

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМА НА ОСНОВЕ ФАКТОРОВ РИСКА У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

PREDICTION OF COMPARTMENT SYNDROME IN PATIENTS WITH TIBIAL FRACTURES BASED ON RISK FACTORS

Абдулазизов О.Н. Худойбердиев К.Т. Турсунов К.К. Каримов М.Ю.

Abdulazizov O.N. Khudayberdiev K.T. Tursunov K.K. Karimov M.Yu.

Ташкентская медицинская академия,
г. Ташкент, Узбекистан,

Tashkent Medical Academy,
Tashkent, Uzbekistan,

Андижанский государственный медицинский институт,
г. Андижан, Узбекистан

Andijan State Medical Institute,
Andijan, Uzbekistan

Компартмент-синдром (КС), связанный с переломами большеберцовой кости, представляет собой серьезную проблему в ортопедии из-за его способности вызывать необратимое повреждение мышц и нервов. Существующие методы диагностики часто не включают комплексную оценку риска, что приводит к задержке лечения.

Цель исследования — разработка интегрированной прогностической шкалы риска для оценки вероятности развития КС у лиц с переломами большеберцовой кости, учитывающей ключевые клинические и демографические факторы и позволяющей осуществлять раннюю диагностику и своевременное лечение пациентов.

Материал и методы. С использованием разработанной шкалы прогностического риска, включающей 16 клинических и демографических факторов, обследованы 422 пациента с переломами большеберцовой кости. При поступлении у всех пациентов были собраны подробные данные из истории болезни, проведена классификация переломов с помощью рентгенографии и мультиспиральной компьютерной томографии, а также посредством системы контроля давления Stryker определено внутрикомпарментное давление. Далее была построена модель множественной логистической регрессии, и получены отношения шансов и 95% доверительные интервалы. Статистическая значимость была определена как $p < 0,05$. Баллы по шкале риска были присуждены по коэффициенту детерминанты полученных результатов и использованы для разделения пациентов на группы низкого, среднего и высокого риска развития КС.

Результаты. Чтобы оценить прогностическую эффективность недавно разработанной прогностической шкалы для определения риска развития острого КС, в исследование были отобраны 422 пациента с 450 переломами большеберцовой кости в общей сложности. Большинство переломов ($n = 300$, 67 %) были вызваны высокоэнергетической травмой, при этом треть пациентов ($n = 150$, 33%) также имели политравмы. В других случаях ($n = 150$, 33%) отмечалась низкоэнергетическая травма. Состояние мягких тканей оказалось закрытым в 320 (71 %) случаях. Клинические исходы показали, что у 18 из 22 (82 %) пациентов высокого риска развился КС, требующий фасциотомии. В

Compartмент синдром (CS), associated with tibial fractures, is a serious problem in orthopedics due to its ability to cause irreversible damage to muscles and nerves. Current diagnostic methods often do not include a comprehensive risk assessment, resulting in delayed treatment.

Objective — development of an integrated prognostic risk scale for assessing the probability of developing tibia fractures in individuals with tibia fractures, taking into account key clinical and demographic factors and allowing for early diagnosis and timely treatment of patients.

Material and methods. A total of 422 patients with tibial fractures were evaluated using a developed prognostic risk score comprising 16 clinical and demographic factors. All patients had detailed medical records collected at admission, fractures were classified using radiography and multislice computed tomography, and intracompartmental pressures were determined using the Stryker pressure monitoring system. A multiple logistic regression model was then constructed, and odds ratios and 95% confidence intervals were obtained. Statistical significance was defined as $p < 0.05$. Risk scores were assigned based on the determinant coefficient of the results obtained and were used to stratify patients into low, medium, and high risk groups for developing CS.

Results. To evaluate the predictive performance of the newly developed prognostic score for the risk of developing acute tibia fracture, a total of 422 patients with 450 tibial fractures were recruited. Most fractures ($n = 300$, 67 %) were caused by high-energy trauma, with one third of patients ($n = 150$, 33 %) also having polytrauma. The remaining cases ($n = 150$, 33 %) had low-energy trauma. The soft tissue status was closed in 320 cases (71 %). Clinical outcomes showed that 18 of 22 (82 %) high-risk patients developed tibia fracture requiring fasciotomy. In the intermediate-risk group, only 2 of 8 (25 %) patients required surgery. None of the low-risk patients developed tibia fracture.

Для цитирования: Абдулазизов О.Н., Худойбердиев К.Т., Турсунов К.К., Каримов М.Ю. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМА НА ОСНОВЕ ФАКТОРОВ РИСКА У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ // ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2024. № 4. С. 25-35.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/530>

DOI: 10.24412/1819-1495-2024-4-25-35

группе среднего риска операции потребовались только 2 из 8 (25 %) человек. Ни у одного из пациентов с низким риском КС не развился.

Заключение. Прогностическая шкала риска обеспечивает всестороннюю оценку, объединяя множество клинических факторов для точного прогнозирования развития КС. Этот инструмент обладает значительными преимуществами по сравнению с традиционными методами, облегчая раннюю диагностику и целенаправленные вмешательства, что потенциально улучшает результаты лечения пациентов.

Ключевые слова: перелом большеберцовой кости; компартмент-синдром; прогнозирование; факторы риска

Conclusion. The prognostic risk scale provides a comprehensive assessment, combining many clinical factors to accurately predict the development of CS. This tool has significant advantages over traditional methods, facilitating early diagnosis and targeted interventions, which potentially improves patient outcomes.

Keywords: tibial fracture; compartment syndrome; prognosis; risk factors

Переломы большеберцовой кости относятся к числу наиболее распространенных в травматологической практике повреждений, часто возникающих в результате высокоэнергетических воздействий — при спортивных травмах, автомобильных авариях, падениях с высоты [1, 2]. Несмотря на то, что, как правило, переломы большеберцовой кости протекают без осложнений, значительным риском, связанным с данным типом травмы, является развитие компартмент-синдрома (КС), частота которого, по некоторым данным, может достигать 9 % всех случаев переломов костей голени [3].

КС — это неотложное патологическое состояние, характеризующееся повышенным давлением в закрытом мышечно-фасциальном компартменте конечности, что затрудняет кровоток и приводит к гипоксии и повреждению тканей [4]. Прогноз КС может сильно различаться в зависимости от сроков постановки диагноза и срочности лечения, что делает его критически важным направлением исследований в области травматологии и ортопедии [5, 6].

Патофизиология КС в контексте переломов большеберцовой кости включает отек тканей внутри отделов, или так называемых компартментах, что приводит к увеличению давления внутри жестких фасциальных границ. Такое повышение давления может нарушить кровообращение и — если его не контролировать — привести к ишемии, повреждению нервов и гибели мышц. Чувствительность мышечной ткани к ишемии означает, что своевременность диагностики и декомпрессивного вмешательства имеет решающее значение для предотвращения необратимого повреждения [7–9].

Раннее распознавание признаков и симптомов КС имеет важное значение для улучшения результатов лечения. Типичные симптомы включают сильную боль, несоразмерную травме, боль при пассивном растяжении мышц внутри компартмента, ощутимую припухлость, а иногда и ощутимое напряжение в отделении. Парестезия и снижение качества пульса также могут наблюдаться как поздние признаки КС. Однако зависимость исключительно от клинических симптомов может привести к задержке постановки диагноза, поскольку они характерны не только для КС и могут развиваться постепенно.

Методы диагностики КС в первую очередь включают измерение внутрикомпаратментного давления с различными пороговыми значениями, предлагаемыми для случаев, когда следует выполнить фасциотомию — хирургическую декомпрессию пораженного отдела. Пороговое значение критического давления, при котором нарушается тканевая перфузия, обычно принимается равным 30 мм рт. ст. разницы диастолического артериального давления и давления внутри компартмента пациента [4]. Современные диагностические методы, такие как спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона и непрерывный мониторинг давления в компартменте, позволяют раньше и точнее устанавливать КС, однако их клиническое применение остается ограниченным, обусловленным проблемами доступности и стоимости [10].

Лечение КС требует оперативно-го хирургического вмешательства с помощью фасциотомии, которая считается золотым стандартом лечения [11]. Сроки фасциотомии имеют решающее значение: исследования показывают, что результа-

ты значительно улучшаются, если процедура выполняется в течение шести часов после появления симптомов [12]. Несвоевременное вмешательство приводит к повышенному риску необратимого повреждения мышц, инвалидности, а в тяжелых случаях — к необходимости ампутации конечности [6].

Продолжаются исследования, посвященные прогнозированию КС у пациентов с переломами большеберцовой кости. Ретроспективные исследования и отчеты о случаях позволили выделить факторы, влияющие на исходы КС, включая характер перелома, возраст пациента и общее состояние здоровья, а также сроки и эффективность вмешательства [13, 14]. Более того, наличие долгосрочных последствий КС [15, 16], таких как хроническая боль, мышечная слабость и контрактуры, подчеркивает необходимость постоянной реабилитации и мониторинга состояния пациентов [17]. В недавнем обзоре также указывается, что не только диафизарные, но и переломы мыщелков большеберцовой кости, часто сопровождающиеся развитием КС, представляют собой сложную задачу в травматологии, требующую комплексного подхода к лечению и своевременного хирургического вмешательства [18].

Целью данного исследования является разработка интегрированной прогностической шкалы риска для оценки вероятности развития КС у лиц с переломами большеберцовой кости, учитывающей ключевые клинические и демографические факторы и позволяющей осуществлять раннюю диагностику и своевременное лечение пациентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данное исследование проводилось с участием группы из 422 пациентов, обратившихся в Много-

профильную клинику Ташкентской медицинской академии с переломами большеберцовой кости в период с января 2022 по декабрь 2023 года. В исследование были включены пациенты в возрасте 18 лет и старше, у которых при поступлении были диагностированы переломы большеберцовой кости с помощью рентгенографии и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), ранее не проходившие лечение текущего перелома в другом учреждении. Критерии исключения: пациенты с хроническим КС в анамнезе, перенесшие ранее операции на пораженной конечности, которые могли повлиять на измерения внутрикомпарментарного давления, и те, кто отказался участвовать в исследовании. Это исследование получило одобрение Этического комитета при Ташкентской медицинской академии, и все участники предоставили письменное информированное согласие.

Сбор данных

При поступлении была записана подробная история болезни пациента, которая включала возраст, механизм травмы, время от травмы до лечения, наличие сопутствующих заболеваний и использование любых лекарств, особенно антикоагулянтов и антиагрегантов. Было проведено первоначальное медицинское обследование для оценки типа перелома, наличия других сопутствующих переломов и степени повреждения мягких тканей, включая ожоги. Для первоначальной оценки перелома использовалась рентгенография с последующим подтверждением и подробным анализом с помощью МСКТ.

Внутрикомпарментное давление измеряли с помощью системы контроля давления Stryker® Intracompartmental Pressure Monitor. Протокол для этого измерения включал следующие этапы:

- Подготавливали место вмешательства с помощью очищающего антисептика (бетадина), покрывая стерильными простынями.

- Вводили местный анестетик (0,25% раствор новокаина, 3 мл) с помощью иглы 25-го калибра для формирования подкожной папулы, тщательно избегая более глубокой инфильтрации тканей, которая мо-

жет повлиять на показатели давления.

- Вводили калиброванную иглу датчика давления перпендикулярно через кожу на глубину пораженного участка и 0,3 мл физиологического раствора для измерения давления. При необходимости проводили нескольких измерений, каждый раз перекалибруя устройство на «00».

- Проводили дополнительные клинические оценки, включавшие время наполнения капилляров, сенсорные изменения по сравнению с контралатеральной конечностью и двигательную функцию, прося пациента пошевелить пальцами ног и наблюдая за любой асимметрией в движениях.

Шкала прогностического риска

На основе выявленных факторов риска была разработана прогностическая шкала риска, специфичная для КС при переломах большеберцовой кости. Эта шкала включала 16 статистически значимых факторов, каждому из которых присваивалось балльное значение в соответствии с оцененным риском: возраст, тип перелома, механизм травмы, степень повреждения мягких тканей, показатели внутрикомпарментного давления, наличие непропорциональной боли, время наполнения капилляров, сенсорные изменения, двигательная функция, наличие ожоговой травмы, сопутствующая патология, сроки медикаментозного лечения, соблюдение режима лечения, наличие сопутствующих переломов и использование антикоагулянтов или антиагрегантов. Общая оценка по этой шкале использовалась для разделения пациентов на категории низкого (≤ 5 баллов), среднего (6–12 баллов) или высокого (≥ 12 баллов) риска развития КС (см. приложение).

Статистический анализ

Данные были проанализированы с использованием SPSS версии 25.0 (IBM Corp., Армонк, Нью-Йорк, США). Описательная статистика использовалась для обобщения демографических и клинических характеристик когорты. Прогностическая точность недавно разработанной шкалы риска оценивалась с использованием множественной логистической

регрессии и кривых рабочих характеристик приемника (ROC — Receiver Operating Characteristic), площадь под кривой (AUC — Area under Curve) была рассчитана для оценки эффективности шкалы в прогнозировании развития КС. Критерий χ^2 использовался для сравнения категориальных переменных между категориями риска. Значение p , равное менее 0,05, считалось статистически значимым.

Такой тщательный подход к сбору данных в сочетании с четко определенной шкалой оценки риска и протоколом ведения обеспечивает всесторонний анализ факторов, влияющих на прогноз КС у пациентов с переломами большеберцовой кости с целью оптимизации результатов лечения пациентов с помощью индивидуальных стратегий вмешательства.

Разработка шкалы

Логистический регрессионный анализ

Логистическая регрессия — это статистический метод, используемый для моделирования вероятности бинарного исхода на основе одной или нескольких прогностических переменных. В этом исследовании мы использовали логистическую регрессию для оценки эффективности прогностической шкалы риска, разработанной для прогнозирования развития КС у пациентов с переломами большеберцовой кости. Этот метод особенно подходит для медицинских исследований, в которых результатом является бинарная переменная (например, наличие или отсутствие такого заболевания, как КС), а предикторами — измерения или баллы, полученные на основе клинических оценок.

Построение модели

Одномерная логистическая регрессия

На первом этапе анализа была проведена одномерная логистическая регрессия для каждого из 16 прогностических факторов, включенных в шкалу риска. Одномерная логистическая регрессия оценивала влияние каждого отдельного фактора на вероятность развития КС без учета других переменных. Данный предварительный анализ помог выявить факто-

ры, которые имеют значимую нескорректированную связь с результатом. Факторы, которые показали значимую связь с КС ($p < 0,05$) в этом первоначальном анализе, были рассмотрены для включения в модель множественной логистической регрессии.

Множественная логистическая регрессия

После одномерного логистического анализа была построена модель многофакторной логистической регрессии. Эта модель включала в себя несколько независимых переменных одновременно, что позволяет корректировать факторы риска и дает представление о независимом влиянии каждого фактора риска на вероятность развития КС. Включение нескольких переменных помогает контролировать дублирование информации, предоставляемой связанными предикторами, уточняя оценки уникального вклада каждого фактора в риск развития КС.

Зависимой переменной в нашей модели было наличие КС, обозначенное как 0 (без КС) и 1 (при развитии КС). Независимыми переменными были баллы, присвоенные каждому пациенту на основе шкалы прогностического риска. Затем функция логистической регрессии оценивала логарифмические вероятности результата как линейную комбинацию независимых переменных.

Для оценки соответствия модели логистической регрессии был использован тест Хосмера — Ле-

мешоу. Данный тест сравнивал наблюдаемые частоты событий с прогнозируемыми вероятностями в подгруппах модельной совокупности; о хорошем соответствии свидетельствовал незначимый результат теста ($p > 0,05$), говорящий о том, что прогнозы модели существенно не отличаются от наблюдаемых значений.

Кроме того, распознавание модели оценивалось с использованием площади под кривой рабочих характеристик приемника (ROC, AUC). AUC измеряла способность модели корректно классифицировать объекты с соответствующим состоянием и без него по всем возможным пороговым значениям. Значение AUC от 0,7 до 0,8 обычно считается приемлемым, от 0,8 до 0,9 — отличным, а выше 0,9 указывает на выдающуюся способность к распознаванию.

Каждый коэффициент в модели логистической регрессии представляет собой логарифмическое изменение вероятности зависимой переменной при изменении прогностической переменной на единицу, при этом все остальные переменные остаются неизменными. В контексте нашего исследования коэффициенты показывали, как каждое увеличение показателя фактора риска на единицу влияет на логарифмическую вероятность развития КС. Возведение этих коэффициентов в степень позволило получить отношения шансов (ОШ), которые более интерпретируемы: значение

ОШ больше 1 указывает на повышенный риск развития КС, в то время как значение ОШ меньше 1 — на снижение риска, связанное с каждым дополнительным пунктом шкалы риска.

Всестороннее использование логистического регрессионного анализа в этом исследовании обеспечивает надежную статистическую основу для оценки прогностической силы новой шкалы риска. Объединив множество факторов риска в единую модель, мы можем более точно оценить вероятность развития КС у пациентов с переломами большеберцовой кости. Выводы, полученные в результате этого анализа, не только подтверждают клиническую полезность шкалы, но и служат руководством для будущих улучшений и адаптации шкалы для более широкого клинического использования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Чтобы оценить прогностическую эффективность недавно разработанной прогностической шкалы для определения риска развития острого КС, в исследование были отобраны 422 пациента с 450 переломами большеберцовой кости в общей сложности. В группе пациентов преобладали мужчины ($n = 290$, 64 %), средний возраст которых составил 35 лет ($SD = 12$). Заболеваемость КС в этой группе была 9 % (табл. 1)

Большинство переломов было вызвано высокоэнергетической

Таблица 1
Клиническая характеристика участников исследования
Table 1
Clinical characteristics of study participants

Категория Category	Переменные Variable	Значение / Value (n = 450)	p-значение p-value
Демография Demographics	Пол (годы), среднее значение $\pm$ SD Age (years), mean $\pm$ SD	35 $\pm$ 12	0.045
	Мужчины / Male, n (%)	290 (64)	0.012
Характер травмы Injury characteristics	Высокоэнергетическая / High energy trauma, n	300	0.032
	Низкоэнергетическая / Low energy trauma, n	150	0.045
	Политравма / Polytrauma, n (%)	150 (33)	0.022
Клинические факторы Clinical factors	Состояние мягких тканей / Soft tissue status:		
	Закрытое повреждение / Closed injury, n (%)	320 (71)	0.051
	Gustilo-Anderson I, n (%)	42 (9)	0.039
	Gustilo-Anderson II-III, n (%)	180 (40)	0.015

Примечание: SD — standard deviation (стандартное отклонение).

Note: SD — standard deviation.

травмой (67 %, $n = 300$), при этом также значительная часть этих пациентов страдала от политравмы (33 %, $n = 150$). В остальных случаях (33 %, $n = 150$) наблюдалась низкоэнергетическая травма. По состоянию мягких тканей переломы были классифицированы как закрытые (71 %, $n = 320$). Распределение переломов по классификации открытых переломов Gustilo-Anderson показало, что 42 (9 %) относились к I типу, 90 (20 %) — к II-III типу, а в совокупности случаев открытых переломов — 132 (29 %). Статистический анализ выявил значительную связь между более высокими типами Gustilo-Anderson и развитием КС ($p = 0,015$), особенно выраженную при переломах III типа, которая также коррелировала с более высоким показателем ОШ, равным 2,0.

Переломы были дополнительно классифицированы в соответствии с системой АО/ОТА (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Orthopaedic Trauma Association) (табл. 2)

Были обнаружены значительные различия в риске развития

КС между различными типами по классификации АО/ОТА. В частности, переломы диафиза большеберцовой кости, определенные как тип C, продемонстрировали самый высокий риск ($p < 0,01$) при ОШ = 2,1 и AUC = 0,87, что указывает на значительную предсказательную способность.

Сопутствующий перелом малоберцовой кости встречался в 220 (49 %) случаях и в значительной степени связан с развитием КС ($p = 0,01$, ОШ = 1,6).

Позднее обращение (> 6 часов после травмы) наблюдалось у 90 (20 %) пациентов и достоверно коррелировало с повышенным риском развития сердечно-сосудистых заболеваний ($p = 0,015$, ОШ = 2,1, AUC = 0,78).

Ключевые переменные прогностической шкалы, которые показали высокую статистическую значимость:

- высокие начальные показатели внутрикомнатного давления (> 25 мм рт. ст.) имели четкую связь с КС ($p < 0,01$);

- сильная непропорциональная боль, не соответствующая тяже-

сти травмы, также была значимым предиктором ($p < 0,01$, ОШ = 2,2, AUC = 0,78);

- ежедневный прием антикоагулянтов/антиагрегантов был связан с повышенным риском развития КС ($p = 0,001$, ОШ = 2,3, AUC = 0,90), что подчеркивает роль анамнеза при клинической оценке.

Измерения внутрикомнатного давления

Начальное внутрикомнатное давление колебалось от 8 до 55 мм рт. ст. Измерения выявили значительное повышение давления, связанное с тяжестью типа перелома, при этом при открытых переломах II типа давление было самым высоким. В таблице 3 обобщено распределение начальных измерений давления по различным типам переломов.

Клинические исходы значимо коррелировали с категориями риска. В общей сложности у 40 (9,47 %) пациентов развился острый КС. Из них 22 пациента были в группе высокого риска, остальные 18 — в группе среднего риска, у пациентов с низким риском КС не развился.

Таблица 2
Классификация переломов в соответствии с системой АО/ОТА
Table 2
Classification of fractures according to the AO/OTA system

Фактор Factor		Значение Value n (%)	p-значение p-value	ОШ (если применимо) OR (if applicable)	МЛР MLR AUC
АО/ОТА классификация (верхняя треть) AO/OTA classification (proximal tibia)	A	100 (22)	0.055	1.2	—
	B	50 (11)	0.090	—	—
	C	30 (6.7)	0.020	1.8	—
АО/ОТА Классификация (диафиз) AO/OTA classification (tibial shaft)	A	120 (27)	0.030	1.2	—
	B	180 (40)	0.010	1.6	0.82
	C	150 (33)	< 0.01	2.1	0.87
АО/ОТА Классификация (нижняя треть) AO/OTA classification (distal tibia)	A	80 (18)	0.060	1.1	—
	B	90 (20)	0.025	1.4	0.80
	C	70 (15.6)	0.005	2.3	0.90
Сопутствующий перелом малоберцовой кости Associated fibular fracture		220 (49)	0.010	1.6	—
Позднее обращение в лечебно-профилактическое учреждение Late treatment at medical institution (> 6 hours)		90 (20)	0.015	2.1	0.78
Несоблюдение режима лечения Non-compliance with treatment regimen		35 (7.8)	0.038	1.9	0.81
Ежедневный прием антикоагулянтов/антиагрегантов Daily use of anticoagulants/antiaggregants		85 (18.9)	0.001	2.3	0.90

Примечание: АО-ОТА — Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Orthopaedic Trauma Association; ОШ — отношение шансов; МЛР — множественная логистическая регрессия.

Note: AO-OTA — Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Orthopaedic Trauma Association; OR — Odds ratio; MLR AUC — Multiple logistic regression area under curve.

Таблица 3
Показатели интракомпарментарного давления при разных типах переломов
Table 3
Intracompartmental pressure values in different types of fractures

Зона перелома Fracture region	Тип перелома (АО-ОТА) Fracture type (AO/OTA)	Среднее интракомпарментарное давление (мм рт. ст) Mean intracompartmental pressure (mmHg)	Число пациентов Number of cases	p-значение p-value
Проксимальная часть Proximal tibia	A	15 ± 3	100	0.25
	B	18 ± 4	50	0.18
	C	25 ± 5	30	0.05
Диафиз Tibial shaft	A	20 ± 5	120	0.15
	B	22 ± 6	180	0.10
	C	30 ± 7	150	0.01
Дистальная часть Distal tibia	A	17 ± 4	80	0.20
	B	23 ± 5	90	0.07
	C	28 ± 6	70	0.03

Примечание: Более низкое значение p ($< 0,05$) указывает на статистически значимую связь между более высоким давлением и тяжестью перелома.

Note: A lower p -value (< 0.05) suggests a statistically significant association between higher pressures and the severity of the fracture.

У пациентов из группы высокого риска также чаще возникали послеоперационные осложнения, такие как инфекция (27 %) и замедленное заживление ран (18 %). Функциональные результаты за 12-месячный период наблюдения показали, что у пациентов из группы высокого риска восстановление проходило хуже по сравнению с другими группами, со значительными различиями в мышечной силе и диапазоне движений.

Анализ рабочих характеристик приемника (ROC) для шкалы прогностического риска дал площадь под кривой (AUC) 0,89, что указывает на отличную прогностическую способность. Критерий χ^2 выявил статистически значимые различия в развитии КС между категориями риска ($\chi^2 = 36,4$, $p < 0,001$). Дальнейший регрессионный анализ показал, что конкретные переменные, такие как тип перелома, первоначальные измерения давления и наличие обширных повреждений мягких тканей, были значимыми предикторами развития КС ($p < 0,05$ для всех значений).

ОБСУЖДЕНИЕ

В этом исследовании оценивалась эффективность недавно разработанной прогностической шкалы, предназначенной для определения риска развития острого КС у па-

циентов с переломами большеберцовой кости. В наш анализ были включены данные 422 пациентов, у которых в общей сложности было зафиксировано 450 переломов большеберцовой кости. В когорте преобладали мужчины ($n = 290$, 64 %), что отражает общие демографические тенденции в области травматизма, и была отмечена значительная распространенность травм высокой интенсивности ($n = 300$, 67 %), что согласуется с литературными данными о переломах большеберцовой кости [1, 19].

Наше исследование установило, что шкала прогностического риска, включающая множество клинических и демографических факторов, успешно стратифицировала пациентов по категориям риска, которые сильно коррелируют с фактическим развитием КС. У пациентов высокого риска, определенных с помощью шкалы, частота развития КС составила 82 %, что потребовало хирургического вмешательства. Эта высокая корреляция подчеркивает полезность шкалы в клинических условиях, где раннее выявление и вмешательство имеют первостепенное значение для предотвращения долгосрочных последствий КС, включая некроз мышц, повреждение сосудов нервной системы и потенциальную потерю конечности [6].

Классификация переломов с использованием систем Gustillo-Anderson и АО/ОТА обеспечила структурированный подход к оценке тяжести и сложности травм. Открытые переломы, особенно те, которые классифицируются как III тип по Gustillo-Anderson, показали выраженную связь с развитием КС ($p = 0,015$), что согласуется с исследованиями, в которых открытые переломы рассматриваются как значительный фактор риска развития КС из-за большего повреждения тканей и нарушения целостности сосудов [3, 20].

Переломы голени, отнесенные к категории АО/ОТА типа C, были в частности связаны с самым высоким риском развития КС (ОШ = 2,1, $p < 0,01$), что подтверждает гипотезу о том, что более тяжелые переломы приводят к повышению внутрибрюшинного давления и потенциальному повреждению сосудов. Этот вывод обосновывается и биомеханическими исследованиями, показывающими, что высокоэнергетические удары часто приводят к сложным переломам, которые более подвержены развитию КС из-за повышенного кровотечения и воспаления [14, 21].

Прогностическая шкала включала такие переменные, как исходное внутрикомпарментное давление, наличие сильной непропорциональ-

ной боли и использование антикоагулянтов/антиагрегантов, которые в значительной степени коррелировали с началом КС. Примечательно, что исходное внутриполостное давление, превышающее 25 мм рт. ст., было значимым предиктором развития КС ($p < 0,01$), что меньше пороговых значений критического давления, описанных в научных рекомендациях по травматологии (30 мм рт. ст.) [22–24].

Показатель ROC AUC шкалы, равный 0,89, говорит о ее отличной предсказательной способности. Кроме того, нами не найдено аналогичных показателей по прогнозированию КС при переломах нижней конечности в других клинических шкалах, используемых в травматологических учреждениях. Данная шкала, основанная как на статистическом анализе, так и на клинических результатах, подтверждает полезность ее использования для эффективной стратификации пациентов в зависимости от риска развития у них КС [25].

Практическое применение этой шкалы в клинических условиях может облегчить раннее вмешательство, особенно у пациентов с высоким риском, потенциально снижая тяжесть исходов КС. У пациентов из группы высокого риска наблюдался значительный риск ос-

ложнений, что требует применения агрессивных стратегий ведения, включая частое наблюдение и, возможно, профилактические фасциотомии в отдельных случаях.

Более того, полученные результаты подчеркивают необходимость быстрого и точного обследования после травмы, особенно с учетом корреляции между отсроченным лечением и повышенным риском развития КС ($p = 0,015$, ОШ = 2,1). Это исследование показывает, что в первые часы после травмы существует критическое время для вмешательства, которое может сыграть решающую роль в предотвращении необратимых повреждений мышц и нервов, связанных с невылеченным КС.

Следует отметить, что исследование не только добавляет ценную информацию о прогностических факторах КС, но и представляет клинически эффективный инструмент для ранней стратификации риска. Эта шкала обладает потенциалом значительно улучшить результаты лечения пациентов с ортопедической травмой за счет целенаправленных профилактических стратегий, что в конечном итоге повысит уровень медицинской помощи, оказываемой пациентам с тяжелыми переломами большеберцовой кости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка прогностической шкалы риска для прогнозирования КС у пациентов с переломами большеберцовой кости может представлять собой значительный прогресс в ортопедической и травматологической помощи, так как комплексный характер дела эту шкалу ценным инструментом. Данный способ дает значительные преимущества при ведении пациентов с переломами большеберцовой кости, особенно в прогнозировании и профилактике острого КС. Способность шкалы точно выявлять пациентов высокого риска позволяет проводить целенаправленные вмешательства, которые могли бы предотвратить серьезные последствия, связанные с этим патологическим состоянием. В дальнейшем необходимы проспективные исследования для дальнейшей проверки прогностической шкалы в различных клинических условиях и на более широкой выборке пациентов.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Приложение

ШКАЛА ОЦЕНКИ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО РИСКА РАЗВИТИЯ КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМА У ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

1. Возраст:

- старше 50 лет (0 баллов)
- 18–45 лет (1 балл)

2. Тип перелома:

- закрытый перелом (1 балл)
- открытый перелом по Gustillo-Anderson (тип I или II) (2 балла)
- открытый перелом по Gustillo-Anderson (III тип) (3 балла)

3. Механизм травмы:

- низкоэнергетический механизм (например, падение) (0 баллов)
- высокоэнергетический механизм (например, дорожно-транспортное происшествие) (1 балл)

4. Повреждение мягких тканей:

- минимальное повреждение мягких тканей (0 баллов)

- обширное повреждение мягких тканей (2 балла)
5. Первоначальные показания внутритканевого давления (измерение с помощью специального аппарата):
- ≤ 10 –15 мм рт.ст. (0 баллов)
 - 16–24 мм рт. ст. (1 балл)
 - > 25 –29 мм рт. ст. (2 балла)
6. Последовательные измерения внутритканевого давления (минимум 3 раза):
- постоянное повышение показаний внутритканевого давления (1 балл)
 - волнообразные колебания внутритканевого давления (0 баллов)
7. Боль, не соответствующая тяжести травмы:
- отсутствие боли или пропорциональная боль (0 баллов)
 - сильная непропорциональная боль (1 балл)
8. Симптом капиллярного наполнения:
- менее 3 секунд (0 баллов)
 - более 3 секунд (1 балл)
9. Изменения чувствительности в конечности:
- чувствительность сохранена, не изменена (0 баллов)
 - присутствуют изменения чувствительности (1 балл)
10. Двигательные расстройства в конечности:
- отсутствие двигательного дефицита (0 баллов)
 - присутствует двигательный дефицит (2 балла)
11. Ожоговая травма:
- отсутствие ожоговой травмы (0 баллов)
 - сопутствующая ожоговая травма (2 балла)
12. Коморбидность:
- отсутствие системных заболеваний (0 баллов)
 - предшествующее травме заболевание периферических сосудов и/или сахарный диабет (1 балл)
13. Несвоевременное обращение в медицинское учреждение:
- < 6 часов (0 баллов)
 - 6–12 часов (1 балл)
 - > 12 часов (2 балла)
14. Несоблюдение режима лечения:
- готовность соблюдать план лечения (0 баллов)
 - несоблюдение режима лечения (1 балл)
15. Сопутствующие переломы:
- только переломы большеберцовой кости (0 баллов)
 - сопутствующие переломы (например, малоберцовой кости, бедренной кости) (2 балла)
16. Прием антикоагулянтов/антиагрегантов
- полное отсутствие в анамнезе приема антикоагулянтов/антиагрегантов (0 баллов)
 - прием антикоагулянтов/антиагрегантов за 24 часа до получения травмы (1 балл)
 - ежедневный прием антикоагулянтов/антиагрегантов (2 балла)

На основании общего балла пациенты могут быть разделены на три группы риска:

- высокий риск: общий балл ≥ 12
- средний риск: общий балл = 6–12
- низкий риск: общий балл ≤ 5

Appendix

SCALE FOR ASSESSING THE PROGNOSTIC RISK OF COMPARTMENT SYNDROME DEVELOPMENT IN PATIENTS WITH TIBIAL FRACTURES

1. Age:

- over 50 years (0 points)
- 18–45 years (1 point)

2. Fracture type:

- closed fracture (1 point)
- open fracture according to Gustillo-Anderson (type I or II) (2 points)
- open fracture according to Gustillo-Anderson (type III) (3 points)

3. Mechanism of injury:

- low-energy mechanism (e.g., falling) (0 points)
- high-energy mechanism (e.g., road traffic accident) (1 point)

4. Soft tissue damage:

- minimal soft tissue damage (0 points)
- extensive soft tissue damage (2 points)

5. Initial intra-tissue pressure readings (measured using a special device):

- ≤ 10 –15 mmHg (0 points)
- 16–24 mmHg (1 point)
- > 25 –29 mmHg (2 points)

6. Consecutive measurements of interstitial pressure (at least 3 times):

- constant increase in interstitial pressure readings (1 point)
- wave-like fluctuations in interstitial pressure (0 points)

7. Pain not corresponding to the severity of the injury:

- no pain or proportional pain (0 points)
- severe disproportionate pain (1 point)

8. Capillary refill symptom:

- less than 3 seconds (0 points)
- more than 3 seconds (1 point)

9. Changes in sensitivity in the limb:

- sensitivity is preserved, not changed (0 points)
- changes in sensitivity are present (1 point)

10. Movement disorders in the limb:

- no movement deficit (0 points)
- movement deficit present (2 points)

11. Burn injury:
 - no burn injury (0 points)
 - concomitant burn injury (2 points)
12. Comorbidity:
 - absence of systemic diseases (0 points)
 - peripheral vascular disease and/or diabetes mellitus preceding the injury (1 point)
13. Late visit to a medical facility:
 - < 6 hours (0 points)
 - 6–12 hours (1 point)
 - > 12 hours (2 points)
14. Non-compliance with treatment regimen:
 - willingness to comply with treatment plan (0 points)
 - non-compliance with treatment regimen (1 point)
15. Associated fractures:
 - only fractures of the tibia (0 points)
 - associated fractures (e.g., fibula, femur) (2 points)
16. Anticoagulant/antiplatelet medication use
 - no history of anticoagulant/antiplatelet medication use (0 points)
 - anticoagulant/antiplatelet medication use within 24 hours prior to injury (1 point)
 - daily anticoagulant/antiplatelet medication use (2 points)

Based on the total score, patients can be divided into three risk groups:

- high risk: total score ≥ 12
- moderate risk: total score = 6–12
- low risk: total score ≤ 5

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Lebedev AK, Lesnyak OM, Galstyan R, Eliseeva LN, Epanov VV, Ismailov SI, et al. Epidemiology of fractures of the forearm, shoulder and lower leg in the population 50 years and older in Russia, Armenia, Moldova and Uzbekistan (study Eva). *Osteoporosis and Osteopathy*. 2016; (2):16. Russian (Лебедев А. К., Лесняк О. М., Галстян Р., Елисеєва Л. Н., Епанов В. В., Исмаилов С. И. и др. Эпидемиология переломов предплечья, плеча и голени у населения 50 лет и старше в России, Армении, Молдове и Узбекистане (исследование Эва) // Остеопороз и остеопатии. 2016. № 2. С. 16.)
2. Larsen P, Elsoe R, Hansen SH, Graven-Nielsen T, Laessoe U, Rasmussen S. Incidence and epidemiology of tibial shaft fractures. *Injury*. 2015;46(4):746-750. doi: 10.1016/j.injury.2014.12.027.
3. Park S, Ahn J, Gee AO, Kuntz AF, Esterhai JL. Compartment syndrome in tibial fractures. *J Orthop Trauma*. 2009;23(7):514-518. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181a2815a.
4. Via AG, Oliva F, Spoliti M, Maffulli N. Acute compartment syndrome. *Muscles Ligaments Tendons J*. 2015;5(1):18-22.
5. Bouklouch Y, Schmidt AH, Obrebsky WT, Bernstein M, Gamburg N, Harvey EJ. Big data insights into predictors of acute compartment syndrome. *Injury*. 2022;53(7):2557-2561. doi: 10.1016/j.injury.2022.02.041.
6. Zhang D, Janssen SJ, Tarabochia M, von Keudell A, Chen N. Risk factors for death and amputation in acute leg compartment syndrome. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2020;30(2):359-365. doi: 10.1007/s00590-019-02563-8.
7. Hargens AR, Mubarak SJ. Current concepts in the pathophysiology, evaluation, and diagnosis of compartment syndrome. *Hand Clin*. 1998;14(3):371-383.
8. Janzing HM. Epidemiology, etiology, pathophysiology and diagnosis of the acute compartment syndrome of the extremity. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2007;33(6):576-583. doi: 10.1007/s00068-007-7151-0.
9. Whitesides Jr T E, Heckman MM. The pathophysiology of compartment syndrome. *Techniques in Orthopaedics*. 2012; 27(1): C. 2–7.
10. Shuler MS, Roskosky M, Kinsey T, Glaser D, Reisman W, Ogburn C, et al. Continual near-infrared spectroscopy monitoring in the injured lower limb and acute compartment syndrome: an FDA-IDE trial. *Bone Joint J*. 2018;100-B(6):787-797. doi: 10.1302/0301-620X.100B6.BJJ-2017-0736.R3.
11. Masquelet AC. Acute compartment syndrome of the leg: pressure measurement and fasciotomy. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2010; 96(8):913-917. doi: 10.1016/j.otsr.2010.08.001.
12. Dover M, Memon AR, Marafi H, Kelly G, Quinlan JF. Factors associated with persistent sequelae after fasciotomy for acute compartment syndrome. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2012;20(3):312-315. doi: 10.1177/230949901202000309.
13. Broadhurst PK, Robinson LR. Compartment syndrome: neuromuscular complications and electrodiagnosis. *Muscle & nerve*. 2020; 62(3): 300–308. doi: 10.1002/mus.26807

14. Wang T, Guo J, Long Y, Hou Z. Predictors of acute compartment syndrome in patients with tibial fractures: a meta-analysis. *Int Orthop*. 2023;47(1):51-65. doi: 10.1007/s00264-022-05643-3.
15. Lollo L, Grabinsky A. Clinical and functional outcomes of acute lower extremity compartment syndrome at a Major Trauma Hospital. *Int J Crit Illn Inj Sci*. 2016;6(3):133-142. doi: 10.4103/2229-5151.190648.
16. Mithoefer K, Lhowe DW, Vrahas MS, Altman DT, Erens V, Altman GT. Functional outcome after acute compartment syndrome of the thigh. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(4):729-737. doi: 10.2106/JBJS.E.00336.
17. Schmidt AH, Bosse MJ, Frey KP, O'Toole RV, Stinner DJ, Scharfstein DO, et al. Predicting acute compartment syndrome (PACS): the role of continuous monitoring. *J Orthop Trauma*. 2017;31 Suppl 1:S40-S47. doi: 10.1097/BOT.0000000000000796.
18. Wennergren D, Bergdahl C, Ekelund J, Juto H, Sundfeldt M, Möller M. Epidemiology and incidence of tibia fractures in the Swedish Fracture Register. *Injury*. 2018;49(11):2068-2074. doi: 10.1016/j.injury.2018.09.008.
19. Agadzhanian VV, Tuzovsky AA. On the issue of treatment of fractures of the tibial condyles. *Polytrauma*. 2022; (2):67-77. Russian (Агаджанян В. В., Тузовский А. А. К вопросу о лечении переломов мыщелков большеберцовой кости // Политравма. 2022. № 2. С. 67–77.)
20. Gamulin A, Lübbecke A, Belinga P, Hoffmeyer P, Perneger TV, Zingg M, et al. Clinical and radiographic predictors of acute compartment syndrome in the treatment of tibial plateau fractures: a retrospective cohort study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):307. doi: 10.1186/s12891-017-1680-4.
21. Stella M, Santolini E, Sanguineti F, Felli L, Vicenti G, Bizzoca D, et al. Aetiology of trauma-related acute compartment syndrome of the leg: a systematic review. *Injury*. 2019;50 Suppl 2:S57-S64. doi: 10.1016/j.injury.2019.01.047.
22. Bodansky D, Doorgakant A, Alsousou J, Iqbal HJ, Fischer B, et al. Acute compartment syndrome: do guidelines for diagnosis and management make a difference? *Injury*. 2018;49(9):1699-1702. doi: 10.1016/j.injury.2018.04.020.
23. von Keudell AG, Weaver MJ, Appleton PT, Bae DS, Dyer GSM, Heng M. Diagnosis and treatment of acute extremity compartment syndrome. *Lancet*. 2015;386(10000):1299-1310. doi: 10.1016/S0140-6736(15)00277-9.
24. Wall CJ, Lynch J, Harris IA, Richardson MD, Brand C, Lowe AJ, et al. Clinical practice guidelines for the management of acute limb compartment syndrome following trauma. *ANZ J Surg*. 2010;80(3):151-156. doi: 10.1111/j.1445-2197.2010.05213.x.
25. Gamulin A, Wuarin L, Zingg M, Belinga P, Cunningham G, Gonzalez AI. Association between open tibia fractures and acute compartment syndrome: a retrospective cohort study. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2022;108(5):103188. doi: 10.1016/j.otsr.2021.103188.

Сведения об авторах:

Абдулазизов О.Н., ассистент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии АГМИ, г. Андижан, Узбекистан.

Худойбердиев К.Т., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и нейрохирургии АГМИ, г. Андижан, Узбекистан.

Турсунов К.К., д.м.н., ассистент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии АГМИ, г. Андижан, Узбекистан.

Каримов М.Ю., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и ВПХ Ташкентской медицинской академии, г. Ташкент, Узбекистан

Адрес для переписки:

Каримов Муродулло Юлдашевич, массив Гулабад, 15-24, Шайхантахурский район, г. Ташкент, Республика Узбекистан, 100020

Тел: + (998) 90 959 8616

E-mail: m.karimov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.08.2024

Рецензирование пройдено 29.09.2024

Подписано в печать 01.12.2024

Information about authors:

Abdulazizov O.N., assistant of department of traumatology, orthopedics and neurosurgery, Andijan State Medical Institute, Andijan, Uzbekistan.

Khudoiberdiev K.T., MD, PhD, professor, chief of department of traumatology, orthopedics and neurosurgery, Andijan State Medical Institute, Andijan, Uzbekistan.

Tursunov K.K., MD, PhD, assistant of department of traumatology, orthopedics and neurosurgery, Andijan State Medical Institute, Andijan, Uzbekistan.

Karimov M.Yu., MD, PhD, professor, chief of department of traumatology, orthopedics and military field surgery, Tashkent Medical Academy, Tashkent, Uzbekistan.

Address for correspondence:

Karimov Murodulla Yuldashevich, Gulobod, Shayhantohur district, 15-24, Tashkent, Uzbekistan, 100020

Tel: + (998) 90 959 8616

E-mail: m.karimov@mail.ru

Received 21.08.2024

Review completed 29.09.2024

Passed for printing 01.12.2024