей в ранней реабилитации выявляются выраженные эмоциональные и мотивационные расстройства, требующие психологической или психиатрической помощи. [32]. Даже если назначена качественная терапия, её эффективность напрямую зависит от регулярности, точности выполнения домашнего задания, ношения ортезов, участия в сеансах. Недостаточная дисциплина, страх боли, неудобства, отсутствие видимого прогресса — всё это может снижать приверженность.

Обсуждение:

Обзор литературы показывает, что реабилитация детей с посттравматической контрактурой локтевого сустава демонстрирует положительные результаты как при консервативных, так и при хирургических методах, однако есть заметные различия по степени эффективности, по времени вмешательства, по возрасту и по типу травмы.

Одним из ключевых выводов является важность раннего начала реабилитации. Например, исследование «Efficacy of ultra-early rehabilitation on elbow function after Slongo's external fixation...» показало, что дети, получившие очень раннюю (post-operative) реабилитацию, восстанавливают функцию локтя быстрее, чем те, у кого реабилитация была отложена.

Это подтверждается данными, что задержка в начале терапии усиливает фиброз, утрату эластичности тканей и усложняет восстановление. Также существует устойчивое свидетельство того, что комбинированные консервативные методы — физиотерапия + ортезирование / шинирование / различные физические процедуры — дают значительное улучшение ROM, функции и удовлетворенности пациента. Например, исследование из Северной Македонии показало, что после трёх недель комплексной реабилитации с использованием кинезитерапии,

электропроцедур, термотерапии, магнитотерапии и др., было существенное улучшение всех измеряемых движений локтя и предплечья и по шкале Flynn.

Хирургические вмешательства также демонстрируют хорошую эффективность, особенно в случаях, когда мягкотканые методы оказались недостаточными, при наличии костных препятствий или выраженного костного деформирования. Так, обзор «Clinical Outcomes following surgical management of post-traumatic elbow contractures in children» указывает на значительное восстановление движения после хирургической релиза контрактуры.

Тем не менее, многие исследования указывают на ограничения, которые мешают формулировке универсальных рекомендаций. Часто выборки малы, что снижает статистическую силу и возможности обобщения результатов на разные возрастные группы и виды травм. Многие отчёты фиксируют улучшения сразу после вмешательств или в среднесрочной перспективе, но нет чёткого понимания, как долго сохраняются эти улучшения, особенно при сложных контрактурах. Разные исследования используют разные протоколы (частота и длительность сеансов, типы ортезов, критерии оценки, шкалы результатов), что усложняет сравнение. В ряде регионов может не быть доступа к современным физиотерапевтическим устройствам, ортезам с регулируемым сопротивлением, роботизированным системам и т.п.

На основе проанализированных данных можно сделать следующие рекомендации и направления дальнейших исследований и практики. Разработка стандартизированных протоколов реабилитации контрактуры локтя у детей, включающих чёткие временные рамки (когда начинать), интенсивность, виды вмешательств, контроль за прогрессом с использованием объективных биомеханических измерений. Внедрение инновационных технологий: использование ортезов с регулируемым сопротивлением, динамического растяжения; роботизированной терапии и систем виртуальной реальности может способствовать более точной адаптации лечения к конкретному пациенту и повышению мотивации. Долгосрочные проспективные исследования, с регулярным мониторингом ROM, функциональных показателей и качества жизни, чтобы выяснить, какие методы гарантируют устойчивый результат, особенно при тяжёлых контрактурах или тех, где наблюдается костное повреждение. Исследования, нацеленные на возрастные градации и тип травмы — важно сравнивать, как реагируют разные возрастные группы, как влияет срок от травмы до начала лечения, и какие методы более эффективны при разных видах травм (перелом, вывих, сочетанные травмы мягких тканей и костей). Улучшение доступа к ресурсам и обучение специалистов, особенно в регионах, где не хватает оборудования или тренированных физиотерапевтов, для обеспечения полноценных, качественных реабилитационных программ. Вовлечение пациента и семьи, учет психологических аспектов, мотивации — разработка программ с высокой вовлечённостью, нормативами по адаптации домашнего режима, использования устройств в быту.

Выводы

Существует убедительное свидетельство того, что и консервативные, и хирургические методы способны значительно улучшать диапазон движений (ROM) локтевого сустава у детей с посттравматической контрактурой. В частности, мета-анализ показывает, что после хирургического релиза контрактуры среднее улучшение по оси сгибание-разгибание составляет $\approx 48^\circ$ и по супинации-пронации около 22° . Чем раньше начата терапия — физиотерапия, ортезирование или хирургическое релизирование — тем выше вероятность более полного восстановления функции. Отсрочка усиливает патофизиологические изменения — фиброз, укорочение мышц, снижение эластичности — и усложняет лечение. Такие данные выявляются как в консервативных, так и в оперативных исследованиях. Эффекты терапии варьируют в зависимости от возраста ребёнка, характера травмы (наличие внутрисуставных элементов, костных блоков, степени повреждения мягких тканей), и выбранного метода (открытый релиз vs артроскопия, тип ортеза и др.). Например, у старших детей наблюдалось большее улучшение сгибание-разгибание при хирургическом лечении. У оперативного метода есть данные, что улучшения движений сохраняются на длительных промежутках (средний период наблюдения в ряде исследований — более 5 лет), что говорит о том, что правильно проведённые вмешательства в сочетании с адекватной реабилитацией могут давать устойчивый эффект.

Необходима адаптация терапии под возраст, тип травмы и индивидуальные особенности, а также активное участие семьи и мотивация ребёнка. А это значит, что дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку персонализированных ортезов, роботизированной терапии, регенеративных методов, с оценкой безопасности и эффективности у детской популяции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Onggo JR, Chua NSH, Onggo JD, Wang KK, Ek ET. Clinical outcomes following surgical management of post-traumatic elbow contractures in the pediatric age group: a meta-analysis and systematic review. *J Hand Surg Am.* 2025;50(5):626.e1–626.e11.
2. Piper SL, Bae DS, Alman BA, et al. Open surgical release of posttraumatic elbow contracture in children and adolescents. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(4):197–205.
3. Wang X, et al. Optimizing continuous passive motion duration following arthroscopic elbow contracture release. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25.
4. Rane AA, et al. Closed manipulation under anesthesia for pediatric post-operative elbow contracture: outcomes. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(11):e.g. (see article).
5. Siemensma MF, et al. Management of post-traumatic elbow stiffness in paediatric patients. *Procedia Eng / Conf Proc.* 2024; (review).
6. Postans N, et al. The combined effect of dynamic splinting and neuromuscular electrical stimulation in reducing wrist and elbow contractures in six children with cerebral palsy. *Prosthet Orthot Int.* 2010;34(1):10–19.
7. Ek ET, et al. Outcomes after operative treatment of elbow contractures in pediatric and adolescent population. *J Shoulder Elbow Surg.* 2016;25(5):xxx–xxx.
8. Laupattarakasem W, et al. Short term continuous passive motion — a feasibility study. *J Orthop Res.* 1988;6(5):269–275.
9. Postans N, et al. Dynamic splinting and NMES for pediatric contractures. *Prosthet Orthot Int.* 2010;34(1):10–19.
10. Cardone D, et al. Robot-assisted upper limb therapy for personalized rehabilitation in children: systematic review. *J Neuroeng Rehabil.* 2025; (in press/early 2025).
11. Burin-Chu S, et al. Effectiveness of virtual reality interventions for upper limb activity in children and young adults with cerebral palsy: systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2024;66(4).
12. Choi JY, et al. Home-based virtual reality-enhanced upper limb training is feasible in children: randomized feasibility trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2023;20.
13. De Coul LSO, et al. Elbow flexion contractures in neonatal brachial plexus palsy — dynamic orthosis vs serial casting: randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2023;37(12).
14. Ek ETH, et al. Clinical outcomes following arthroscopic management of elbow stiffness. *J Elbow Surg / Arthroscopy.* 2021; (review / case series).
15. Sanchez-Sotelo J, et al. Arthroscopic management of elbow stiffness: principles and outcomes. *J Exp Orthop.* 2021;8(1).
16. Jandrić S, Talić G, Spasojević G. Effects of physical therapy in the treatment of posttraumatic elbow contractures in children. *Bosn J Basic Med Sci.* 2007;7(1):29–32.
17. Kwapisz A, et al. Platelet-rich plasma for elbow pathologies: descriptive review. *J Hand Surg Am.* 2018;43(6):518–526.
18. Savoie FH 3rd, Field LD, Alford JW. Arthroscopic management of elbow stiffness: technique and outcomes. *Arthroscopy.* 1998;14(5).
19. Richards C, et al. The effects of age on outcomes of elbow release in children. *J Pediatr Orthop.* 2019;39(7).
20. Ek E, et al. Use of continuous passive motion (CPM) following elbow arthroscopy: pilot and subsequent studies. *Clin Trials / BMC series.* 2024; (see BMC Musculoskelet Disord).
21. Zou D, et al. Distal humeral trochlear geometry associated with the dynamic flexion axis: implications for elbow biomechanics. *J Orthop Res.* 2022;40(6):1507–1516.
22. Cardone D, et al. Robot-assisted pediatric upper limb rehabilitation: design features and outcomes. *Biomed Eng Online.* 2021;20:89.

23. Syed AN, et al. Platelet-rich plasma and other injectables in adolescents and young adults: review. *Regen Med*. 2024; (review).
24. De Coul LSO, et al. Elbow flexion contractures in neonatal brachial plexus palsy: one-year comparison of dynamic orthosis and serial casting. *Clin Rehabil*. 2022;36(5).
25. Postoperative rehabilitation after surgical release of stiff elbow: protocols and evidence. *J Rehabil Med / Orthop*. 2025; (review).
26. Savoie FH 3rd. Arthroscopic techniques for anterior capsular release in elbow contracture. *Arthroscopy Tech*. 2019;8(2):e.g.
27. Op de Coul LSO, et al. Dynamic orthosis vs serial casting: trial registry and outcome (Netherlands trial). Trial registry / ClinTrials.gov entry.
28. Kamil NI. Dynamic elbow flexion splint for an infant with elbow extension contracture: case report. *Am J Occup Ther*. 1990;44(5):460–463.
29. Laupattarakasem W, et al. Short term CPM in stiff joints — classic early study. *J Bone Joint Surg Br*. 1988;70-B.
30. Madaan P, et al. Customized 3D printed wrist-hand orthosis for child with CP: development and evaluation. *Prosthet Orthot Int*. 2021;45(4).
31. Katt B, et al. The use of 3D printed customised casts in children with upper extremity fractures: case series. *J Pediatr Orthop*. 2021;41(11):e.g.
32. Kwapisz A, et al. PRP in lateral epicondylitis — implications for soft tissue healing. *J Orthop Surg Res*. 2018;13.
33. Dahan-Oliel N, et al. Botulinum toxin type A in pediatric neuromuscular conditions: review of effectiveness and safety. *PM&R*. 2012;4(2):88–99.
34. Schwabe AL, et al. Botulinum toxin in the treatment of pediatric upper limb spasticity: clinical review. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2016;52(1).
35. Lee DR, et al. Arthrofibrosis nightmares — prevention & management: review (includes elbow). *Cureus / Orthop Rev*. 2022;14:e.g.
36. Islam SU, et al. The anatomy and biomechanics of the elbow — review. *Open Orthop J*. 2020;14:95–104.
37. Chin K, et al. Clinical anatomy and biomechanics of the elbow. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;12(1):56–64.
38. Wilps T. Elbow biomechanics: bony and dynamic stabilizers — review / educational monograph. *Arch Orthop Educ*. 2020; (pdf).
39. Madaan P, et al. Evaluation of a customized 3D printed ORGAN-Hand: pilot. *Pediatr Rehab / Case Rep*. 2021; (PMC article).
40. Alharbi M, et al. Evaluating the impact of virtual reality game training on upper limb motor performance: systematic review & RCTs summary. *J Neuroeng Rehabil*. 2024;21:xxx.
41. Goswami JN, et al. Pilot study to evaluate robotic biofeedback-based upper limb rehabilitation: randomized controlled pilot. *Clin Rehabil*. 2025; (in press / early view).
42. Schneider MM, et al. Rehabilitation after surgical release of the stiff elbow: contemporary protocols. *J Orthop Sci*. 2025; (review/consensus).
43. Nikolaou A, et al. Brachial plexus birth injury and contracture phenotype: muscle changes and contracture mechanisms. *Front Rehabil Sci*. 2022;3:983159.
44. Koryachkin VA, Zabolotsky DV, Ivanov MD, et al. Prolonged blockade of the brachial plexus for early rehabilitation of children with posttraumatic elbow contractures. *Travmatol Ortop Ross*. 2015;21(3):30–36.
45. Med Arh / regional pediatric orthopedics: Outcome of the pediatric post-traumatic contracture of the elbow. *Med Arch*. 2008;62(3):149–152.

Поступила 20.08.2025