

Н.В. Васильченко¹, А.А. Ветошкин², С.С. Гусев¹

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТАТЬЯХ ПО ЛЕЧЕНИЮ ТРАВМ ВРАЩАТЕЛЬНОЙ МАНЖЕТЫ ПЛЕЧА С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ

¹ Клиническая больница № 1 (Волынская) Управления делами Президента России
(Россия, Москва, ул. Старовольнская, д. 10);

² Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России
(Россия, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2)

Актуальность. Частота разрывов вращательной манжеты плеча остается на высоком уровне, и снижение этого показателя не наблюдается. Несмотря на прогресс в диагностике и хирургическом лечении, а также на наличие обширных научных данных и модификаций оперативных подходов, достижение желаемых клинических результатов не всегда возможно. Это побуждает исследователей и клиницистов к поиску альтернативных способов получения положительных клинических результатов. Недавние исследования в области ортопедии продемонстрировали положительный эффект от использования биологически активных материалов, особенно мультипотентных стволовых клеток, для регенерации тканей. Поэтому применение клеточных препаратов для создания благоприятной среды в зоне повреждения сухожилий вращательной манжеты плеча представляется перспективной стратегией.

Цель – провести кластерный анализ и визуализацию ключевых слов в зарубежных статьях по инновационным методам лечения травм вращательной манжеты плеча, включая применение биологически активных препаратов.

Методология. Объект исследования составили научные статьи, представленные в международной справочно-библиографической базе данных PubMed, поисковый запрос состоял из слов, соединенных в словосочетании оператором ИЛИ (OR) (bone marrow aspirate concentrate OR stem cells OR platelet), и второго словосочетания (rotator cuff injuries), период – 10 лет (2013–2022 гг.). Поиск позволил выявить 484 отклика на научные статьи, библиографические сведения о которых в формате «.txt» выгрузили в аналитическую программу VOSviewer 1.6.20.

Результаты и их анализ. Полиномиальный тренд динамики при очень высоком коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,94$) показывал увеличение количества статей. Их среднегодовое количество было 46. При 3 повторениях оказалось 207 ключевых слов, которые разделили на 7 кластеров. 1-й кластер, названный «Результаты артроскопического лечения вращательной манжеты», содержал 21,1% статей с общей силой связи 22,5%, 2-й кластер – «Применение обогащенной тромбоцитами плазмы при травмах и заболеваниях вращательной манжеты плеча» – 24,2 и 21,2% соответственно, 3-й – «Биологические модели» – 18,6 и 20,0%, 4-й – «Регенеративный потенциал мезенхимальных стволовых клеток» – 15,2 и 15,4%, 5-й – «Использование мезенхимальных стволовых клеток при травмах вращательной манжеты» – 11,7 и 11,2%, 6-й – «Эффективность применения мезенхимальных стволовых клеток при повреждениях вращательной манжеты» – 8,6 и 8,6%, 7-й – «Применение биологически активных препаратов в ортопедии / ортобиология» – 1,4 и 1,1% соответственно. Также представлены ведущие научные школы и авторы.

Заключение. В течение последних 10 лет результаты научных исследований определили направления и способствовали улучшению информационной поддержки ученых и практикующих специалистов, занимающихся изучением инновационных методов лечения травм вращательной манжеты плеча, включая использование биологически активных препаратов.

Ключевые слова: травма, вращательная манжета плеча, стволовая клетка, биологически активные препараты, обогащенная тромбоцитами плазма, наукометрия, кластерный анализ, PubMed, VOSviewer.

✉ Васильченко Никита Вадимович – врач-травматолог-ортопед, отд. травматологии и реабилитации, Клинич. больница № 1 (Волынская) Упр. делами Президента России (Россия, 121352, Москва, ул. Старовольнская д. 10), ORCID: 0009-0009-4516-1346, e-mail: infosustav@ya.ru;

Ветошкин Александр Александрович – канд. мед. наук доц., врач-травматолог-ортопед, отд. травматологии и ортопедии, Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, д. 4/2), ORCID: 0000-0003-3258-2220, e-mail: totoalex5@gmail.com;

Гусев Сергей Сергеевич – врач-травматолог-ортопед, отд. травматологии и ортопедии, Клинич. больница № 1 (Волынская) Упр. делами Президента России (Россия, 121352, Москва, ул. Старовольнская, д. 10), ORCID: 0009-0007-4387-6431, e-mail: dr.sergeygusev@gmail.com

Введение

Проблема разрывов вращательной манжеты плеча представляет собой актуальную задачу из-за высокой распространенности данного заболевания, разнообразных клинических результатов и отсутствия единого подхода к оптимальной тактике лечения. Массивные разрывы вращательной манжеты составляют 20% от всех случаев разрывов этой структуры и приводят в 80% случаев к рецидивирующим разрывам [16].

Патология вращательной манжеты плеча является одной из основных причин инвалидности, связанной с плечом. Социальные издержки включают прямые и косвенные расходы. Прямые затраты связаны с диагностикой и лечением, а косвенные – с потерей дохода из-за невозможности работать или уменьшения заработной платы, пропущенными рабочими днями и выплатами по инвалидности. Несмотря на высокую стоимость, восстановление вращательной манжеты способствует улучшению продолжительности и качества жизни для всех пациентов независимо от возраста [11].

Хирургическое лечение разрывов вращательной манжеты может сопровождаться рецидивами, которые встречаются в 20–40% случаев при небольших повреждениях и могут достигать 94% при массивных разрывах [7].

Наблюдаемые ранние послеоперационные нарушения могут указывать на более медленное биологическое заживление сухожилий, чем ожидалось. После первичной реконструкции механические нарушения заживления могут проявиться в течение 4 мес. Возможными причинами неудачи оперативного лечения считается недостаточное формирование фиброзной рубцовой ткани между сухожилиями и костью. Для восстановления функции после травм сухожилий необходимо восстановить как непрерывность сухожильных волокон, так и механизм скольжения между сухожилием и смежными анатомическими структурами. Низкий уровень васкуляризации измененных сухожилий также способствует увеличению частоты рецидивов. Несмотря на появление новых шовных материалов и фиксаторов, интерфейс между швом и сухожилием остается самым уязвимым местом, и разрыв шва может привести к повторному повреждению. Поэтому методы стимуляции биологической среды играют ключевую роль в снижении риска рецидивов в раннем послеоперационном периоде [10].

Использование основополагающих научных знаний направлено на усиление репаратив-

ного потенциала, стимулирование клеточного ответа и адаптацию тканей для достижения значимых клинических результатов. Основная цель этого подхода заключается в создании регенеративной среды после реконструкции вращательной манжеты путем использования внешних факторов, способствующих клеточной пролиферации и соответствующей дифференцировке, при этом подавляя провоспалительные процессы и образование рубцов. Можно сделать вывод о целесообразности применения биологической аугментации для улучшения приживаемости тканей манжеты к кости [14].

Для улучшения прочности и качества восстановленной ткани в области сухожилия были специально разработаны биологически активные материалы и адьюванты. Среди них можно выделить добавление факторов роста, обогащенную тромбоцитами плазму (PRP), мезенхимальные стволовые клетки из костного мозга или жировой ткани, стволовые клетки (ADSC), а также алло- и ксенотрансплантаты, биологические каркасы и матрицы [6].

В мета-анализе [4] продемонстрировали клиническое преимущество инъекций PRP в средне- и долгосрочном контроле болевых симптомов при тендинопатиях вращательной манжеты плеча, при концентрации тромбоцитов в 2,5–8,0 раз больше референсного диапазона цельной крови [5]. В сравнительном исследовании [12] инъекций PRP и глюкокортикостероидов плазма, обогащенная тромбоцитами, показала сопоставимые результаты эффективности с наименьшим количеством осложнений. Несмотря на то, что инъекции PRP продемонстрировали значительное преимущество в контроле средне- и долгосрочных симптомов боли, данный эффект не влиял на показатели функциональных шкал оценки функции плеча [8]. По результатам мета-анализа [13] применение PRP при артроскопическом восстановлении вращательной манжеты снижает частоту повторных разрывов и улучшает показатели клинических функций. В другом систематическом обзоре [15] не обнаружили достаточно высокий уровень доказательств улучшения показателей клинических результатов и снижение повторных разрывов после артроскопического шва вращательной манжеты с использованием PRP, но исследователи отмечают перспективу в совместном использовании PRP и твердой матрицы. Также исследователями проявляется интерес к качественному составу плазмы, богатой тромбоцитами, и ее влиянию на регенерацию вращательной манжеты плеча. Так, в мета-анализе [19] рассмат-

ривается клиническая эффективность бедной лейкоцитами и богатой тромбоцитами плазмы (LP-PRP) в контексте артроскопического восстановления вращательной манжеты плеча. Исследование подтверждает, что LP-PRP имеет преимущества по сравнению с обычной PRP.

В современной научной литературе наблюдается возрастающий интерес к изучению мезенхимальных стволовых клеток, характеризующихся мультипотентностью и способностью к дифференциации. Эти клетки рассматриваются как обладающие значительным потенциалом для использования в области регенеративной медицины, что обусловлено их способностью к обновлению и восстановлению тканей. Параллельно с глубиной понимания механизмов работы и возможностей мезенхимальных стволовых клеток акцент в исследованиях делается на применении концентрированного аспирата костного мозга, который представляет собой альтернативный подход к получению и использованию стволовых клеток без необходимости их длительного и сложного культивирования. Данная методика выделяется рядом преимуществ, включая упрощенные условия проведения процедур, доступность исходного материала и возможность одномоментного выполнения операций. Сравнительный анализ показал [20], что концентрат аспирата костного мозга по сравнению с PRP содержит повышенное количество факторов роста, которые оказывают противовоспалительное и анаболическое действие, что усиливает его потенциальную ценность для регенеративных процедур.

В рамках систематического обзора [9] был проведен анализ 22 исследований, которые демонстрируют положительный эффект использования стволовых клеток в сравнении с контрольными группами при лечении повреждений вращательной манжеты плеча. В результате применения стволовых клеток было зафиксировано статистически значимое снижение показателей на визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ) через 1, 3 и 6 мес постоперационного периода, а также улучшение функциональных показателей по шкале American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) спустя 3 мес после процедуры.

На данный момент в литературе не существует консенсуса касательно клинической эффективности использования концентрированного аспирата костного мозга. Отсутствие однозначных заключений обусловлено рядом факторов, включая неоднородность в данных о корреляции между успешным заживлением

тканей и последующими клиническими результатами. Кроме того, различия в характеристиках основного заболевания, принятых подходах к реабилитации, демографических параметрах популяции пациентов, отсутствие групп контроля, гетерогенность в методиках применения клеточных технологий и документировании клинических исходов существенно усложняют процесс оценки эффективности данного инновационного подхода в лечении повреждений вращательной манжеты плеча [18].

За последние годы сформировалась обширная база знаний по данной теме, включающая в себя многоаспектную проблематику, что обосновывает необходимость осуществления ревизии, организации и структурирования, а также проведения критического обзора литературы, касающейся инновационных методик лечения травм вращательной манжеты плечевого сустава с использованием биологически активных препаратов. Эта потребность получила свое подтверждение в недавно опубликованных исследованиях международного сообщества, объектом которых стали научные публикации последних 20 лет.

С 2010 г. для анализа массивов статей зарубежными авторами стала использоваться программа VOSviewer, которая находится в свободном доступе [17]. Отечественные публикации с применением этой программы немногочисленны. Например, изучали статьи по боевому стрессу [3], в том числе, с применением семантического анализа ключевых слов [2] и др.

В предыдущей нашей публикации при помощи программы VOSviewer проведен анализ направлений научных исследований при травмах вращательной манжеты плеча [1]. Например, в 1-м кластере объединили статьи, в которых анализировали травмы и другие повреждения вращательной манжеты плеча и сухожилий, во 2-м – результаты артроскопической реконструкции повреждений вращательной манжеты, в 3-м – анатомию плечевого сустава, в 4-м – биомеханику плечевого сустава и манжеты ротаторов, в 5-м – послеоперационный анализ хирургической реконструкции повреждений вращательной манжеты плеча, в 6-м – хирургические подходы (техники) при реконструкции повреждений вращательной манжеты, в 7-м – структурное восстановление функции плеча после хирургической реконструкции повреждений вращательной манжеты. Найдены ведущие авторы и научные школы.

Проведенный обзор показал, что в обозримой перспективе востребованными и ценны-

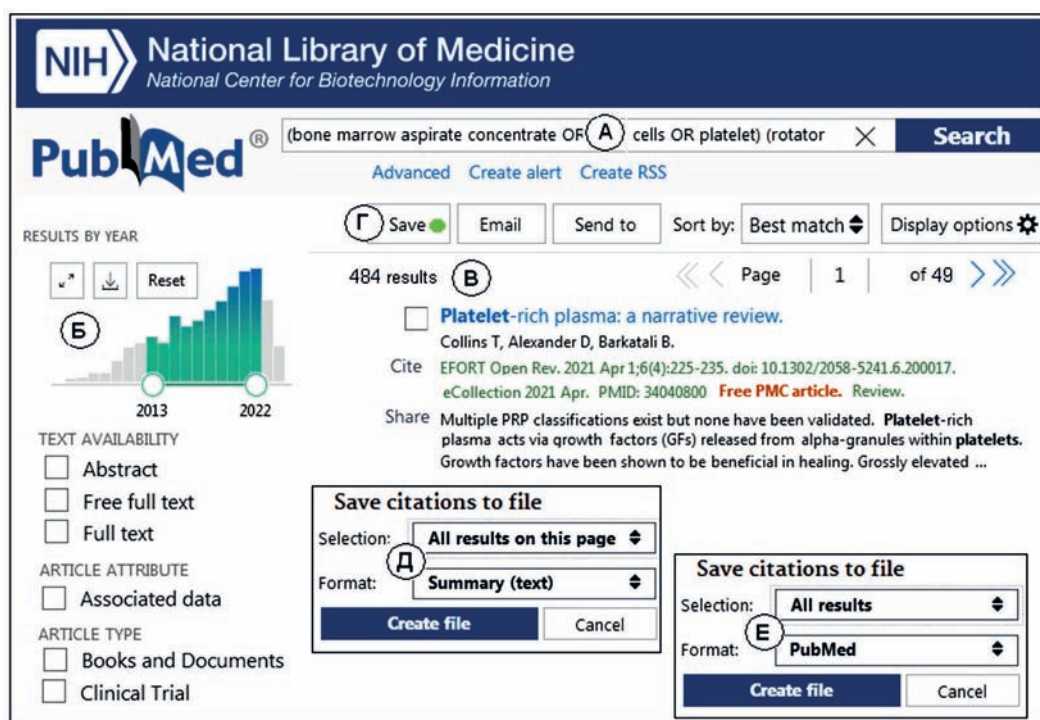


Рис. 1. Поиск зарубежных статей в базе данных PubMed.

ми темами могут стать уточнение алгоритмов предоперационной стратификации пациентов и риск-менеджмент с помощью современных систем диагностики; сравнительный долгосрочный анализ передовых минимально инвазивных методик; перспективы применения биологически активных препаратов; интегрированная сбалансированная оценка послеоперационных результатов с учетом структурного восстановления и качества жизни [1].

Цель – анализ инновационного лечения травм вращательной манжеты плеча, в том числе, с применением биологически активных препаратов.

Материал и методы

Использовали международную справочно-библиографическую базу данных PubMed. Поисковый запрос состоял:

- из слов, соединенных в словосочетании оператором ИЛИ (OR) (bone marrow aspirate concentrate OR stem cells OR platelet), и второго словосочетания (rotator cuff injuries), соединенного с первым словосочетанием при помощи оператора И (AND), который обычно не указывается при поиске (рис. 1А);

- период публикации статей – 10 лет (2013–2022 гг.) (см. рис. 1Б).

Поиск позволил найти 484 отклика на зарубежные статьи (см. рис. 1В). Полиномиаль-

ный тренд при очень высоком коэффициенте детерминации ($R^2 = 0,94$) показывал увеличение данных. Рутинным способом просмотрели найденные статьи и исключили поисковый шум, который составил 5,4%. На рис. 2 показана динамика проанализированных 458 статей. Среднегодовой показатель был 46 статей, медиана с квантилями ($Me[Q_1; Q_2]$) – 43 [36; 58] статей.

При помощи опции Save (см. рис. 1Г) во всплывающем окне выбирали режим «All results» и формат «PubMed» (см. рис 1Д, Е).

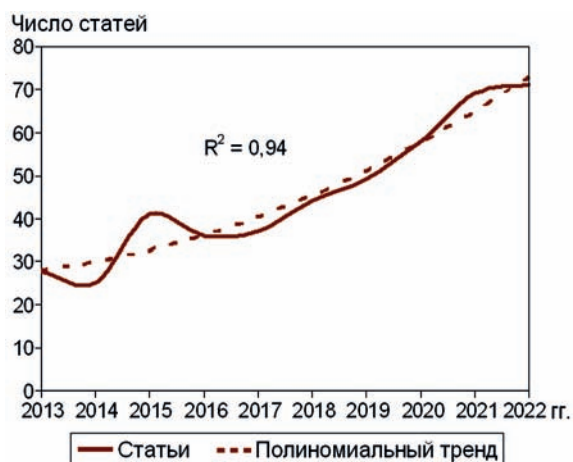


Рис. 2. Динамика проанализированных зарубежных статей.

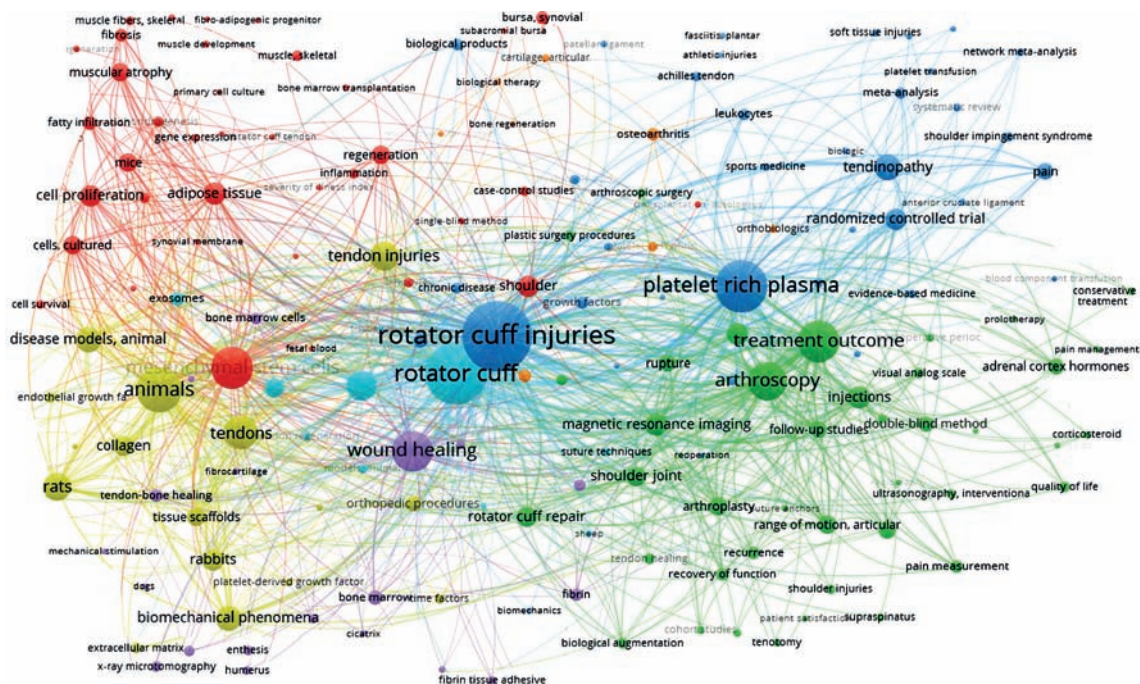


Рис. 3. Взаимоотношения ключевых слов в общем массиве (1-й кластер – зеленый цвет, 2-й – синий, 3-й – желтый, 4-й – красный, 5-й – бирюзовый, 6-й – фиолетовый, 7-й – оранжевый цвет).

Полученный массив публикаций в формате «.txt» загрузили в аналитическую программу VOSviewer 1.6.20 и находили частоту сходства ключевых слов в статьях или соавторов в публикациях. Эти закономерности способствовали объединению их в кластеры. Силу связей (Link Strength) ключевых слов оценивали по числу совместной встречаемости двух слов в статьях, а Total Link Strength показывал общую силу связей их в статьях и принят основополагающим при ранжировании терминов или кластеров. При визуализации взаимоотношений диаметр маркера изучаемого термина (ключевого слова или автора) определялся числом статей (Occurrences), а толщина линий между маркерами – силой связей (Link Strength). Установив курсор на графические изображения, во всплывающем окне можно было увидеть цифровые данные.

Результаты и их анализ

При 3 повторениях в массиве статей оказалось 207 ключевых слов, которые при помощи программы VOSviewer распределили в 7 кластеров (рис. 3): 1-й кластер состоял из 44 слов, 2-й – из 38, 3-й – из 31, 4-й – из 47, 5-й – из 12, 6-й – из 25, 7-й – из 8 слов. Доли общей силы кластеров ключевых слов в массиве статей представлены на рис. 4. В табл. 1 отобраны 10 ключевых слов с наибольшей силой связи в кластере.

В 1-м кластере, названном «Результаты артроскопического лечения вращательной манжеты», представлены 44 ключевых слова в 21,1 % статей с общей силой связи 22,5 % от всего массива. Взаимоотношения ключевых слов в кластере показаны на рис. 5.

Во 2-м кластере, который был назван «Применение обогащенной тромбоцитами плазмы при травмах и заболеваниях вращательной манжеты плеча», объединили 38 ключевых слов в 24,2 % статей с общей силой связи 21,2 %.

В 3-м кластере представлено 31 ключевое слово в 18,6 % статей с общей силой связи

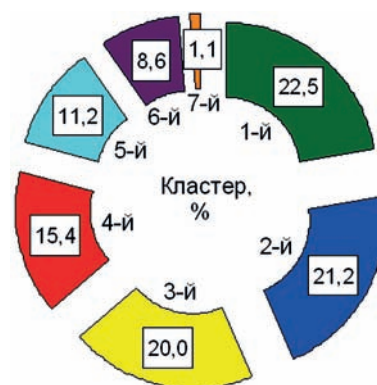


Рис. 4. Структура долей общей силы ключевых слов в кластерах в общем массиве статей.

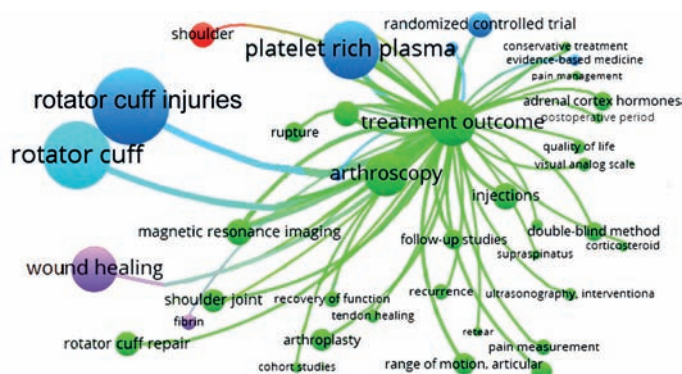


Рис. 5. Взаимосвязи ключевых слов в 1-м кластере статей (зеленый цвет).

Таблица 1

Ведущие ключевые слова в кластерах

Ранг	Ключевые слова	Число статей, n (%)	Общая сила связи, %
1-й кластер «Результаты артроскопического лечения вращательной манжеты»			
1-й	Treatment outcome/результат лечения	124 (3,6)	3,4
2-й	Arthroscopy/артроскопия	106 (3,1)	2,8
3-й	Magnetic resonance imaging/магнитно-резонансная томография	37 (1,1)	1,3
4-й	Injections/инъекции	36 (1,1)	1,2
5-й	Rotator cuff repair/ремонт вращательной манжеты	30 (0,9)	1,1
6-й	Prospective studies/проспективные исследования	34 (1,0)	1,0
7-й	Shoulder joint/плечевой сустав	28 (0,8)	0,9
8-й	Range of motion, articular/суставной объем движений	26 (0,8)	0,9
9-й	Arthroplasty/артропластика	25 (0,7)	0,8
10-й	Shoulder pain/боль в плече	23 (0,7)	0,7
	Доля в общем массиве статей	722 (21,1)	22,5
2-й кластер «Применение обогащенной тромбоцитами плазмы при травмах и заболеваниях вращательной манжеты плеча»			
1-й	Rotator cuff injuries/травмы вращательной манжеты плеча	346 (10,1)	9,1
2-й	Platelet rich plasma/плазма, богатая тромбоцитами	194 (5,7)	4,6
3-й	Tendinopathy/тендинопатия	48 (1,4)	1,1
4-й	Randomized controlled trial/рандомизированное контролируемое исследование	34 (1,0)	0,9
5-й	Pain/боль	21 (0,6)	0,4
6-й	Intercellular signaling peptides and proteins/межклеточные сигнальные пептиды и белки	15 (0,4)	0,4
7-й	Chronic disease/хроническое заболевание	9 (0,3)	0,4
8-й	Growth factors/факторы роста	12 (0,4)	0,3
9-й	Meta-analysis/мета-анализ	10 (0,3)	0,3
10-й	Leukocytes/лейкоциты	10 (0,3)	0,2
	Доля в общем массиве статей	827 (24,2)	21,2
3-й кластер «Биологические модели»			
1-й	Animals/животные	146 (4,3)	4,5
2-й	Tendons/сухожилия	83 (2,4)	2,4
3-й	Rats/крысы	57 (1,7)	1,8
4-й	Tendon injuries/травмы сухожилий	59 (1,7)	1,7
5-й	Disease models, animal/модели болезней, животные	47 (1,4)	1,6
6-й	Biomechanical phenomena/биомеханические явления	44 (1,3)	1,4
7-й	Rabbits/кролики	33 (1,0)	1,0
8-й	Collagen/коллаген	29 (0,8)	0,9
9-й	Tissue scaffolds/тканевые каркасы	26 (0,8)	0,8
10-й	Orthopedic procedures/ортопедические процедуры	17 (0,5)	0,5
	Доля в общем массиве статей	635 (18,6)	20,0

Окончание табл. 1

Ранг	Ключевые слова	Число статей, n (%)	Общая сила связи, %
4-й кластер «Регенеративный потенциал мезенхимальных стволовых клеток»			
1-й	Mesenchymal stem cells/мезенхимальные стволовые клетки	122 (3,6)	3,5
2-й	Adipose tissue/жировая ткань	37 (1,1)	1,2
3-й	Cell proliferation/пролиферация клеток	34 (1,0)	1,0
4-й	Cells, cultured/культивированные клетки	25 (0,7)	0,9
5-й	Shoulder/плечо	32 (0,9)	0,9
6-й	Mice/мыши	26 (0,8)	0,8
7-й	Muscular atrophy/мышечная атрофия	26 (0,8)	0,7
8-й	Regeneration/регенерация	24 (0,7)	0,7
9-й	Fatty infiltration/жировая инфильтрация	14 (0,4)	0,4
10-й	Fibrosis/фиброз	12 (0,4)	0,4
Доля в общем массиве статей		519 (15,2)	15,4
5-й кластер «Использование мезенхимальных стволовых клеток при травмах вращательной манжеты»			
1-й	Rotator cuff/вращательная манжета	261 (7,6)	7,1
2-й	Mesenchymal stem cell transplantation/трансплантация мезенхимальных стволовых клеток	63 (1,8)	2,0
3-й	Tissue engineering/тканевая инженерия	27 (0,8)	0,8
4-й	Exosomes/экзосомы	13 (0,4)	0,3
5-й	Models, animal/модели, животные	7 (0,2)	0,2
6-й	Suture techniques/методы наложения швов	6 (0,2)	0,2
7-й	Tensile strength/предел прочности	4 (0,1)	0,1
8-й	Sheep/овца	4 (0,1)	0,1
9-й	Chitosan/хитозан	3 (0,1)	0,1
10-й	Tissue repair/восстановление тканей	3 (0,1)	0,1
Доля в общем массиве статей		399 (11,7)	11,2
6-й кластер «Эффективность применения мезенхимальных стволовых клеток при повреждениях вращательной манжеты»			
1-й	Wound healing/лечение раны	116 (3,4)	3,6
2-й	Bone marrow/костный мозг	15 (0,4)	0,4
3-й	Fibrin/фибрин	12 (0,4)	0,4
4-й	Tendon-bone healing/заживление сухожилий и костей	11 (0,3)	0,4
5-й	Bone marrow cells/клетки костного мозга	10 (0,3)	0,4
6-й	X-ray microtomography/рентгеновская микротомография	8 (0,2)	0,3
7-й	Combined modality therapy/комбинированная терапия	10 (0,3)	0,3
8-й	Enthesis/энтузиазм	7 (0,2)	0,3
9-й	Hydrogels/гидрогели	8 (0,2)	0,2
10-й	Random allocation/случайное распределение	6 (0,2)	0,2
Доля в общем массиве статей		263 (8,6)	8,6
7-й кластер «Применение биологически активных препаратов в ортопедии / ортобиология»			
1-й	Regenerative medicine/регенеративная медицина	11 (0,3)	0,3
2-й	Osteoarthritis/остеоартрит	11 (0,3)	0,2
3-й	Platelet-rich fibrin/богатый тромбоцитами фибрин	7 (0,2)	0,2
4-й	Cartilage, articular/хрящевой, суставной	5 (0,1)	0,1
5-й	Biological therapy/биологическая терапия	4 (0,1)	0,1
6-й	Orthobiologics/ортобиологические препараты	5 (0,1)	0,1
7-й	Bone regeneration/регенерация кости	3 (0,1)	0,1
8-й	Musculoskeletal system/костно-мышечная система	3 (0,1)	0,1
Доля в общем массиве статей 49 (1,4)		1,1	
Итого		3414 (100,0)	100,0

20%. Кластер получил название «Биологические модели». Взаимоотношения ключевых слов в кластере показаны на рис. 7.

В 4-м кластере были объединены 47 ключевых слов в 15,2% статей с общей силой связи 15,4%. Кластер получил название «Регенера-

тивный потенциал мезенхимальных стволовых клеток». Взаимоотношения ключевых слов в кластере показаны на рис. 8.

В 5-м кластере «Использование мезенхимальных стволовых клеток при травмах вращательной манжеты» представлены 12 ключе-

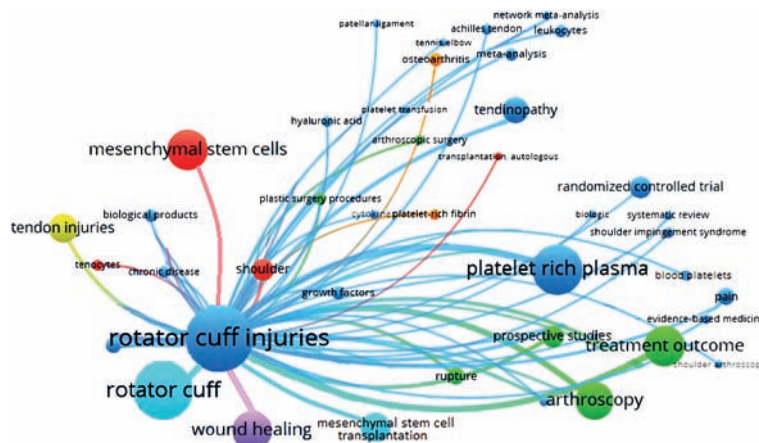


Рис. 6. Взаимосвязи ключевых слов во 2-м кластере статей (синий цвет).

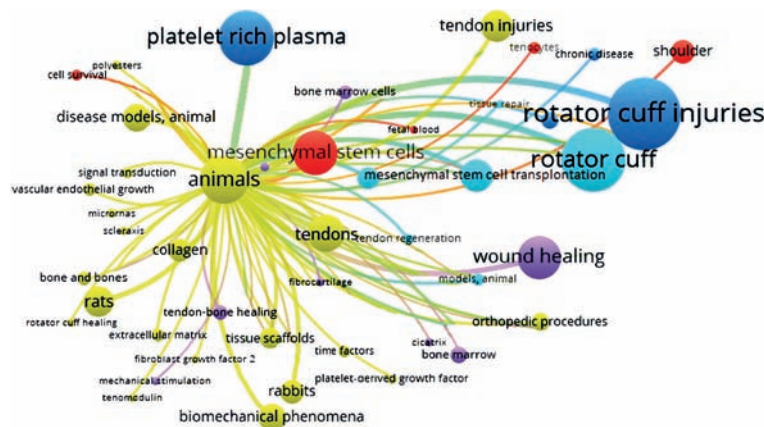


Рис. 7. Взаимосвязи ключевых слов в 3-м кластере статей (желтый цвет).

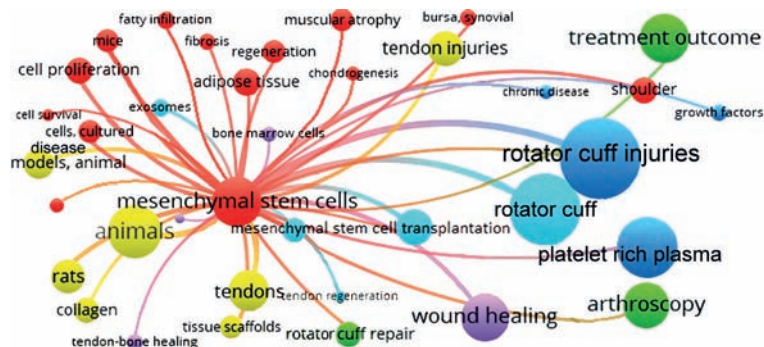


Рис. 8. Взаимосвязи ключевых слов в 4-м кластере статей (красный цвет).

вых слов в 11,7% статей с общей силой связи 11,2%. Взаимоотношения ключевых слов в кластере показаны на рис. 9.

В 6-м кластере объединили 25 ключевых слов в 8,6% статей с общей силой связи 8,6%. Кластер получил название «Эффективность применения мезенхимальных стволовых клеток при повреждениях вращательной манжеты». Взаимоотношения ключевых слов в кластере показаны на рис. 10.

В 7-м кластере представлены 8 ключевых слов в 1,4% статей с общей силой связи 1,1%. Кластер получил название «Применение биологически активных препаратов в ортопедии / ортобиология». Взаимоотношения ключевых слов в кластере показаны на рис. 11.

Массив статей написали 1850 авторов (соавторов). 6 статей, изданных авторами единолично или в соавторстве, имели 15 авторов. При помощи программы VOSviewer сформи-

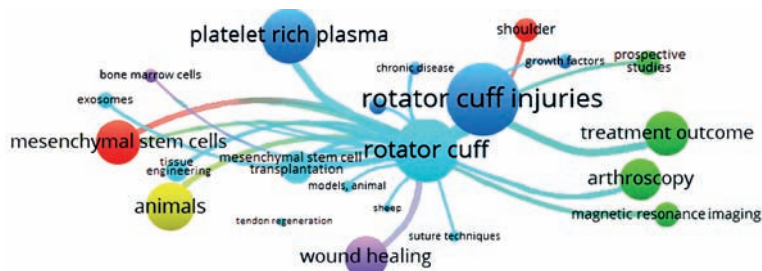


Рис. 9. Взаимосвязи ключевых слов в 5-м кластере статей (бирюзовый цвет).

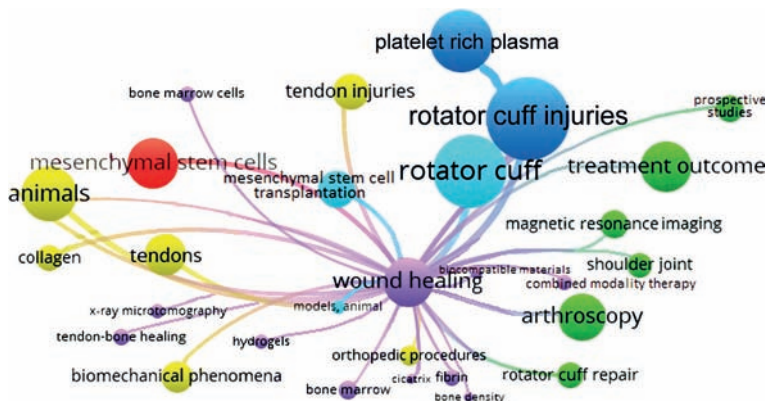


Рис. 10. Взаимосвязи ключевых слов в 6-м кластере статей (фиолетовый цвет).

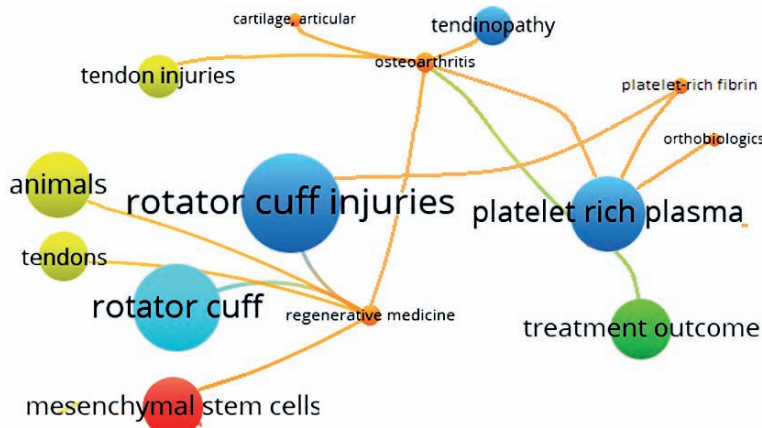


Рис. 11. Взаимосвязи ключевых слов в 7-м кластере статей (оранжевый цвет).

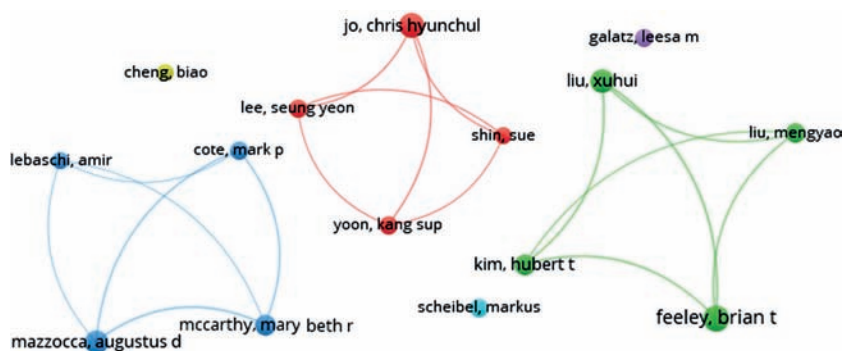


Рис. 12. Ведущие научные школы по лечению травм плеча с использованием биологически активных препаратов.

рованы ведущие научные школы. В 1–3-й кластеры вошли по 4 автора, в 4–6-й – по 1 автору. Наглядно взаимоотношения соавторов статей показаны на рис. 12, в табл. 2 – наукометрические показатели статей.

Обсуждение. Развитие методов восстановления функции вращательной манжеты должно опираться на разработку и объединение клеточных или биологических подходов с техниками хирургической реконструкции. Предполагается, что поиск идеального сочетания биологических средств и хирургической реконструкции позволит улучшить результаты лечения у пациентов, страдающих от обширных и тяжелых разрывов вращательной ман-

жеты. Следующим шагом в развитии терапии повреждений вращательной манжеты может стать разработка целенаправленных фармакологических агентов, способных модулировать местную реакцию ткани, ускорять регенерацию и минимизировать воспаление. В этом контексте исследования молекулярных механизмов повреждения и восстановления тканей манжеты представляют особую значимость, так как позволяют разрабатывать лекарственные средства, нацеленные на конкретные патологические процессы.

На данный момент не было сформулировано окончательных оценок касательно клинической эффективности использования био-

Таблица 2

Авторы и ведущие научные школы по лечению травм плеча с использованием биологически активных препаратов

Автор (организация, страна)	Число статей, n (%)	Общая сила связи, %
1-й кластер		
Brian Feeley (Department of Orthopaedic Surgery, University of California, San Francisco, California, USA)	14 (10,8)	11,8
Liu Xuhui (Department of Orthopaedic Surgery, University of California, San Francisco, California, USA)	12 (9,2)	11,8
Kim Hubert (Department of Orthopaedic Surgery, University of California, San Francisco, California, USA)	9 (6,9)	9,8
Liu Mengyao (Department of Orthopaedic Surgery, University of California, San Francisco, California, USA)	8 (6,2)	8,9
Доля в массиве статей ведущих научных школ	43 (33,1)	42,3
2-й кластер		
Augustus Mazzocca (Department of Orthopaedic Surgery, University of Connecticut Health Center, Farmington, Connecticut, USA)	12 (9,2)	8,1
Mary Beth Mccarthy (Department of Orthopaedic Surgery, University of Connecticut Health Center, Farmington, Connecticut, USA)	9 (6,9)	8,1
Mark Cote (Department of Orthopaedic Surgery, University of Connecticut Health Center, Farmington, Connecticut, USA)	7 (5,4)	7,3
Amir Lebaschi (Department of Orthopaedic Surgery, University of Connecticut Health Center, Farmington, Connecticut, USA)	6 (6,4)	4,9
Доля в массиве статей ведущих научных школ	34 (26,2)	28,5
3-й кластер		
Jo Chris Hyunchul (Department of Orthopedic Surgery, SMG-SNU Boramae Medical Center, Seoul National University College of Medicine, Dongjak-gu, Seoul, Republic of Korea)	13 (10,0)	8,1
Lee Seung Yeon (Department of Orthopedic Surgery, SMG-SNU Boramae Medical Center, Seoul National University College of Medicine, Dongjak-gu, Seoul, Republic of Korea)	7 (5,4)	7,3
Yoon Kang Sup (Department of Orthopedic Surgery, SMG-SNU Boramae Medical Center, Seoul National University College of Medicine, Dongjak-gu, Seoul, Republic of Korea)	7 (5,4)	6,9
Shin Sue (Department of Laboratory Medicine, SMG-SNU Boramae Medical Center, Seoul National University College of Medicine, Dongjak-gu, Seoul, Republic of Korea)	6 (4,6)	6,9
Доля в массиве статей ведущих научных школ	33 (25,4)	29,3
4–6-й кластер		
Leesa Galatz (Department of Orthopaedic Surgery, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York, USA)	7 (5,4)	0,0
Markus Scheibel (Center for Musculoskeletal Surgery, Charite-Universitaetsmedizin Berlin, Berlin, Germany)	7 (5,4)	0,0
Cheng Biao (The First School of Clinical Medicine, Southern Medical University, Guangzhou, China)	6 (4,6)	0,0
Итого	130 (100,0)	100,0

логически активных препаратов. Это связано с противоречивыми данными о связи между успешным лечением и клиническими результатами, разнообразием первичных заболеваний, методиками лечения, демографическими характеристиками пациентов, отсутствием контрольных групп, различиями в подходах к использованию клеточных технологий и вариативностью в документировании клинических исходов.

Объединение биологических и инженерных подходов, таких как тканевая инженерия и регенеративная медицина, представляет собой еще одно направление, которое имеет потенциал кардинально изменить стратегии лечения вращательной манжеты. Использование собственных клеток пациента для создания тканей в лабораторных условиях, последующая их имплантация и интеграция с существующими тканями обещают высокую эффективность и минимальный риск отторжения.

Для мониторинга текущего состояния, направлений развития и траектории прогресса в сфере инновационных методов лечения с использованием биоактивных веществ для восстановления повреждений ротаторной манжеты плеча, а также для выявления будущих исследовательских тенденций и интересов ученых используется метод наукометрического анализа. Данный подход позволяет систематизировать и оценить научные работы, выявить лидирующих ученых, определить ключевые публикации, наиболее авторитетные научные журналы, активно участвующие страны и ведущие научно-исследовательские центры мирового уровня. Так, наукометрический анализ оказывается крайне важным инструментом, предоставляющим ценное понимание в области исследований вращательной манжеты и стремления к интеграции новейших биологических методов лечения. Через этот аналитический подход можно идентифицировать не только текущие направления научных изысканий, но и прогнозировать возможные инновации, которые могут заметно повлиять на клинические практики в будущем. Это, в свою очередь, способствует более быстрому внедрению новшеств и улучшению лечебных исходов для пациентов.

В последние годы наблюдается увеличение количества публикаций, связанных с усилением хирургической активности в лечении патологий вращательной манжеты и последующим анализом эффективности этого лечения. Этот тренд стимулирует научное и клиническое сообщество к поиску дополнительных методов

для повышения эффективности лечебных подходов.

Объединенная работа с ключевыми словами и разработка визуальной карты знаний на их основе дали возможность выполнить кластерный анализ по лечению травм вращательной манжеты плеча с применением биологически активных препаратов. В исследовании массив статей объединен в 7 кластеров.

Публикации 1-го кластера «Результаты артроскопического лечения вращательной манжеты» – прямой индикатор научного стремления к исследованию новаторских методик с целью оптимизации результатов хирургического вмешательства для лечения состояний, связанных с повреждениями вращательной манжеты плеча, что активно рассматривается в клинической среде.

В статьях 2-го кластера «Применение обогащенной тромбоцитами плазмы при травмах и заболеваниях вращательной манжеты плеча», в свою очередь, отображается значительный интерес к применению терапии с использованием плазмы, обогащенной тромбоцитами, в контексте восстановления функций вращательной манжеты. Можно предположить, что данный интерес обусловлен не только широким распространением упомянутой процедуры, но также простотой процесса сбора и последующей обработки биологического материала.

Авторы в статьях 3-го кластера «Биологические модели» демонстрируют повышение актуальности в разработке новых биосовместимых материалов для имплантации и регенерации ткани, что подчеркивает еще одно важное направление исследований.

Публикации 4-го кластера «Регенеративный потенциал мезенхимальных стволовых клеток» свидетельствуют о дальнейшем научном поиске других высокоактивных биологических агентов, главными претендентами из которых являются мезенхимальные стволовые клетки. Их использование в лечении и восстановлении поврежденных тканей вращательной манжеты плеча привлекает исследователей благодаря их способности дифференцироваться в различные типы клеток и выделять факторы, способствующие регенерации тканей и модуляции иммунного ответа. Таким образом, мезенхимальные стволовые клетки могут оказывать двойное действие: способствуя восстановлению пострадавших тканей и улучшению функциональности вращательной манжеты плеча, а также уменьшая воспалительные процессы и болевые симптомы, что делает этот подход особенно привлекательным для клинического применения.

Авторы в статьях 4-, 5-го кластера «Использование мезенхимальных стволовых клеток при травмах вращательной манжеты» и 6-го кластера «Эффективность применения мезенхимальных стволовых клеток при повреждениях вращательной манжеты» демонстрируют полученные результаты использования мезенхимальных стволовых клеток при повреждениях вращательной манжеты. Несмотря на обнадеживающие результаты предварительных исследований, применение мезенхимальных стволовых клеток для лечения повреждений вращательной манжеты все еще требует дополнительного изучения. Ключевыми вопросами остаются оптимизация методов доставки, количество и время введения клеток, а также глубокое понимание механизмов их действия в контексте конкретных тканей.

В статьях 7-го кластера «Применение биологически активных препаратов в ортопедии / ортобиология» авторы указывают на общий прогресс в области клеточных технологий, охватывающий все аспекты травматологии и ортопедии. Это свидетельствует о значительных улучшениях в восстановлении и лечении повреждений и заболеваний костей, суставов, мышц и связок. Развитие этих технологий открывает новые возможности для регенерации тканей, ускорения заживления и понижения риска возникновения осложнений после травм.

Как и в предыдущей нашей публикации [1], изучая карту исследовательских публикаций по интересующей тематике, можно заметить

явный дисбаланс в мире по распределению научных работ. В этом аспекте США заметно выделяются, обходя другие страны по объему публикаций. Это может быть объяснено интенсивным развитием образовательной сферы, ростом числа специалистов, большим населением страны, что, в свою очередь, увеличивает вероятность распространения конкретных патологий. Также следует выделить значительное финансирование исследований как из государственного бюджета, так и от частных компаний, что играет ключевую роль. Вклад азиатских наций, особенно Южной Кореи, в этот процесс также высок и не должен уменьшаться в значении, их ученые активно публикуют свои работы и достигают высоких результатов.

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует, что поиск новых методов лечения в восстановлении вращательной манжеты плеча с помощью биологически активных препаратов продолжает быть актуальным направлением в современной медицине. Содержание изученных научных статей показывает многообещающее будущее для лечения повреждений ротаторной манжеты и других подобных состояний, при этом наукометрический анализ играет важную роль в выявлении и систематизации этих тенденций. Критический обзор и анализ научных данных не только способствуют интеграции новых методик в клиническую практику, но и указывают на возможные направления будущих исследований в этой области.

Литература / Referentes

1. Ветошкин А.А., Гусев С.С., Васильченко Н.В. Кластерный анализ и визуализация ключевых слов в зарубежных статьях по травмам вращательной манжеты плеча // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2024. № 1. С. 78–93. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-1-78-93.

2. Евдокимов В.И., Шамрей В.К., Плужник М.С. Боевой стресс: анализ иностранных статей при помощи адаптации результатов программы VOSviewer (2005–2021 гг.) // Мед.-биол. и соц.-психол. пробл. безопасности в чрезв. ситуациях. 2023. № 3. С. 106–121. DOI: 10.25016/2541-7487-2023-0-3-106-121.

3. Евдокимов В.И., Шамрей В.К., Плужник М.С. Развитие направлений научных исследований по боевому стрессу в отечественных статьях с использованием программы VOSviewer (2005–2021 гг.) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2023. № 2. С. 99–116. DOI: 10.25016/2541-7487-2023-0-2-99-116.

1. Vetoshkin A.A., Gusev S.S., Vasil'chenko N.V. Cluster analysis and visualization of keywords in foreign articles on rotator cuff injuries. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2024; (1):78–93. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-1-78-93. (In Russ.)

2. Evdokimov V.I., Shamrey V.K., Pluzhnik M.S. Combat stress research prospects in Russian academic publications analyzed using VOSviewer software (2005–2021). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2023; (3):106–121. DOI: 10.25016/2541-7487-2023-0-3-106-121. (In Russ)

3. Evdokimov V.I., Shamrey V.K., Pluzhnik M.S. Combat stress: the VOSviewer study results adapted to analyze papers published by foreign investigators (2005–2021). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2023; (2):99–116. DOI: 10.25016/2541-7487-2023-0-2-99-116. (In Russ.)

4. A Hamid M.S., Sazlina S.G. Platelet-rich plasma for rotator cuff tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2021; 16(5):e0251111. DOI: 10.1371/journal.pone.0251111.
5. De Mos M., Van Windt A.E., Jahr H. [et al.]. Can platelet-rich plasma enhance tendon repair? A cell culture study. *Am. J. Sports Med.* 2008; 36(6):1171–1178. DOI: 10.1177/0363546508314430.
6. Goldenberg B.T., Lacheta L., Dekker T.J. [et al.]. Biologics to Improve Healing in Large and Massive Rotator Cuff Tears: A Critical Review. *Orthop. Res. Rev.* 2020; 12:151–160. DOI: 10.2147/ORR.S260657.
7. Hurley E.T., Colasanti C.A., Anil U. [et al.]. The effect of platelet-rich plasma leukocyte concentration on arthroscopic rotator cuff repair: a network meta-analysis of randomized controlled trials. *Am. J. Sports Med.* 2021;49(9):2528–2535. DOI: 10.1177/0363546520975435.
8. Lin M.T., Wei K.C., Wu C.H. Effectiveness of Platelet-Rich Plasma Injection in Rotator Cuff Tendinopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Diagnostics (Basel)*. 2020; 10(4):189. DOI: 10.3390/diagnostics10040189.
9. Liu F., Meng Q., Yin H., Yan Z. Stem Cells in Rotator Cuff Injuries and Reconstructions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Curr. Stem. Cell. Res. Ther.* 2019; 14(8):683–697. DOI: 10.2174/1574888X1466190617143952.
10. Longo U.G., Carnevale A., Piergentili I. [et al.]. Retear rates after rotator cuff surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskel. Disord.* 2021; 22(1):749. DOI: 10.1186/s12891-021-04634-6.
11. Mather R. Сю 3rd, Koenig L, Acevedo D. [et al.]. The societal and economic value of rotator cuff repair. *J. Bone Joint. Surg. Am.* 2013; 95(22):1993–2000. DOI: 10.2106/JBJS.L.01495.
12. Pang L., Xu Y., Li T. [et al.]. Platelet-Rich Plasma Injection Can Be a Viable Alternative to Corticosteroid Injection for Conservative Treatment of Rotator Cuff Disease: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy*. 2023; 39(2):402–421.e1. DOI: 10.1016/j.arthro.2022.06.022.
13. Peng Y., Du L., Yang B. [et al.]. Efficacy of platelet-rich plasma and platelet-rich fibrin in arthroscopic rotator cuff repair: A systematic review and meta-analysis. *PMR*. 2023; 15(12):1643–1653. DOI: 10.1002/pmrj.13049.
14. Prabhakar A., Kanthalu Subramanian J.N., Swathikaa P. [et al.]. Current concepts on management of cuff tear. *J. Clin. Orthop. Trauma*. 2022; 28:101808. DOI: 10.1016/j.jcot.2022.101808.
15. Saltzman B.M., Jain A., Campbell K.A. [et al.]. Does the Use of Platelet-Rich Plasma at the Time of Surgery Improve Clinical Outcomes in Arthroscopic Rotator Cuff Repair When Compared With Control Cohorts? A Systematic Review of Meta-analyses. *Arthroscopy*. 2016; 32(5):906-918. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.10.007.
16. Shah N.S., Surriel Peguero E., Umeda Y. [et al.]. Long-Term Outcomes of Massive Rotator Cuff Tear Repair: A Systematic Review. *HSS J*. 2022; 18(1):130-137. DOI: 10.1177/15563316211008137.
17. Van Eck N.J., Waltman L. Manual for VOSviewer version 1.6.19 / Leiden Universiteit. 2023. 54 p. URL: https://www.aidi-ahmi.com/download/Manual_VOSviewer_1.6.19.pdf.
18. Voss A., McCarthy M.B., Bellas N. [et al.]. Significant Improvement in Shoulder Function and Pain in Patients Following Biologic Augmentation of Revision Arthroscopic Rotator Cuff Repair Using an Autologous Fibrin Scaffold and Bone Marrow Aspirate Derived From the Proximal Humerus. *Arthrosc. Sports Med. Rehabil.* 2021; 3(6):e1819–e1825. DOI: 10.1016/j.asmr.2021.08.009.
19. Zhao D., Han Y.H., Pan J.K. [et al.]. The clinical efficacy of leukocyte-poor platelet-rich plasma in arthroscopic rotator cuff repair: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J. Shoulder Elbow Surg.* 2021; 30(4):918–928. DOI: 10.1016/j.jse.2020.10.014.
20. Zhong W., Sumita Y., Ohba S. [et al.]. In vivo comparison of the bone regeneration capability of human bone marrow concentrates vs. platelet-rich plasma. *PLoS One*. 2012; 7(7):e40833–e40833. DOI: 10.1371/journal.pone.0040833.

Поступила 29.04.2024 г.

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

Участие авторов: Н.В. Васильченко – сбор первичных данных, анализ кластеров; А.А. Ветошкин – методология и дизайн исследования, анализ результатов, написание первого варианта статьи; С.С. Гусев – анализ результатов, редактирование окончательного варианта статьи.

Для цитирования. Васильченко Н.В., Ветошкин А.А., Гусев С.С. Кластерный анализ и визуализация ключевых слов в зарубежных статьях по лечению травм вращательной манжеты плеча с применением биологически активных препаратов // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2024. № 2. С. 99–112. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-2-99-112.

Cluster analysis and visualization of keywords in papers by international researchers on bioactive drugs in the treatment of rotator cuff injuries

Vasil'chenko N.V.¹, Vetoshkin A.A.², Gusev S.S.¹

¹Clinical Hospital N 1 of the Administration of the President of Russia (10, Starovolynskaya Str., Moscow, 121352, Russia)

²Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str. St. Petersburg, 194044, Russia)

✉ Nikita Vadimovich Vasilchenko – traumatologist-orthopedist, department of traumatology and rehabilitation, Clinical Hospital N 1 of the Administration of the President of Russia (10, Starovolynskaya Str., Moscow, 121352, Russia), ORCID: 0009-0009-4516-1346, e-mail: infosustav@ya.ru;

Aleksandr Aleksandrovich Vetoshkin – PhD Med. Sci. Associate Prof., orthopedic trauma surgeon, traumatology and orthopedics department, Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia (4/2, Academica Lebedeva Str., St. Petersburg, 194044, Russia), ORCID: 0000-0003-3258-2220, e-mail: totoalex5@gmail.com;

Sergei Sergeevich Gusev – traumatologist-orthopedist, department of traumatology and orthopedics, Clinical Hospital N 1 of the Administration of the President of Russia (10, Starovolynskaya Str., Moscow, 121352, Russia), ORCID: 0009-0007-4387-6431, e-mail: dr.sergeygusev@gmail.com

Abstract

Relevance. Rotator cuff ruptures continue to show high incidence with no signs of decrease. Despite the available expertise in advanced diagnosis and surgical treatment, supported by extensive scientific evidence, achieving optimal clinical outcomes remains a challenge. As a result, researchers and clinicians have been exploring alternative methods to improve outcomes. Recent studies in orthopedics have demonstrated that using bioactive drugs (biologic augmentation), particularly multipotent stem cells, may positively influence tissue regeneration. Therefore, biologic augmentation may be a promising strategy for promoting tissue healing.

The objective of this study is to perform a cluster analysis and visualization of keywords in papers by international researchers on innovative rotator cuff injury treatments, including bioactive drug therapy.

Methods. This study investigated publications dated 2013 to 2022 and published in the PubMed international reference and bibliographic database, using terminology-based search queries, i.e. (concentrated bone marrow aspirate OR stem cells OR platelet) and (rotator cuff injury). The search yielded 484 relevant scientific papers. Relevant bibliographic information was uploaded in “.txt” format into the VOSviewer 1.6.20 analytical software.

Results and analysis. With the coefficient of determination ($R^2 = 0.94$), the polynomial trend of article dynamics showed an increase in the number of publications. The average annual number of articles was 46. With 3 repetitions, 207 keywords were analyzed and combined subsequently into 7 clusters. Cluster 1 was called ‘Arthroscopy treatment results of rotator cuff injuries’. It contained 21.1 % of papers with the total link strength of keywords 22.5 %. Cluster 2 ‘Use of platelet-rich plasma in injuries and diseases of the rotator cuff’ contained 24.2 % of papers with the total link strength 21.2 %. Cluster 3 ‘Biological models’ yielded 18.6 % and 20.0 % respectively. Cluster 4 ‘Regenerative potential of mesenchymal stem cells – 15.2 % and 15.4 % respectively; Cluster 5 ‘Using mesenchymal stem cells in rotator cuff injury treatment’ – 11.7 % and 11.2 % respectively; Cluster 6 ‘Efficiency of mesenchymal stem cells on the treatment of rotator cuff injuries’ – 8.6 % and 8.6 % respectively; Cluster 7 ‘Using of bioactive drugs in orthopaedics / orthobiology’ – 1.4 % and 1.1 % respectively. Leading authors and research schools were identified as well.

Conclusion. The results provided an insight into the areas of research over the past 10 years and hence have provided information support for scientists and practitioners exploring innovative treatments for rotator cuff injuries, including the use of bioactive drugs.

Keywords: injury, rotator cuff, stem cell, bioactive drugs, platelet-rich plasma, scientometrics, cluster analysis, PubMed, VOSviewer.

Received 29.04.2024

For citing: Vasil'chenko N.V., Vetoshkin A.A., Gusev S.S. Klasternyj analiz i vizualizacija ključevykh slov v zarubezhnykh stat'jah po lecheniju travm vrashatel'noj manzhety plecha s primeneniem biologicheskii aktivnykh preparatov. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2024; (2):99–112. (In Russ.)

Vasil'chenko N.V., Vetoshkin A.A., Gusev S.S. Cluster analysis and visualization of keywords in papers by international researchers on bioactive drugs in the treatment of rotator cuff injuries. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2024; (2):99–112. DOI: 10.25016/2541-7487-2024-0-2-99-112.