

Клиническое наблюдение

УДК 616.717.2-001.59:[616.71-089.844+616.71-001.5-089.227.84+616.71-089.223]-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-3-380-387>

Серия клинических наблюдений лечения пациентов с гипотрофическими псевдоартрозами и дефектами диафиза ключицы с применением свободной аутопластики трансплантатом малоберцовой кости, минификсатора Илизарова и интрамедуллярного армирования

С.Н. Колчин✉, Д.С. Моховиков, Т.А. Малкова

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Николаевич Колчин, sergei.kolchin@gmail.com

Аннотация

Введение. Гипотрофические псевдоартрозы и дефекты являются тяжелыми осложнениями переломов ключицы, в связи с чем возникают вопросы при выборе оптимального метода лечения пациентов с данной патологией.

Цель работы — оценить эффективность использования новой технологии свободной аутопластики трансплантатом из малоберцовой кости с фиксацией мини-аппаратом Илизарова в сочетании с интрамедуллярным армированием спицей при лечении пациентов с гипотрофическими псевдоартрозами и дефектами средней трети ключицы.

Материалы и методы. В исследование включены 14 пациентов (11 женщин, 3 мужчин) с атрофическими псевдоартрозами и дефектами ключицы в возрасте ($34,1 \pm 2,8$) лет: 11 пациентов с посттравматическим несращением после неудачного хирургического лечения, из них 7 пациентов после множественных операций, и 3 пациента — с врожденным псевдоартрозом. До лечения у 5 (36 %) пациентов отмечены незначительные ограничения функции плечевого сустава, у 2 (14 %) — выраженная приводящая контрактура плечевого сустава. Средний размер дефекта ключицы составил ($3,1 \pm 0,2$) см. Хирургическое лечение включало ревизию межфрагментарного диастаза, резекцию концов отломков до кровотока костной ткани, пластику дефекта свободным ауотрансплантатом малоберцовой кости с последующей комбинированной фиксацией интрамедуллярной спицей и мини-аппаратом Илизарова. С целью стимуляции репарации в месте контакта фрагментов производили поддерживающую компрессию по 1 мм каждые две недели. Мини-фиксатор удаляли после рентгенологического подтверждения непрерывного сращения трансплантата с фрагментами ключицы.

Результаты. Средний срок внешней фиксации — ($159,9 \pm 11,9$) дней. Сращение достигнуто у 11 (79 %) пациентов. Во всех случаях после демонтажа аппарата объем движений в плечевом суставе сохранял дооперационные показатели. Зарегистрированные осложнения: миграция трансплантата, воспалительные мягких тканей, глубокая инфекция, боль в области донорского ложа. Воспаление мягких тканей купировали антибиотиками, в случае глубокой инфекции потребовалась оперативная хирургическая санация. Отдаленные результаты наблюдения получены у 13 (93 %) пациентов. В отдаленном периоде осложнений со стороны донорского ложа не зарегистрировано.

Обсуждение. Комбинация мини-фиксатора Илизарова и интрамедуллярного армирования позволяет осуществлять компрессию на стыке отломков ключицы и ауотрансплатата с целью стимуляции костеобразования и стабильной фиксации. Сочетание трех технических компонентов (аутопластика, мини-аппарат Илизарова, интрамедуллярное армирование) дает положительные результаты при лечении пациентов с обширными пострезекционными дефектами средней трети ключицы. После консолидации ауотрансплантата малоберцовой кости ключица приобретает схожую к норме рентгенологическую структуру.

Заключение. В данной серии клинических наблюдений с гипотрофическими псевдоартрозами и дефектами средней трети ключицы получены положительные результаты использования новой технологии, сочетающей применение аутопластики, мини-аппарата Илизарова и интрамедуллярного армирования.

Ключевые слова: диафиз ключицы, псевдоартроз, дефект кости, свободная аутокостная пластика, мини-аппарат Илизарова, интрамедуллярная фиксация

Для цитирования: Колчин С.Н., Моховиков Д.С., Малкова Т.А. Серия клинических наблюдений лечения пациентов с гипотрофическими псевдоартрозами и дефектами диафиза ключицы с применением свободной аутопластики трансплантатом малоберцовой кости, минификсатора Илизарова и интрамедуллярного армирования. *Гений ортопедии*. 2025;31(3):380-387. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-3-380-387.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2025-31-3-380-387>



A series of clinical observations of the treatment of patients with atrophic nonunion and defects of the clavicle midshaft managed with free fibular autografting, the Ilizarov mini-fixator and an intramedullary wire

S.N. Kolchin✉, D.S. Mokhovikov, T.A. Malkova

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Sergey N. Kolchin, sergei.kolchin@gmail.com

Abstract

Introduction Atrophic nonunion and defects is a rare complication of clavicle fractures. Therefore questions arise when choosing the optimal method of their treatment.

Purpose We aimed to retrospectively assess the effectiveness of treating atrophic clavicle midshaft nonunion and defects with a free fibular autologous graft fixed with the Ilizarov mini-fixator in combination with an intramedullary wire.

Materials and methods A retrospective study of 14 patients (11 females, 3 males) in the mean age of 34.1 ± 2.8 years with atrophic nonunion and defects of the clavicle was carried out. Eleven patients had post-traumatic nonunion after failures of its surgical treatment including seven cases of multiple surgeries, and three cases were congenital nonunion. Pain in the clavicle area was the main complaint in 13 patients. Five had minor restrictions in the shoulder joint function, and two had a pronounced adduction contracture of the shoulder joint. Surgical treatment included debridement, resection of the ends of the fragments to the paprika sign, defect plasty with a free autologous fibular graft followed by combined fixation with an intramedullary wire and the Ilizarov mini-fixator. Supportive compression of 1 mm every two weeks was produced at the junction of the fragments in order to stimulate repair. The mini-fixator was removed after radiographic confirmation of a continuous union of the graft with the fragments.

Results and discussion The post-resection defect averaged 3.1 ± 0.2 cm. Union was achieved in 11 cases. The average period in the mini-fixator was 159.9 ± 11.9 days. In all cases, after dismantling the device, the range of motion in the shoulder joint retained preoperative parameters. The complications were one graft migration, soft-tissue inflammation and deep infection (two cases). Soft-tissue inflammation was treated with antibiotics while deep infection required prompt debridement. Long-term results were followed in 13 patients. There were no problems with the donor site in the long term. The Ilizarov mini-fixator assisted by an intramedullary wire provides stable fixation and allows compression at the junction of bone fragments with a fibular autograft to stimulate bone formation and union in clavicle midshaft nonunion and defects.

Conclusion The combination of three technical components (autologous grafting, Ilizarov mini-fixator, intramedullary wire) yields positive results in the management of large post-resection defects of the clavicle midshaft. Upon graft consolidation, the clavicle acquires a near-to-normal radiographic bone structure.

Keywords: clavicle midshaft, nonunion, bone defect, free fibular grafting, mini-Ilizarov apparatus, intramedullary fixation

For citation: Kolchin SN, Mokhovikov DS, Malkova TA. A series of clinical observations of the treatment of patients with atrophic nonunion and defects of the clavicle midshaft managed with free fibular autografting, the Ilizarov mini-fixator and an intramedullary wire. *Genij Ortopedii*. 2025;31(3):380-387. doi: 10.18019/1028-4427-2025-31-3-380-387.

ВВЕДЕНИЕ

Переломы ключицы часто встречаются в практике ортопеда и составляют 2–5 % от всех переломов у взрослых и до 10 % у детей [1]. В настоящее время широко используется консервативное лечение пострадавших с переломами ключицы, в частности средняя треть ключицы поражается в 80 % случаев и эффективно лечится консервативно [1–3]. Однако в 15 % случаев при консервативном лечении пациентов с переломами со смещением возникает несращение или неправильное сращение ключицы [2–5]. Поэтому при открытых переломах, выраженном укорочении, переломах со смещением и угрозой перфорации кожи требуется оперативное лечение [3–5].

В настоящее время основными хирургическими методами лечения при переломах ключицы являются накостный остеосинтез пластиной и интрамедуллярный остеосинтез, несращение в результате которых составляет от 2,6 % до 5,9 % случаев [4–8]. Трудно оценить прямую зависимость между хирургическим вмешательством и частотой возникновения несращений. Однако очевидно, что неточную репозицию и нестабильность фиксации можно рассматривать как факторы, провоцирующие формирование псевдоартрозов.

В настоящее время наиболее популярной методикой оперативного лечения пациентов с псевдоартрозами ключицы является аутокостная пластика трансплантатом из крыла подвздошной кости в сочетании с остеосинтезом накостной пластиной [9, 10]. Необходимость широкой диссекции и скелетирования материковых фрагментов, бесспорно, является недостатком данной методики, а возможная боль в области донорского ложа после забора массивного трансплантата оказывается весьма негативным последствием. Применение васкуляризированных трансплантатов с других анатомических областей требует прецизионной хирургической техники, большого опыта хирурга и также является травматичным для донорского ложа [14, 15].

По данным литературы, чрескостный остеосинтез имеет высокую эффективность при гипер- и нормотрофических псевдоартрозах ключицы, однако не является единым подходом и не применяется при протяженных дефектах [6, 11–14].

Неудачные исходы всегда являются вызовом для хирургов и побуждают к поиску более эффективных способов лечения, особенно в случаях, когда даже повторное оперативное вмешательство оказалось не эффективным [14]. На сегодняшний день подход к хирургическому лечению несращений и дефектов ключицы не стандартизирован, а широкое использование внешней фиксации, как при переломах, так и при псевдоартрозах ключицы побудило нас к проведению данного исследования [6, 16].

Цель работы — оценить эффективность использования новой технологии свободной аутопластики трансплантатом из малолберцовой кости с фиксацией мини-аппаратом Илизарова в сочетании с интрамедуллярным армированием спицей при лечении пациентов с гипотрофическими псевдоартрозами и дефектами средней трети ключицы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 14 пациентов (11 женщин, 3 мужчин) с атрофическими псевдоартрозами и дефектами ключицы в возрасте ($34,1 \pm 2,8$) лет (табл. 1). До обращения в наше отделение все пациенты проходили оперативное лечение в других госпиталях. Посттравматические дефекты сформированы в 11 (79 %) случаях после лечения пациентов с закрытыми переломами ключицы с применением различных хирургических методик. Давность травмы варьировала от 1 до 24 лет. У трех пациентов (21 %) псевдоартрозы имели врожденный характер.

Поводом к обращению пациентов с врожденными псевдоартрозами становилось появление болевого синдрома или деформации в области ключицы в процессе роста ребенка. Семь пациентов ранее перенесли более одного вмешательства по поводу несращения. У одного пациента в анамнезе была глубокая инфекция с ремиссией более 1 года, на момент лечения активных признаков воспаления не было ни при клиническом обследовании, ни лабораторно (табл. 1, П-7). Болевой синдром разной степени интенсивности беспокоил 13 пациентов. Боли локализовались в области межфрагментарного диастаза и во многом были обусловлены постоянным раздражением мягких тканей о край проксимального костного отломка.

Предоперационная диагностика включала стандартное клиническое обследование с определением объема движений в плечевом суставе и рентгенологическое исследование в двух проекциях. Функция плечевого сустава была сохранена в полном объеме у семи пациентов. Пять пациентов имели легкое ограничение в отведении плеча (до 30° от общего объема движений), у двух пациентов отмечали выраженное ограничение функции плечевого сустава. По рентгенограммам в прямой и аксиальной проекциях осуществляли измерение размера дефекта, оценивали форму концов отломков и планировали предстоящий объем резекции замыкательных пластинок (рис. 1, а).

Таблица 1

Данные пациентов

Показатели	П-1	П-2	П-3	П-4	П-5	П-6	П-7	П-8	П-9	П-10	П-11	П-12	П-13	П-14	Среднее или %
Возраст (лет)	12	20	49	19	16	30	38	53	36	39	51	44	39	44	34,1 ± 2,8
Пол	Ж	Ж	Ж	Ж	Ж	М	Ж	Ж	Ж	Ж	М	М	Ж	Ж	76,8 % Ж
Этиология	ВП	ИП	ИП	ВП	ВП	ИП	ДТП	ДТП	ДТП	ИП	ИП	ДТП	ДТП	ИП	
Длительность заболевания (годы)	12	2	2	6	9	3	1	1	1	1	24	1	4	9	5,4 ± 1,2
Предыдущие операции	ИС	ПЛ ИС	ПЛ ИС ЧОС	ЧОС	ЧОС	ПЛ ИС	ПЛ ПЛ + КТ	ПЛ ПЛ + КТ	ЧОС	ПЛ	2 ПЛ ПЛ + КТ	ПЛ ПЛ + КТ	ИС	ИС	7 случаев с НПО
Костный дефект (см)	2	2	1,5	2	2,5	4	2,5	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3	5	3,1 ± 0,2
Время операции (мин.)	205	180	180	120	245	175	105	100	145	125	130	100	180	185	155,4 ± 10,0
Сращение	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	78,6 %
Период фиксации (дни)	144	216	183	123	124	168	183	105	121	166	178	163	147	175	159,9 ± 11,9
Контрольный осмотр (годы)	1	1	1	1	1	1	0,5	1,5	1	1	1	1	5	9	Отдаленный 92,9 %
Осложнения	-	МГ	НС	ВМТ вокруг спиц	ГИ	-	ГИ	-	-	-	-	-	-	Боль в ОДЛ	35,7 %

Примечания: П — пациент; ДТП — дорожно-транспортное происшествие; ИП — изолированный перелом; ВП — врожденный псевдоартроз; ИС — интрамедуллярная спица; ПЛ — пластина; КТ — костный трансплантат; ЧОС — чрескостный остеосинтез; НПО — неэффективные повторные операции; МГ — миграция трансплантата; НС — нестабильность спицы; ВМТ — воспаление мягких тканей; ГИ — глубокая инфекция; ОДЛ — область донорского ложа.

Хирургическая методика [17] и послеоперационное лечение

В положении пациента лежа на спине, использовали передний доступ к ключице. После удаления инородных тела и хирургической обработки межфрагментарного диастаза выполняли резекцию замыкательных пластинок псевдоартроза до кровотока костной ткани с моделированием отломков для контакта с трансплантатом с максимальным торцевым упором. Измеряли протяженность дефекта. Рану тампонируют.

Для облегчения работы хирургической бригады забор аутооттрансплантата осуществляли с ипсилатеральной нижней конечности. Использовали боковой доступ к малоберцовой кости в средней трети, отступая проксимально не менее чем на 10 см от щели голеностопного сустава. Забор выполняли с помощью вибропилы. После гемостаза рану ушивали. Первичную фиксацию трансплантата осуществляли интрамедуллярной спицей 1,8 мм. В зависимости от анатомических особенностей материковых фрагментов (дефекты, вызванные металлческими имплантатами) спицу выводили из акромиального либо грудинного конца ключицы. Рану ушивали послойно.

В каждый фрагмент ключицы проводили по три 1,5 мм консольные спицы (рис. 1, б). Спицы проводили через обе кортикальные пластинки. Момент прохождения спицы ощущался «провалом», поэтому при прохождении второй пластинки давление на дрель ослабляли. Допустимым считали выход спицы в мягкие ткани за пределы второй кортикальной пластинки не более 1–2 мм. При этом обязательно принимали во внимание топографию сосудисто-нервного пучка. Спицы проводили под углом 90–100° друг другу в зависимости от объема мягких тканей. После спицы изгибали при помощи иглодержателя и монтировали к резьбовому стержню мини-аппарата Илизарова. Позиционирование стержня осуществляли по проекции оси ключицы и интрамедуллярной спицы. С целью достижения максимальной стабильности опоры при монтаже проксимальной опоры допустимой была фиксация спиц через шайбы с пазом к резьбовому стержню. Дистальную опору крепили к соединительной планке, чтобы обеспечить осевую компрессию (рис. 1, б).

В послеоперационном периоде пациентам выполняли перевязки и поддерживающую компрессию по 1 мм в две недели. Контрольные рентгенограммы выполняли на сроке 2, 4 мес., дальнейшую рентгенографию рекомендовали исходя из динамики сращения в сроки 5 и 6 мес. после операции. В случае появления рентгенологических признаков лизиса трансплантата в области контакта с материковыми фрагментами осуществляли одномоментную компрессию до 2–3 мм с рентгенконтролем восстановления плотного контакта отломков. ЛФК начинали с первого дня после операции с фиксацией конечности косыночной повязкой в течение минимум 3 мес. после операции (рис. 1, в).

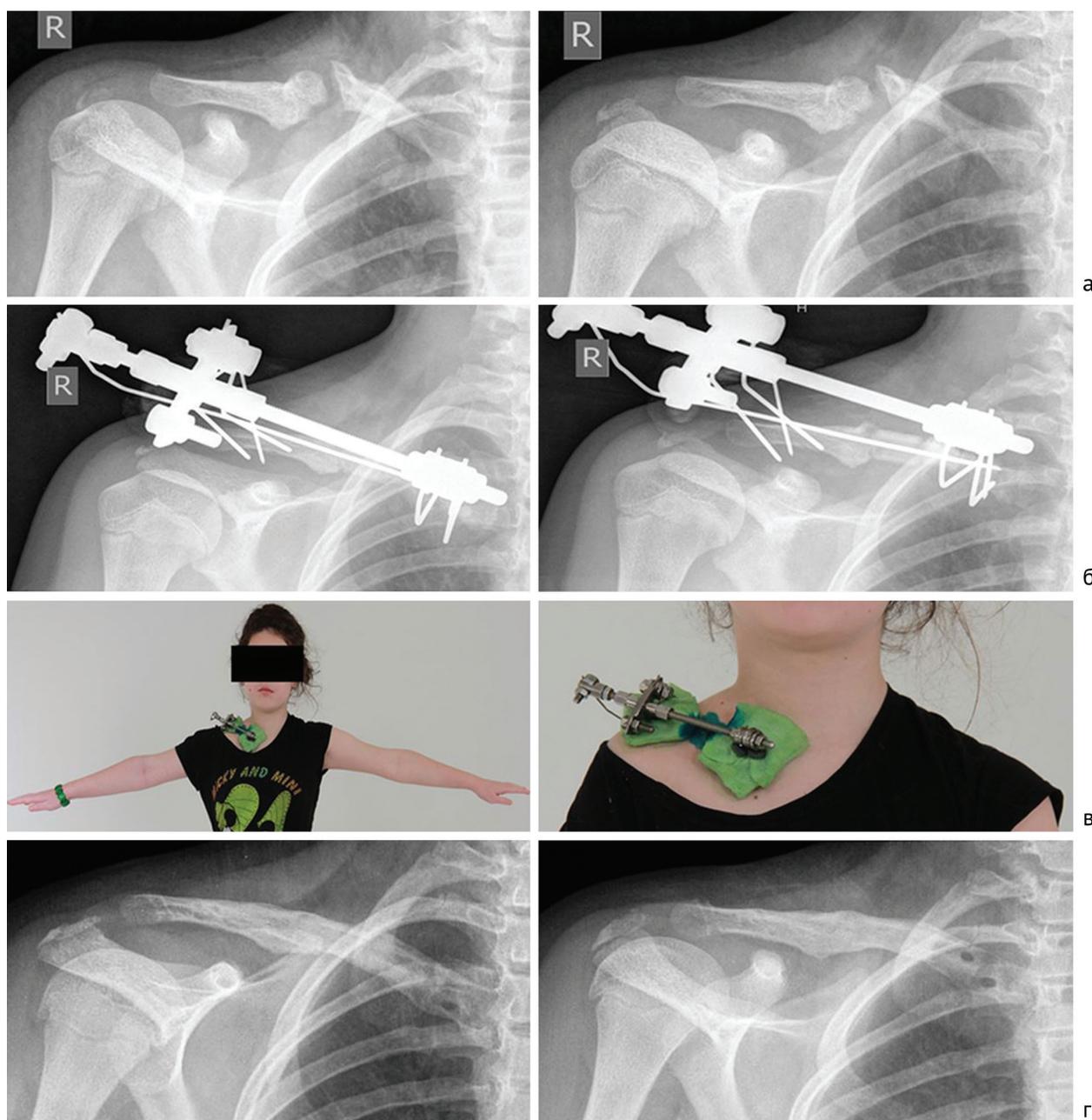


Рис. 1. Рентгенограммы и фото пациентки П-1 (табл. 1) с врожденным гипотрофическим псевдоартрозом ключицы: а — диастаз 5 мм, концы отломков неконгруэнтны, склерозированы; б — замещение дефекта и коррекция деформации с фиксацией мини-аппаратом, достигнут плотный контакт трансплантата с отломками; в — функция плечевого сустава на этапе фиксации в аппарате; г — отдаленный результат через 1 год, отмечается ремоделирование трансплантат

РЕЗУЛЬТАТЫ

Размер дефектов ключицы — $(3,1 \pm 0,2)$ см, варьировал от 1,5 до 5,0 см. Сращение достигнуто в 11 (78,6 %) случаях. Средний срок сращения составил чуть более 4 мес. (табл. 1). В случае П-3 достигнуто сращение только с проксимальным материковым фрагментом, аппарат снят в связи с нестабильностью спиц, рекомендовано выполнить повторный остеосинтез, но пациент не прибыл на контрольный осмотр.

Воспаление в области элементов фиксации наблюдали в двух случаях (П-4 и П-5). В случае П-5 это привело к глубокой инфекции с необходимостью хирургического санирования, после которого воспаление купировано в условиях достигнутого сращения. В случае П-4 аппарат снят по причине воспаления мягких тканей в области спиц, которое оказалось резистентным к консервативной терапии, был предложен повторный остеосинтез после купирования воспаления, однако в связи со сменой места жительства пациент на лечение не прибыл.

В случае П-7 в анамнезе имелись указания на хронический остеомиелит, возможно, это стало одной из причин рецидива инфекции. На сроке фиксации 3 мес. открылся свищ в проекции аутотрансплантата, рентгенологически определены признаки секвестрирования, что потребовало хирургической санации. После купирования воспалительного процесса пациент отказался от дальнейшего оперативного лечения.

Среди прочих осложнений стоит отметить миграцию трансплантата в случае П-2. Причиной послужила нестабильность интрамедуллярной спицы, возникшая в связи с наличием краевых дефектов и пролежней от ранее установленных металлоконструкций. Миграция диагностирована в раннем послеоперационном периоде в ходе выполнения компрессии. Это потребовало ревизионного вмешательства с переустановкой интрамедуллярной спицы.

Боли со стороны донорского ложа в раннем послеоперационном периоде наблюдали у пациентки П-14. Боли возникли после падения пациентки с подворачиванием стопы на седьмой день после операции. При рентгенологическом обследовании переломов в области голеностопного сустава не выявлено. Болевой синдром сохранялся преимущественно в области голеностопного сустава. В отдаленном периоде наблюдения жалоб пациентка не предъявляла, рентгенологических признаков остеоартроза голеностопного сустава не выявлено.

Во всех случаях после снятия аппарата пассивный объем движений в плечевом суставе восстанавливался до предоперационных значений, и пациентов направляли на курсы лечебной физкультуры.

ОБСУЖДЕНИЕ

Псевдоартрозы и дефекты ключицы трудно считать распространенной патологией, поскольку частота несращения после переломов ключицы невысока [1–7]. Однако болевой синдром, укорочение, деформация и ограничение движений в плечевом суставе, сопровождающие дефекты и псевдоартрозы ключицы, делают оперативное лечение пациентов данной патологии обязательным. Доля успешного первичного лечения пациентов с псевдоартрозами достаточно высока при различных методиках остеосинтеза [6, 9, 10]. К сожалению, проспективные исследования для сравнения различных методик остеосинтеза в будущем маловероятны в связи с небольшим накопленным опытом лечения пациентов данной патологии. Наше исследование представляет собой ретроспективный анализ серии из 14 случаев, собранных в течение относительно длительного периода в одиннадцать лет, что, на наш взгляд, также обусловлено редкостью данной патологии. Кроме того, клинические наблюдения данной серии были исходом неудачно проведенного хирургического лечения в других учреждениях. Анализируя наш опыт, мы склонны считать, что тактика лечения псевдоартрозов и дефектов ключицы должна отталкиваться от выбора метода аутокостной пластики и фиксатора, способного сохранять стабильность на протяжении длительного периода времени, необходимого для ремоделирования трансплантата [10, 11]. При планировании ревизионной операции необходимо обязательно учитывать такие негативные факторы, как наличие политравмы в анамнезе, нестабильная фиксация, многократные оперативные вмешательства, которые могли привести к нарушению кровоснабжения концов отломков.

Интрамедуллярные стержни успешно применяют при остеосинтезе несращений ключицы. Авторы данных исследований оптимальной категорией для подобного рода вмешательства считают не оперированных ранее пациентов [10]. Однако, на наш взгляд, недостаточная ротационная стабильность является существенным недостатком этого метода фиксации. С другой стороны, интрамедуллярная фиксация ввиду сложной трехмерной анатомии ключицы технически проще, чем моделирование наkostной пластины. Это и послужило причиной использования интрамедуллярного армирования спицей в описанной нами методике.

Бесспорно, наkostная пластина обладает достаточными возможностями для фиксации костных отломков. Однако хирург может столкнуться с трудностями в позиционировании винтов при наличии дефектов кости после ранее установленных имплантов. Более того, компрессия в области стыка фрагментов возможна только в ходе выполнения остеосинтеза, в случае появления краевого лизиса в месте контакта трансплантата с материковыми фрагментами может потребоваться дополнительная костная аутопластика. При использовании «волнообразно» предмоделированных для размещения трансплантата пластин (“wave-plating”) нередко проблемы с заживлением послеоперационной раны [9]. Известное применение АО пластин в качестве внешнего фиксатора, к сожалению, не позволяет осуществлять компрессию в послеоперационном периоде [11]. Также необходимо принимать во внимание, что удаление пластины всегда потребует дополнительного оперативного вмешательства [13], а в случаях применения структурного трансплантата данное вмешательство сопряжено с риском рефрактуры. Хорошие результаты были достигнуты J. Zhang при остеосинтезе атрофических псевдоартрозов двумя пластинами [18], однако клиническая группа сравнительно мала. К сожалению, наше исследование имеет такой же недостаток.

Мини-аппарат Илизарова, разработанный для коротких трубчатых костей, способен обеспечить стабильную фиксацию, компрессию и дистракцию костных отломков [12, 19, 20, 21]. Есть мнение, что чрескостный остеосинтез является эффективным способом лечения пациентов при гипертрофических псевдоартрозах

Конфликт интересов. У авторов нет потенциальных конфликтов интересов в отношении данной рукописи.

Финансирование. Авторы не получали финансовой поддержки для подготовки, исследования и публикации данной рукописи.

Этическое одобрение не требуется для представления серии случаев.

Информированное согласие. В представленной работе нет информации, которая может быть использована для идентификации пациентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Morgan C, Bennett-Brown K, Stebbings A, et al. Clavicle fractures. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2020;81(7):1-7. doi: 10.12968/hmed.2020.0158.
- Burnham JM, Kim DC, Kamineni S. Midshaft Clavicle Fractures: A Critical Review. *Orthopedics*. 2016;39(5):e814-21. doi: 10.3928/01477447-20160517-06.
- Гордиенко И.И., Сакович А.В., Цап Н.А. и др. Лечебная тактика при переломах ключицы у детей. *Гений Ортопедии*. 2021;27(1):13-16. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-13-16.
- Naimark M, Dufka FL, Han R, et al. Plate fixation of midshaft clavicular fractures: patient-reported outcomes and hardware-related complications. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(5):739-46. doi: 10.1016/j.jse.2015.09.029.
- Eisenstein ED, Misenhimer JJ, Kotb A, et al. Management of displaced midshaft clavicle fractures in adolescent patients using intramedullary flexible nails: A case series. *J Clin Orthop Trauma*. 2018;9(Suppl 1):S97-S102. doi: 10.1016/j.jcot.2017.06.019.
- Barlow T, Upadhyay P, Barlow D. External fixators in the treatment of midshaft clavicle non-unions: a systematic review. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014;24(2):143-148. doi: 10.1007/s00590-013-1173-6.
- Leroux T, Wasserstein D, Henry P, et al. Rate of and Risk Factors for Reoperations After Open Reduction and Internal Fixation of Midshaft Clavicle Fractures: A Population-Based Study in Ontario, Canada. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(13):1119-1125. doi: 10.2106/JBJS.M.00607.
- Zlowodzki M, Zelle BA, Cole PA, et al. Treatment of acute midshaft clavicle fractures: systematic review of 2144 fractures: on behalf of the Evidence-Based Orthopaedic Trauma Working Group. *J Orthop Trauma*. 2005;19(7):504-507. doi: 10.1097/01.bot.0000172287.44278.ef.
- Marti RK, Nolte PA, Kerkhoffs GM, et al. Operative treatment of mid-shaft clavicular non-union. *Int Orthop*. 2003;27(3):131-135. doi:10.1007/s00264-002-0424-7.
- Wu CC, Shih CH, Chen WJ, Tai CL. Treatment of clavicular aseptic nonunion: comparison of plating and intramedullary nailing techniques. *J Trauma*. 1998;45(3):512-516. doi: 10.1097/00005373-199809000-00014.
- Kerkhoffs GM, Kuipers MM, Marti RK, Van der Werken C. External fixation with standard AO-plates: technique, indications, and results in 31 cases. *J Orthop Trauma*. 2003;17(1):61-64. doi: 10.1097/00005131-200301000-00010.
- Demiralp B, Atesalp AS, Sehirlioglu A, et al. Preliminary results of the use of Ilizarov fixation in clavicular non-union. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2006;126(6):401-5. doi: 10.1007/s00402-006-0137-2.
- Lodhi IA, Russell R, Sharp DJ, Shah KY. The treatment of non-union of the clavicle with the AO mini external fixator. *Surgeon*. 2007;5(6):335-338. doi: 10.1016/s1479-666x(07)80085-0.
- Jaloux C, Bettex Q, Levadoux M, et al. Free vascularized medial femoral condyle corticoperiosteal flap with non-vascularized iliac crest graft for the treatment of recalcitrant clavicle non-union. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2020 Jul;73(7):1232-1238. doi: 10.1016/j.bjps.2020.03.018.
- Lenoir H, Williams T, Kerfant N, et al. Free vascularized fibular graft as a salvage procedure for large clavicular defect: a two cases report. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(7):859-863. doi: 10.1016/j.otsr.2013.06.004.
- Özkul B, Saygılı MS, Dinçel YM, et al. Comparative Results of External Fixation, Plating, or Nonoperative Management for Diaphyseal Clavicle Fractures. *Med Princ Pract*. 2017;26(5):458-463. doi: 10.1159/000481865.
- Колчин С.Н., Моховиков Д.С. Способ замещения дефекта ключицы. Патент РФ на изобретение № 2807898. 21.11.2023. Бюл. № 33. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=6788&DocNumber=2807898&TypeFile=html. Ссылка активна на 23.01.2025.
- Zhang J, Yin P, Han B, et al. The treatment of the atrophic clavicular nonunion by double-plate fixation with autogenous cancellous bone graft: a prospective study. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):22. doi: 10.1186/s13018-020-02154-y.
- Tomori Y, Nanno M, Sonoki K, Majima T. Minimally Invasive Corrective Osteotomy with the Ilizarov Mini-Fixator for Malunited Fractures of the Phalanges: Technical Note. *J Nippon Med Sch*. 2021;88(3):262-266. doi: 10.1272/jnms.JNMS.2021_88-314.
- Tomić S, Bumbasirević M, Lesić A, Bumbasirević V. Modification of the Ilizarov external fixator for aseptic hypertrophic nonunion of the clavicle: an option for treatment. *J Orthop Trauma*. 2006;20(2):122-128. doi: 10.1097/01.bot.0000197548.84296.2f.
- Борзунов Д.Ю., Митрофанов А.И., Колчев О.В. Лечение псевдоартрозов ключицы. *Гений ортопедии*. 2006;(2):74-77.
- Der Tavitian J, Davison JN, Dias JJ. Clavicular fracture non-union surgical outcome and complications. *Injury*. 2002;33(2):135-143. doi: 10.1016/s0020-1383(01)00069-9.
- Depaoli A, Zarrantonello P, Gallone G, et al. Congenital Pseudarthrosis of the Clavicle in Children: A Systematic Review. *Children (Basel)*. 2022;9(2):147. doi: 10.3390/children9020147.
- Assouto C, Bertocelli CM, Gauci MO, et al. Congenital pseudarthrosis of the clavicle: a systematic review. *Int Orthop*. 2022;46(11):2577-2583. doi: 10.1007/s00264-022-05470-6.
- Hemmann P, Brunner J, Histing T, Körner D. Revision surgery after failed surgical treatment of midshaft clavicle fractures is often associated with positive detection of bacteria. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(7):4133-4139. doi: 10.1007/s00402-022-04669-x.
- Grewal S, Baltes TP, Wiegerrinck E, Kloen P. Treatment of a Recalcitrant Non-union of the Clavicle. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2022;17(1):1-6. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1544.

Статья поступила 27.12.2024; одобрена после рецензирования 21.01.2025; принята к публикации 31.03.2025.

The article was submitted 27.12.2024; approved after reviewing 21.01.2025; accepted for publication 31.03.2025.

Информация об авторах:

Сергей Николаевич Колчин — кандидат медицинских наук, врач-ортопед, sergei.kolchin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9049-5710>;

Денис Сергеевич Моховиков — кандидат медицинских наук, врач-ортопед, заведующий отделением, <https://orcid.org/0000-0001-8728-8948>;

Татьяна Алексеевна Малкова — ведущий переводчик, <https://orcid.org/0000-0002-4301-9161>.

Information about the authors:

Sergey N. Kolchin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, sergei.kolchin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9049-5710>;

Denis S. Mokhovikov — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of Department, <https://orcid.org/0000-0001-8728-8948>;

Tatiana A. Malkova — Leading Translator, <https://orcid.org/0000-0002-4301-9161>.