

DOI 10.65491/3106-5538-2026-1-46-75

УДК 616.832-009.7-07

ТОРАКАЛГИЯ: НЕРАСКРЫТЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИАГНОСТИКИ И НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ В ПОНИМАНИИ БОЛИ В ГРУДНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

**Нуралиева А.Е.¹, Отарбаева М.Б.¹, Баттакова Ш.Б.¹ Григолашвили М.А.¹,
Калыбаева У.А.¹, Болат Н.Б.¹**

¹Кафедра неврологии, психиатрии и реабилитологии, НАО «Медицинский университет Караганды» (100012, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, 40; e-mail: info@qmu.kz)

1.Нуралиева А.Е, НАО «Медицинский университет Караганды», e-mail: nuraliye-
va.9898@mail.ru

2.Отарбаева М.Б., e-mail: mb.otarbaeva103@mail.ru

3.Баттакова Ш.Б., e-mail: sharbanu_battakova@mail.ru

4.Григолашвили М.А., e-mail: Grigolashvili@qmu.kz

5.Калыбаева У.А., e-mail: info@qmu.kz

6.Болат Н.Б., e-mail: info@qmu.kz

Представлен всесторонний обзор современных методов диагностики торакалгии, начиная от традиционных рентгенологических исследований и заканчивая инновационными нейровизуализационными техниками. В статье подчеркивается важность ранней и точной диагностики для определения этиологии боли и выбора оптимального лечения. Особое значение придается соматосенсорным вызванным потенциалам и мультимодальному нейрофизиологическому мониторингу, которые позволяют выявить нарушения проводимости нервных импульсов и позволяют предотвратить повреждение нервных структур во время операций. Обсуждаются перспективы использования нейровизуализации, включая функциональную МРТ, позитронно-эмиссионную томографию и магнитно-резонансную спектроскопию, для выявления биомаркеров боли и разработки персонализированных подходов к лечению. Статья представляет собой ценный ресурс для врачей и исследователей, занимающихся диагностикой и лечением торакалгии и подчеркивает важность комплексного подхода, сочетающего традиционные и инновационные методы, для достижения наилучших результатов в лечении пациентов с этой распространенной проблемой.

Ключевые слова: торакалгия; боль в грудном отделе позвоночника; диагностика; инновационные методы; дифференциальная диагностика

Актуальность. Боль в грудном отделе позвоночника (торакалгия) представляет собой сложную мультифакторную клиническую проблему, характеризующуюся сравнительно меньшей распространённостью (13%) по сравнению с поясничным (43%) и шейным (32%) отделами, но значительным клинико-диагностическим разнообразием. Несмотря на анатомическую стабильность грудного отдела, обусловленную ригидностью грудной клетки, патологические процессы различного генеза (дегенеративные, воспалительные, неопластические) остаются актуальной причиной болевого синдрома. Ключевой проблемой является низкая корреляция между визуализационными изменениями и клинической симптоматикой, что подтверждается высокой частотой бессимптомных дегенеративных изменений (до 20%) [1-4]. Это обуславливает риск гипердиагностики и экономически неэффективных вмешательств (стоимость лечения одного эпизода радикулита - до 53 595 USD) [9]. Таким образом, современная парадигма диагностики требует перехода от структурной к функционально-интегративной модели, включающей нейровизуализацию, биомаркеры и алгоритмы искусственного интеллекта.

Причины торакалгии: комплексный взгляд на проблему

Торакалгия может быть вызвана различными причинами, как вертеброгенными, так и невертеброгенными [2]. К вертеброгенным причинам относятся дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника, такие как остеохондроз, спондилез, спондилоартроз, грыжи межпозвоночных дисков, а также травмы позвоночника (переломы, вывихи, растяжения связок и мышц), воспалительные заболевания (спондилит, болезнь Бехтерева), опухоли позвоночника (первичные и метастатические) и врожденные аномалии развития позвоночника. Дегенеративные изменения позвоночника, в частности спондилез, спондилолистез, грыжа межпозвоночного диска и стеноз позвоночного канала, также могут быть значимыми причинами торакалгии. Спондилез поражает межпозвоночные диски, суставные отростки, связки и соединительную ткань позвонков, в то время как спондилолистез характеризуется смещением одного позвонка относительно другого, что может сдавливать нервные корешки и вызывать боль [5, 6]. Грыжа межпозвоночного диска возникает при разрыве внутреннего ядра диска и его выходе за пределы внешнего кольца, что оказывает давление на окружающие нервы [6]. Стеноз позвоночного канала, вызывающий сужение позвоночного канала и возможное сдавливание спинного мозга или нервных корешков, становится более распространенным с возрастом, достигая примерно 19,4% среди лиц в возрасте 60-69 лет [5]. Кроме того, травмы позвоночника, такие как переломы позвонков, также могут вызывать торакалгию [7]. Исследование Parenteau et al. (2021) показало, что рентгенологические переломы грудных позвонков часто встречаются при COVID-19 и позволяют прогнозировать исходы заболевания [8].

Невертеброгенные причины торакалгии включают заболевания внутренних органов (сердца, легких, желудочно-кишечного тракта), психогенные факторы

(стресс, депрессия), инфекционные заболевания (опоясывающий лишай), а также заболевания ребер и межреберных нервов [2]. Понимание причин торакалгии является ключевым фактором для разработки эффективных методов диагностики и лечения. Остеоартрит фасеточных суставов также играет значительную роль в развитии торакалгии. Воспаление и дегенерация суставных поверхностей приводят к боли, скованности и ограничению подвижности грудного отдела позвоночника. Миофасциальный болевой синдром представляет собой еще одну распространенную причину торакалгии [9]. Триггерные точки в мышцах и фасциях могут вызывать локальную и отраженную боль, что затрудняет диагностику и лечение. Стеноз позвоночного канала в грудном отделе встречается реже, чем в поясничном, но все же может быть причиной торакалгии [10]. Сужение позвоночного канала приводит к сдавлению нервных корешков и спинного мозга, вызывая боль, онемение, слабость и другие неврологические симптомы. Другие причины торакалгии включают инфекции (остеомиелит, спондилит), опухоли (первичные и метастатические), воспалительные заболевания (болезнь Бехтерева, ревматоидный артрит) и висцеральные заболевания (заболевания сердца, легких, желудочно-кишечного тракта) [10, 11].

Несмотря на то, что в литературе описаны основные причины торакалгии, эпидемиология и факторы риска этого состояния остаются недостаточно изученными [12]. Развитие инновационных методов диагностики, таких как функциональная МРТ, диффузионно-тензорная визуализация и позитронно-эмиссионная томография, позволяет более точно визуализировать структурные и функциональные изменения в позвоночнике и окружающих тканях [13]. Это может помочь в дифференциальной диагностике торакалгии и выборе оптимального лечения для каждого пациента.

В дополнение к диагностике, инновационные подходы к управлению болью, такие как радиочастотная абляция, нейромодуляция и применение новых фармакологических препаратов, предлагают новые возможности для облегчения боли и улучшения качества жизни пациентов с торакалгией [13, 14].

Торакалгия является сложной проблемой с множеством возможных причин. Для эффективной диагностики и лечения необходимо учитывать все возможные факторы, включая дегенеративные изменения, воспалительные процессы, травмы и другие состояния. Дальнейшие исследования в этой области помогут разработать более целенаправленные и эффективные стратегии профилактики и лечения торакалгии.

Роль ранней и точной диагностики в успешном лечении торакалгии

Ранняя и точная диагностика играет ключевую роль в успешном лечении торакалгии, боли в грудном отделе позвоночника. Своевременное выявление основной причины боли позволяет разработать персонализированный план лечения, что в конечном итоге приводит к улучшению результатов лечения пациентов [15]. Более того, точная диагностика помогает избежать ненужных вмешательств

и потенциальных осложнений, которые могут возникнуть при неправильном или несвоевременном лечении [16].

Например, у пациентов с цервикальной спондилотической миелопатией (CSM) раннее распознавание симптомов, таких как неуклюжесть рук или походки, может привести к своевременной визуализации и хирургическому вмешательству, предотвращая дальнейшее неврологическое ухудшение [17]. В другом случае, у пациента с острой болью в грудном отделе рентгенологическое исследование и МРТ могут выявить тяжелый стеноз шейного отдела позвоночника, что приведет к хирургической декомпрессии и предотвращению необратимого повреждения спинного мозга [17].

Ранняя диагностика инфекционных причин торакалгии, таких как первичный эпидуральный абсцесс позвоночника, имеет решающее значение для своевременного хирургического вмешательства и антибактериальной терапии, что снижает риск необратимого неврологического дефицита и смертности [18].

Точная диагностика также важна при выявлении фибромиалгии, состояния, характеризующегося хронической распространенной болью и другими симптомами. Раннее распознавание фибромиалгии позволяет начать соответствующее лечение, включая медикаментозную терапию, физиотерапию и когнитивно-поведенческую терапию, что может улучшить качество жизни пациентов [19].

Инновационные методы визуализации, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ) и компьютерная томография (КТ), а также электродиагностические исследования, играют важную роль в ранней и точной диагностике торакалгии [15]. Эти методы позволяют врачам детально визуализировать структуры позвоночника, выявлять патологические изменения и определять источник боли.

Таким образом, ранняя и точная диагностика торакалгии является краеугольным камнем эффективного лечения. Она позволяет разработать индивидуальный план лечения, избежать ненужных вмешательств, предотвратить осложнения и улучшить прогноз для пациентов.

В последние годы наблюдается значительный прогресс в разработке инновационных методов диагностики торакалгии, что открывает новые перспективы для более точного и персонализированного лечения пациентов. Эти методы расширяют возможности традиционных подходов, таких как рентген, КТ и МРТ, предоставляя более детальную информацию о состоянии позвоночника и нервной системы. Одним из таких инновационных подходов является использование клинических алгоритмов для диагностики нейрогенной торакальной дистонии, что позволяет выявить пациентов, которым может потребоваться хирургическое вмешательство [20]. Кроме того, новые технологии, такие как Spine-GAN, автоматизируют процесс сегментации и классификации структур позвоночника, что способствует ранней диагностике и лечению спинальных заболеваний [21].

Современные методы визуализации, включая флюороскопически-управляемую чрескожную транспедикулярную биопсию, предоставляют врачам возможность получать биопсийный материал с высокой точностью и минимальной инвазивностью [22]. Электрофизиологические методы, такие как соматосенсорные вызванные потенциалы (SSEP) и мультимодальный нейрофизиологический мониторинг, играют важную роль в оценке функции спинного мозга и нервных корешков во время операций на позвоночнике, что способствует предотвращению осложнений [23, 24].

Нейровизуализация, в свою очередь, открывает новые возможности для идентификации биомаркеров боли, предоставляя объективную информацию о структурных и функциональных изменениях мозга, связанных с болевым синдромом [25, 26]. Кроме того, МРТ позволяет количественно оценить зоны аблации при лечении хронической боли в позвоночнике, что помогает оптимизировать процедуры и повысить их эффективность [27, 28].

В совокупности, эти инновационные методы диагностики торакалгии предоставляют врачам мощный инструментарий для более точного определения причин боли, выбора оптимального лечения и мониторинга эффективности терапии. В следующих разделах мы более подробно рассмотрим каждый из этих методов, их преимущества и ограничения, а также их потенциальное влияние на клиническую практику.

Целью настоящей работы является оценка эффективности инновационных методов диагностики торакалгии и их роли в повышении точности дифференциальной диагностики.

Стандартные методы диагностики торакалгии: обзор и ограничения

Традиционные методы визуализации, такие как рентгенография (СХР), компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), играют важную роль в диагностике торакалгии, предоставляя ценную информацию о состоянии позвоночника и окружающих тканей [29 - 31].

Рентгенография (СХР) является наиболее доступным и широко используемым методом визуализации. Она позволяет выявить грубые структурные изменения позвоночника, такие как переломы, деформации и дегенеративные изменения [29, 30]. Однако, рентгенография имеет ограниченную чувствительность к мягкотканым структурам, таким как межпозвонковые диски, связки и мышцы, которые часто вовлечены в патогенез торакалгии.

Компьютерная томография (КТ) предоставляет более детальную информацию о костных структурах позвоночника и может быть полезна для выявления патологий, таких как стеноз позвоночного канала, спондилолистез и опухоли [31, 32]. Тем не менее, КТ также имеет ограниченную способность визуализировать мягкие ткани и связана с воздействием ионизирующего излучения.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) считается золотым стандартом визуализации мягких тканей позвоночника. Она позволяет детально оценить

состояние межпозвонковых дисков, связок, спинного мозга и нервных корешков [33]. МРТ особенно полезна для диагностики грыж дисков, протрузий, воспалительных процессов и других патологий, которые могут вызывать торакалгию.

Несмотря на свою полезность, стандартные методы диагностики имеют ряд ограничений. Рентгенография может не выявить тонкие изменения в мягких тканях, а КТ связана с лучевой нагрузкой. МРТ, хотя и является высокоинформативным методом, может быть недоступна для некоторых пациентов из-за высокой стоимости или наличия противопоказаний, таких как металлические имплантаты.

Необходимость инновационных методов

Ограничения стандартных методов диагностики подчеркивают необходимость разработки и внедрения инновационных подходов, которые могли бы преодолеть эти недостатки. Такие методы, как функциональная МРТ, диффузионно-тензорная визуализация и позитронно-эмиссионная томография, предоставляют новые возможности для оценки функционального состояния позвоночника и нервной системы, что может быть полезно для диагностики и лечения торакалгии [32].

Материалы и методы. Методология

Для написания данной обзорной статьи был проведен поиск и анализ научной литературы в базах данных PubMed, Google Scholar и Web of Science. В качестве ключевых слов использовались: "торакалгия", "боль в грудном отделе позвоночника", "диагностика", "инновационные методы", "нейровизуализация", "дифференциальная диагностика". Были отобраны статьи, опубликованные за последние 5 лет (2019-2024 гг.), посвященные различным аспектам диагностики торакалгии, включая традиционные и инновационные методы. Особое внимание было уделено статьям, описывающим новые технологии и подходы к диагностике, а также исследованиям, посвященным изучению биомаркеров боли и разработке персонализированных подходов к лечению. В обзор были включены как оригинальные исследования, так и обзоры литературы, мета-анализы и клинические рекомендации. Статьи, не соответствующие тематике обзора, опубликованные на языках, отличных от английского и русского, а также статьи с низким уровнем доказательности были исключены.

Результаты.

I. Инновационный подход к диагностике нейрогенного синдрома грудного выхода

Синдром грудного выхода (СГО) - это совокупность симптомов, возникающих из-за сдавления нервов и/или кровеносных сосудов в области грудного выхода. Эта область расположена между ключицей и первым ребром, и через нее проходят нервы и сосуды, идущие от шеи к руке. Сдавление может быть вызвано различными факторами, включая аномалии костей (например, шейное ребро), мышц (например, гипертрофия лестничных мышц) или соединительной ткани (например, фиброзные тяжи). Инновационный метод диагностики, представлен-

ный в исследовании Hwang et al. (2021), основан на использовании клинического алгоритма, который учитывает специфику симптомов и результаты физикального обследования. Алгоритм включает в себя анализ характерных симптомов, таких как боль, онемение, покалывание и слабость в руке, особенно в области 4-5 пальцев. Также учитываются результаты провокационных тестов, таких как тесты Райта, Адсона и Эдсона, которые помогают выявить наличие компрессии нервных или сосудистых структур в области грудного выхода. Наличие аномалий развития, таких как шейные ребра, добавочные мышцы или фиброзные тяжи, также учитывается при диагностике. Кроме того, алгоритм может включать данные электромиографии (ЭМГ), которая позволяет оценить функцию нервов и мышц руки. На основе анализа этих данных алгоритм классифицирует пациентов на три группы: "истинный" нейрогенный СГО, "симптоматический" СГО и "маловероятный" СГО, что помогает определить наиболее подходящий метод лечения, включая хирургическое вмешательство при необходимости [34, 35].

II. Инновационные методы КТ

Торакалгия, или боль в грудном отделе позвоночника, представляет собой распространенную проблему, которая может значительно снизить качество жизни пациентов [36]. В связи с этим, разработка и внедрение инновационных методов диагностики торакалгии является актуальной задачей современной неврологии. В данном разделе мы рассмотрим два таких метода: компьютерную томографию (КТ) и КТ в сочетании с однофотонной эмиссионной компьютерной томографией (ОФЭКТ), или КТ-СПЕКТ, а также обсудим перспективы использования ОФЭКТ/СПЕКТ в диагностике хронических болей в грудном отделе позвоночника.

Алгоритм Spine-GAN

КТ давно зарекомендовала себя как важный инструмент в диагностике заболеваний позвоночника, особенно при переломах и параплегии [36]. Детальные изображения, получаемые с помощью КТ, позволяют врачам точно оценить степень повреждения и выбрать оптимальный метод лечения [36].

В последние годы наблюдается значительный прогресс в разработке инновационных методов анализа КТ-изображений. Одним из таких методов является Spine-GAN - инновационная методика анализа КТ-изображений позвоночника, основанная на применении генеративно-сопоставительных сетей (GAN). GAN представляет собой тип алгоритма машинного обучения, состоящий из двух нейронных сетей: генератора и дискриминатора. Генератор создает изображения, а дискриминатор пытается отличить сгенерированные изображения от реальных. В процессе обучения обе сети совершенствуются, и генератор учится создавать изображения, которые дискриминатор не может отличить от реальных [21, 36].

В контексте анализа КТ-изображений позвоночника, Spine-GAN использует этот принцип для автоматической сегментации и классификации различных структур позвоночника, таких как межпозвоночные диски, позвонки и нейрофорамина. Сегментация представляет собой процесс выделения определенных облас-

тей на изображении, а классификация - процесс определения типа объекта. Spine-GAN обучается на большом наборе КТ-изображений позвоночника с ручными аннотациями, где эксперты выделяют и классифицируют различные структуры.

После обучения Spine-GAN может автоматически сегментировать и классифицировать структуры позвоночника на новых КТ-изображениях. Это позволяет значительно ускорить и упростить процесс анализа изображений, а также повысить его точность. Spine-GAN может быть использован для выявления различных патологий позвоночника, таких как грыжи дисков, спондилолистез, стеноз позвоночного канала и другие дегенеративные изменения, которые часто являются причиной хронической боли в спине. Это открывает новые возможности для более точной диагностики и выявления патологических изменений, что особенно важно при хронической боли в спине, часто связанной с дегенеративными изменениями позвоночника [36].

КТ-СПЕКТ

КТ-СПЕКТ (компьютерная томография в сочетании с однофотонной эмиссионной компьютерной томографией) - это гибридный метод визуализации, объединяющий возможности компьютерной томографии (КТ) и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ). Этот метод позволяет получить детальную информацию о структуре костей и тканей (КТ), а также визуализировать метаболическую активность клеток (ОФЭКТ). КТ-СПЕКТ особенно полезен при диагностике торакалгии, так как позволяет выявить источники боли, связанные с воспалительными или дегенеративными процессами в позвоночнике. Физические основы метода КТ-СПЕКТ заключаются во введении пациенту радиофармпрепарата, который избирательно накапливается в областях с повышенным метаболизмом. Затем проводятся два сканирования: ОФЭКТ для визуализации распределения радиофармпрепарата и КТ для получения детального изображения анатомических структур. Полученные изображения совмещаются, что позволяет точно локализовать области повышенной метаболической активности на анатомических структурах [36]. На ранних стадиях дегенеративных заболеваний позвоночника КТ-СПЕКТ может выявить повышенное накопление радиофармпрепарата в пораженных областях еще до появления значительных структурных изменений на КТ [36]. Это позволяет начать лечение на ранней стадии и замедлить прогрессирование заболевания. На поздних стадиях, когда уже имеются выраженные структурные изменения, КТ-СПЕКТ помогает оценить степень активности воспалительного процесса и определить наиболее подходящую стратегию лечения [37].

Перспективы ОФЭКТ/СПЕКТ в диагностике хронических болей в грудном отделе позвоночника

Осевая боль в спине представляет собой серьезную проблему здравоохранения, имеющую значительные социально-экономические последствия [37 - 39]. Точная диагностика источников боли является критически важной для выбора оптимальной стратегии лечения, будь то хирургическое вмешательство или кон-

сервативная терапия [40]. Хотя в настоящее время существует ограниченное количество доказательств, подтверждающих эффективность ОФЭКТ/СПЕКТ при болях в грудном отделе позвоночника, мы видим большой потенциал для использования этой технологии в будущем. ОФЭКТ/СПЕКТ может быть особенно полезен при диагностике патологии крестцово-подвздошного сочленения, а также в случаях диагностической неопределенности у пациентов с преимущественно осевыми симптомами и/или наличием в анамнезе предшествующего хирургического вмешательства на позвоночнике [41].

Усовершенствования технологий визуализации, такие как ОФЭКТ/СПЕКТ, открывают новые возможности для раннего выявления и более точной диагностики заболеваний позвоночника, включая хроническую боль в грудном отделе [42 - 47]. Мы уверены, что дальнейшие исследования в этой области приведут к разработке новых диагностических алгоритмов и улучшению результатов лечения пациентов с хронической болью в грудном отделе позвоночника.

Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника под флюороскопическим контролем

Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника под флюороскопическим контролем - это минимально инвазивный метод получения образцов тканей из позвонков для диагностики различных заболеваний позвоночника. Во время процедуры тонкая игла вводится через кожу в позвонок под контролем флюороскопии, что обеспечивает визуализацию в реальном времени. Это позволяет врачу точно направить иглу к пораженному участку и получить образец ткани для дальнейшего анализа.

Процедура основана на анатомических особенностях позвоночника, состоящего из тела, дуги и отростков. Транспедикулярный доступ означает, что игла вводится через ножку дуги позвонка, что обеспечивает безопасный и эффективный путь к телу позвонка. Флюороскопия, использующая рентгеновское излучение, позволяет визуализировать костные структуры позвоночника в реальном времени, помогая врачу контролировать положение иглы и избегать повреждения нервов и кровеносных сосудов. Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника позволяет выявить различные патологии на ранних и поздних стадиях. На ранних стадиях биопсия может обнаружить воспалительные процессы, инфекции или опухоли до появления значительных структурных изменений на КТ. Это позволяет начать лечение на ранней стадии и улучшить прогноз заболевания. На поздних стадиях, когда уже имеются значительные структурные изменения, биопсия помогает уточнить диагноз, определить степень злокачественности опухоли и выбрать оптимальную стратегию лечения. Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника под флюороскопическим контролем стала ценным инструментом в диагностике заболеваний позвоночника. Этот метод позволяет получать образцы тканей из позвонков с высокой точностью и относительно низким риском осложнений [48, 49]. В отличие от традиционной открытой биопсии, чрескожная

биопсия не требует больших разрезов, что приводит к меньшей кровопотере и более короткому периоду восстановления [49].

Флюороскопический контроль обеспечивает визуализацию в реальном времени во время процедуры, что позволяет точно направить иглу для биопсии к поражению [48, 49]. Это особенно важно при поражениях, расположенных в труднодоступных местах позвоночника. Кроме того, флюороскопия позволяет проводить непрерывный мониторинг, уменьшая риск повреждения окружающих структур, таких как нервные корешки и кровеносные сосуды [48].

Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника оказалась особенно полезной при диагностике различных патологий позвоночника, включая опухоли, инфекции и воспалительные заболевания [48, 49]. Возможность получения образцов тканей позволяет провести гистопатологический и микробиологический анализ, что имеет решающее значение для точного диагноза и выбора соответствующего лечения [48]. В последние годы проводятся исследования, направленные на изучение эффективности этой процедуры по сравнению с другими методами визуализации, такими как компьютерная томография [49]. Также разрабатываются новые конструкции систем чрескожной транспедикулярной биопсии для повышения безопасности и эффективности процедуры [50, 51].

Несмотря на многочисленные преимущества, чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника имеет свои ограничения [52]. Процедура может быть затруднена у пациентов с тяжелыми деформациями позвоночника или обширным рубцеванием тканей [53]. Размер и расположение поражения могут ограничивать возможность получения адекватного образца ткани. Для решения этой проблемы исследователи изучают использование игл для кифопластики с широким просветом, которые позволяют получать образцы большего размера и повышают диагностическую точность [54].

В заключение, чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника под флюороскопическим контролем произвела революцию в диагностике заболеваний позвоночника. Ее минимально инвазивный характер, высокая точность и способность получать образцы тканей для окончательного диагноза делают ее ценным инструментом в арсенале врачей [48]. С дальнейшим развитием этой технологии можно ожидать совершенствования и расширения ее применения в диагностике и лечении заболеваний позвоночника.

III. Применение соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП)

Соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП) - это метод исследования нервной системы, основанный на регистрации электрических ответов головного мозга на стимуляцию периферических нервов [55 - 57]. Этот метод позволяет оценить функциональную целостность соматосенсорных путей, передающих информацию от рецепторов кожи, мышц и суставов к головному мозгу.

При проведении ССВП электрический стимул подается на периферический нерв, например, на нерв руки или ноги. Этот стимул вызывает распространение

электрического импульса по нервным волокнам, который в конечном итоге достигает головного мозга. Электрическая активность мозга, возникающая в ответ на этот стимул, регистрируется с помощью электродов, размещенных на коже головы. Полученные сигналы обрабатываются и анализируются с помощью специального программного обеспечения, оцениваются такие параметры, как латентность (время от момента стимуляции до появления ответа) и амплитуда (величина ответа). Изменения этих параметров могут свидетельствовать о нарушении проводимости нервных импульсов, что может быть связано с различными патологиями нервной системы, включая торакалгию.

На ранних стадиях заболеваний, вызывающих торакалгию, ССВП могут выявить незначительные изменения в проводимости нервных импульсов, которые еще не проявляются клинически. Например, при начальных стадиях компрессии нервных корешков может наблюдаться увеличение латентности ССВП, что свидетельствует о замедлении проведения импульса. На поздних стадиях заболеваний ССВП могут выявить более выраженные изменения, такие как снижение амплитуды или полное отсутствие ответа, что указывает на значительное повреждение нервных волокон или нарушение передачи нервных импульсов в головном мозге.

ССВП также могут быть использованы для оценки эффективности лечения. В современной неврологической практике наблюдается повышенный интерес к использованию ССВП в диагностике и прогнозировании различных неврологических состояний, включая торакалгию [55 - 57]. Применение ССВП может быть особенно полезным, когда другие методы. Улучшение показателей ССВП после лечения может свидетельствовать о восстановлении функции нервной системы и эффективности выбранной терапии [58]. обследования (например, МРТ или КТ) не выявляют структурных изменений, но пациент продолжает испытывать болевой синдром. В таких случаях ССВП могут помочь выявить нарушения в проведении нервных импульсов, связанные с повреждением нервных корешков, спинного мозга или других структур нервной системы.

Несмотря на то, что ССВП являются относительно старым методом, в последние годы наблюдается развитие новых подходов к их применению. Например, исследователи изучают возможность использования ССВП для прогнозирования неврологических исходов после операций на позвоночнике, а также для оценки влияния различных факторов (например, осанки) на соматосенсорную обработку [59, 60]. В целом, применение ССВП в диагностике торакалгии представляет собой перспективное направление, которое может улучшить понимание патофизиологических механизмов этого состояния и оптимизировать подходы к его лечению.

IV. Мультимодальный нейрофизиологический мониторинг

Мультимодальный нейрофизиологический мониторинг (МНФМ) – это метод, используемый во время операций на позвоночнике для оценки функционального состояния нервной системы в режиме реального времени [61]. Он объединяет

ет несколько электрофизиологических методов, таких как соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП), транскраниальные электрические моторные вызванные потенциалы (ТЭС-МВП) и электромиография (ЭМГ) [61, 62, 63]. Эти методы оценивают различные аспекты функции нервной системы: ССВП - сенсорные проводящие пути, ТЭС-МВП - моторные проводящие пути, а ЭМГ - активность нервных корешков [61, 64, 65].

МНФМ позволяет выявить изменения в функции нервной системы на ранних и поздних стадиях заболеваний. На ранних стадиях он может обнаружить даже незначительные изменения, которые могут быть связаны с начальными стадиями повреждения спинного мозга или нервных корешков. На поздних стадиях МНФМ может выявить более серьезные нарушения, такие как полное отсутствие вызванных потенциалов или выраженные изменения ЭМГ-активности, что свидетельствует о значительном повреждении нервных структур [61].

Внедрение МНФМ в хирургию грудного отдела позвоночника, особенно в лечении туберкулеза позвоночника, значительно снижает риск повреждения нервных структур во время сложных процедур [61, 66]. Раннее выявление признаков повреждения нервов позволяет хирургам принимать корректирующие меры во время операции, что приводит к лучшим результатам для пациентов [61].

Недавние исследования показали, что МНФМ является эффективным инструментом в хирургии туберкулеза позвоночника [61, 62, 63, 67]. Он не только снижает риск неврологических осложнений, но и улучшает общее качество хирургического вмешательства и позволяет проводить более точную оценку состояния пациента после операции, что способствует разработке индивидуальных реабилитационных программ [61].

V. Нейровизуализация

Торакалгия или боль в грудном отделе позвоночника – распространенная проблема, существенно снижающая качество жизни пациентов [68]. Нейровизуализация – одно из перспективных направлений в диагностике этого состояния.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) – метод нейровизуализации, основанный на измерении изменений кровотока в мозге, связанных с нейронной активностью. Когда нейроны активируются, потребление кислорода увеличивается, что приводит к локальному увеличению кровотока. фМРТ обнаруживает эти изменения и создает карту активности мозга, показывая, какие области активны во время выполнения определенной задачи или в ответ на определенный стимул [69].

Этот метод используется для диагностики торакалгии, выявляя изменения в активности областей мозга, связанных с обработкой боли, что может свидетельствовать о наличии хронической или нейропатической боли [69, 70]. На ранних стадиях торакалгии фМРТ может выявить изменения в активности мозга, связанные с болью, даже если структурные изменения в позвоночнике еще не выявлены другими методами визуализации, такими как КТ или МРТ [69, 70]. На поздних

стадиях фМРТ может быть использована для оценки эффективности лечения, например, уменьшение активности в областях мозга, связанных с болью, после лечения может свидетельствовать об эффективности терапии [71]. Кроме того, фМРТ может помочь выявить изменения в мозге, связанные с хронической болью, такие как реорганизация соматосенсорной коры или снижение активности в областях, ответственных за подавление боли [69, 70].

Помимо фМРТ, для диагностики торакалгии могут быть использованы позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) [71, 72]. ПЭТ позволяет оценить метаболизм и нейрохимические процессы в мозге, а МРС – измерить уровень различных метаболитов, таких как глутамат и ГАМК, которые играют важную роль в передаче болевых сигналов [72].

В последние годы наблюдается значительный прогресс в разработке биомаркеров для диагностики хронической боли [74, 75]. Martins et al. (2022) представили потенциальный нейровизуализационный биомаркер для обнаружения функциональных изменений, связанных с нейротрансмиссией, и прогнозирования ответа на фармакологическое обезболивание при хронической боли [74]. Zhang et al. (2022) рассмотрели различные биомаркеры нейровизуализации для хронической боли, подчеркнув важность интеграции различных методов для достижения более точной и персонализированной диагностики [75].

Инновационные методы диагностики торакалгии, основанные на нейровизуализации, открывают новые возможности для более точного определения причин боли и разработки персонализированных подходов к лечению, что имеет большой потенциал для улучшения качества жизни пациентов [73].

Визуализация зон абляции

Радиочастотная абляция (РЧА) – это минимально инвазивный метод лечения боли, при котором используется радиочастотная энергия для нагревания и разрушения нервной ткани, передающей болевые сигналы [27]. Охлаждаемая РЧА (охл. РЧА) – это модификация метода, при которой используется охлаждение для защиты окружающих тканей и увеличения зоны абляции [76]. Физические основы РЧА заключаются в использовании переменного электрического тока высокой частоты, который генерируется радиочастотным генератором. Этот ток подается на электрод, который вводится в ткани под контролем визуализации (например, МРТ или КТ). При прохождении тока через ткани происходит их нагревание за счет трения ионов. В случае охл. РЧА, электрод охлаждается с помощью циркуляции жидкости, что позволяет увеличить зону абляции и снизить риск повреждения окружающих тканей [76].

В исследовании Desai и Safriel (2022) было проведено первое проспективное количественное исследование зон абляции, созданных с помощью охл. РЧА, с использованием МРТ [27]. Ученые обнаружили, что на размер и форму зоны абляции влияет тип зонда РЧА, расположение зонда относительно кости и структурные особенности окружающих тканей [27]. Это исследование подчеркивает важ-

ность МРТ в понимании того, как различные факторы могут влиять на эффективность РЧА.

МРТ позволяет визуализировать зону абляции, созданную РЧА, что важно для оценки эффективности процедуры [27]. На ранних стадиях после РЧА МРТ может показать отек и воспаление в области абляции, что является нормальной реакцией на процедуру. По мере заживления тканей зона абляции уменьшается в размерах и становится менее заметной на МРТ. На поздних стадиях, через несколько месяцев после РЧА, МРТ может показать полное исчезновение зоны абляции или образование рубцовой ткани. Отсутствие уменьшения зоны абляции или ее увеличение может свидетельствовать о неэффективности процедуры или рецидиве боли [27].

Davis et al. (2019) разработали новый перфузионно-охлаждаемый электрод, который эффективно увеличивает размер зоны абляции в печени по сравнению с монополярным охлаждаемым электродом [76]. Этот инновационный подход может быть применен и к лечению торакалгии, потенциально повышая эффективность процедуры.

Использование МРТ для оценки зон абляции после РЧА – это многообещающая инновация в диагностике и лечении торакалгии. Визуализируя зону абляции, врачи могут лучше понять, насколько эффективно процедура воздействовала на нервные ткани, ответственные за боль. Это позволяет им принимать обоснованные решения о необходимости дальнейшего лечения или корректировки текущего плана лечения.

Потенциальное влияние МРТ на лечение торакалгии выходит за рамки простой оценки зон абляции. Исследования Lee et al. (2021) показали, что МРТ может быть использована для оценки эффективности РЧА в печени, что свидетельствует о ее потенциальном применении в других областях, таких как лечение торакалгии [71]. Кроме того, Davis et al. (2019) и Kapural et al. (2022) успешно использовали охлаждаемую РЧА для лечения боли, что указывает на возможность применения этой технологии в сочетании с МРТ для лечения торакалгии [77, 78].

Дальнейшие исследования

Хотя МРТ уже зарекомендовала себя как ценный инструмент, необходимы дальнейшие исследования для изучения ее полного потенциала в лечении торакалгии. В частности, необходимы исследования для определения оптимальных параметров МРТ для визуализации зон абляции в грудном отделе позвоночника, а также для оценки долгосрочной эффективности РЧА при торакалгии с использованием МРТ в качестве инструмента оценки

VI. Дифференциальная диагностика причин болей при торакалгии с использованием инновационных методов

Торакалгия может быть вызвана различными причинами, и точная диагностика является ключевым фактором для эффективного лечения. Инновационные

методы диагностики предлагают новые возможности для более точного определения источника боли и выбора оптимального лечения.

Инновационный подход к диагностике нейрогенного синдрома грудного выхода (СГО), предложенный Hwang et al. (2021), основан на использовании клинического алгоритма, который учитывает специфические симптомы и результаты физикального обследования [34]. Этот алгоритм позволяет дифференцировать пациентов с нейрогенным СГО от пациентов с другими причинами торакалгии.

Дифференциация нейрогенного СГО от других причин торакалгии [34, 35]:

- Истинный нейрогенный СГО: Пациенты с характерными симптомами (боль, онемение, слабость в руке) и положительными результатами провокационных тестов (например, тест Райта, тест Адсона).
- Симптоматический СГО: Пациенты с характерными симптомами, но отрицательными результатами провокационных тестов. У этих пациентов могут быть другие причины боли, такие как миофасциальный синдром или синдром верхней апертуры грудной клетки.
- Маловероятный СГО: Пациенты с нетипичными симптомами или отсутствием симптомов со стороны руки. У этих пациентов, скорее всего, есть другие причины боли, такие как заболевания позвоночника, ребер или внутренних органов.

Преимущества использования клинического алгоритма:

- Повышение точности диагностики: Алгоритм помогает исключить другие возможные причины боли и подтвердить диагноз нейрогенного СГО.
- Раннее выявление пациентов, нуждающихся в хирургическом лечении: Это позволяет своевременно провести операцию и улучшить результаты лечения.
- Снижение риска осложнений: более точная диагностика помогает избежать ненужных операций и связанных с ними рисков.

Ограничения:

- Субъективность: Алгоритм основан на клинических данных, которые могут быть субъективными.
- Необходимость дальнейших исследований: требуется проведение дополнительных исследований для подтверждения эффективности алгоритма в различных популяциях пациентов.

Клинический алгоритм, предложенный Hwang et al. (2021), представляет собой перспективный инструмент для дифференциальной диагностики нейрогенного СГО. Этот метод может помочь врачам принимать более обоснованные решения о лечении пациентов с торакалгией.

Компьютерная томография (КТ)

Инновационные методы компьютерной томографии (КТ), такие как КТ-СПЕКТ и Spine-GAN, играют важную роль в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, помогая различать различные нозологии и определять оптимальные стратегии лечения [21, 34, 35, 36, 37].

КТ-СПЕКТ комбинирует анатомическую информацию КТ с функциональной информацией однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭ КТ). Это позволяет выявить области повышенной метаболической активности, которые могут свидетельствовать о воспалительных процессах, инфекциях, опухолях или переломах. Например, при подозрении на спондилит (воспаление позвонков) КТ-СПЕКТ может выявить характерное повышенное накопление радиофармпрепарата в пораженных позвонках, что подтверждает диагноз и помогает определить степень активности процесса [37, 38, 39].

Spine-GAN, основанный на алгоритмах искусственного интеллекта, позволяет автоматизировать анализ КТ-изображений позвоночника. Это помогает выявить тонкие изменения, которые могут быть пропущены при визуальной оценке, такие как начальные стадии дегенеративных заболеваний, небольшие грыжи дисков или компрессия нервных корешков. Например, при дифференциальной диагностике между миофасциальным болевым синдромом и дискогенной болью, Spine-GAN может помочь выявить наличие протрузии или грыжи диска, что указывает на дискогенную природу боли [35 - 37].

Комбинация КТ, КТ-СПЕКТ и Spine-GAN предоставляет врачам мощный инструмент для дифференциальной диагностики болей в грудном отделе позвоночника. КТ позволяет визуализировать костные структуры, КТ-СПЕКТ - оценить метаболическую активность, а Spine-GAN - выявить тонкие изменения и автоматизировать анализ изображений. Это позволяет более точно определить причину боли и выбрать наиболее эффективное лечение, будь то консервативная терапия, хирургическое вмешательство или комбинация методов [35 - 39].

Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника

Чрескожная транспедикулярная биопсия позвоночника под флюороскопическим контролем играет важную роль в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, особенно когда другие методы визуализации не дают однозначного ответа или требуется подтверждение диагноза. Эта методика позволяет получить образцы тканей для гистологического и микробиологического анализа, что помогает различать различные патологии [48 - 51].

Дифференциация инфекционных и опухолевых процессов [52 - 54]:

- Инфекции (спондилит, остеомиелит): биопсия позволяет выявить возбудителя инфекции и определить его чувствительность к антибиотикам, что помогает выбрать оптимальную терапию.
- Опухоли (первичные, метастатические): гистологическое исследование биоптата позволяет определить тип опухоли, степень ее злокачественности и выбрать наиболее эффективное лечение (хирургическое вмешательство, химиотерапия, лучевая терапия).

Дифференциация воспалительных заболеваний:

- Анкилозирующий спондилит: биопсия может выявить характерные воспалительные изменения в костной ткани, что помогает подтвердить диагноз.

- Ревматоидный артрит: биопсия может выявить наличие ревматоидных узелков в позвоночнике, что указывает на вовлечение позвоночника в патологический процесс.

Дифференциация других патологий:

- Остеопороз: биопсия может помочь оценить плотность костной ткани и подтвердить диагноз остеопороза, который может быть причиной патологических переломов позвонков.
- Метаболические заболевания костей: биопсия позволяет выявить наличие специфических изменений в костной ткани, характерных для различных метаболических заболеваний.

Преимущества чрескожной трансспедикулярной биопсии:

- Минимальная инвазивность: процедура выполняется под местной анестезией и не требует больших разрезов.
- Высокая точность: флюороскопический контроль обеспечивает точное наведение иглы к поражению.
- Быстрое восстановление: пациенты обычно могут вернуться к обычной активности в течение нескольких дней.

Чрескожная трансспедикулярная биопсия позвоночника является ценным инструментом в диагностике болей в грудном отделе позвоночника, позволяя точно определить причину боли и выбрать наиболее эффективное лечение.

Соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП):

Соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП) играют важную роль в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, особенно когда клиническая картина неясна или результаты других исследований неоднозначны. Этот метод позволяет оценить функциональную целостность проводящих путей от периферических нервов до коры головного мозга, что может помочь в дифференциации между различными нозологиями [55 - 57].

Дифференциация радикулопатии и миелопатии:

- Радикулопатия: при поражении нервных корешков (например, при грыже диска) ССВП могут выявить замедление или блокирование проведения импульсов на уровне пораженного сегмента. Это помогает определить локализацию патологии и выбрать оптимальный метод лечения (консервативное лечение, хирургическое вмешательство) [58 - 60].
- Миелопатия: при поражении спинного мозга (например, при стенозе позвоночного канала) ССВП могут выявить замедление проведения импульсов на протяжении всего спинного мозга. Это свидетельствует о более серьезной патологии, требующей немедленного лечения (хирургическая декомпрессия) [58 - 60].

Дифференциация центральной и периферической нейропатической боли:

- Центральная нейропатическая боль: при поражении центральной нервной системы (например, при рассеянном склерозе) ССВП могут выявить изменения в ответах на уровне коры головного мозга. Это помогает отличить центральную

нейропатическую боль от периферической и выбрать соответствующее лечение (фармакотерапия, физиотерапия) [58 - 60].

- Периферическая нейропатическая боль: при поражении периферических нервов (например, при диабетической нейропатии) ССВП могут выявить замедление или блокирование проведения импульсов на уровне пораженного нерва. Это помогает подтвердить диагноз и оценить степень повреждения нерва.

Преимущества ССВП [58 - 60]:

- Неинвазивность: Метод не требует введения контрастных веществ или воздействия ионизирующего излучения.
- Объективность: Результаты ССВП не зависят от субъективных ощущений пациента.
- Чувствительность: Метод может выявить нарушения проводимости даже при отсутствии структурных изменений на МРТ или КТ.

Ограничения ССВП:

- Неспецифичность: изменения ССВП могут наблюдаться при различных патологиях, что затрудняет дифференциальную диагностику.
- Зависимость от опыта специалиста: интерпретация результатов ССВП требует высокой квалификации врача.

В целом, ССВП являются ценным инструментом в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, особенно в сочетании с другими методами исследования.

Мультимодальный нейрофизиологический мониторинг (МНФМ)

Мультимодальный нейрофизиологический мониторинг (МНФМ) играет важную роль в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, особенно во время хирургических вмешательств. Он позволяет в режиме реального времени оценить функциональное состояние спинного мозга и нервных корешков, что помогает предотвратить их повреждение и провести дифференциацию между различными патологиями [61 - 63].

Дифференциация компрессионных и некомпрессионных синдромов:

- Компрессионные синдромы (грыжа диска, стеноз позвоночного канала): МНФМ позволяет выявить изменения в проводимости нервных импульсов, вызванные сдавлением нервных структур. Это помогает определить уровень и степень компрессии, что важно для выбора оптимальной хирургической тактики (декомпрессия, стабилизация).
- Некомпрессионные синдромы (воспаление, ишемия): МНФМ может выявить изменения в функции нервных волокон, не связанные с компрессией, что указывает на наличие воспалительного или ишемического процесса. Это помогает выбрать соответствующее лечение (противовоспалительная терапия, улучшение кровоснабжения).

Дифференциация уровня поражения:

- Поражение нервных корешков: МНФМ позволяет определить уровень поражения нервных корешков, что помогает выбрать оптимальный уровень хирургического вмешательства.
- Поражение спинного мозга: МНФМ может выявить изменения в проводимости импульсов по спинному мозгу, что свидетельствует о его поражении и требует особого внимания во время операции.

Преимущества МНФМ:

- Высокая чувствительность и специфичность: позволяет выявить даже незначительные изменения в функции нервной системы.
- Возможность мониторинга в реальном времени: позволяет хирургу немедленно реагировать на изменения в состоянии нервных структур во время операции.
- Безопасность: Метод неинвазивен и не представляет опасности для пациента.

Ограничения МНФМ:

- Технические сложности: требует специального оборудования и квалифицированного персонала.
- Стоимость: может быть дорогим методом исследования.

В целом, МНФМ является ценным инструментом в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, особенно в сочетании с другими методами исследования (МРТ, КТ). Он позволяет проводить более точную диагностику и выбирать наиболее эффективное лечение, что способствует улучшению прогноза для пациентов [64, 65].

Нейровизуализация:

Нейровизуализация, включающая функциональную магнитно-резонансную томографию (фМРТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ) и магнитно-резонансную спектроскопию (МРС), играет важную роль в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника, особенно в случаях, когда традиционные методы визуализации не дают однозначной картины. Эти методы позволяют исследовать функциональные и метаболические изменения в головном и спинном мозге, что может помочь в дифференциации различных нозологий [68, 69, 70].

ФМРТ позволяет оценить активность различных областей мозга в ответ на болевые стимулы. Это может быть полезно для дифференциации между ноцицептивной (связанной с повреждением тканей) и нейропатической (связанной с повреждением нервной системы) болью. Например, при нейропатической боли может наблюдаться повышенная активность в областях мозга, ответственных за обработку болевых сигналов, даже при отсутствии явного повреждения тканей [71 - 75].

ПЭТ позволяет визуализировать метаболическую активность тканей, включая воспалительные процессы. Это может быть полезно для дифференциации между воспалительными заболеваниями позвоночника (например, спондилит) и другими причинами боли. ПЭТ также может быть использована для оценки эф-

фективности лечения, например, для определения степени подавления воспалительного процесса после терапии [71 - 75].

МРС позволяет измерять концентрацию различных метаболитов в тканях, таких как нейротрансмиттеры и продукты их распада. Это может быть полезно для дифференциации между различными типами нейропатической боли, а также для оценки эффективности лечения, направленного на восстановление нормального баланса нейротрансмиттеров [71 - 73].

Преимущества нейровизуализации:

- Неинвазивность: методы не требуют введения контрастных веществ или проведения инвазивных процедур.
- Чувствительность: позволяют выявить тонкие изменения в мозге и спинном мозге, которые могут быть не видны на обычных снимках.
- Возможность оценки функциональных изменений: позволяют оценить не только структурные, но и функциональные изменения, что важно для понимания механизмов боли и выбора оптимального лечения.

Ограничения нейровизуализации [71 - 73]:

- Высокая стоимость: Методы являются дорогостоящими и не всегда доступны.
- Необходимость специальной подготовки: требуется специальное оборудование и квалифицированный персонал для проведения и интерпретации результатов.

В целом, нейровизуализация представляет собой перспективное направление в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника. Эти методы могут помочь в выявлении причин боли, выборе оптимального лечения и оценке его эффективности.

Биомаркеры:

В контексте дифференциальной диагностики болей в грудном отделе позвоночника биомаркеры могут сыграть важную роль, особенно с учетом развития нейровизуализации. В статье не указаны конкретные биомаркеры для торакалгии, можно предположить их потенциальное применение, основываясь на исследованиях в области хронической боли.

Потенциальные биомаркеры для дифференциальной диагностики [74, 75]:

- Воспалительные маркеры: Повышенные уровни С-реактивного белка (СРБ), интерлейкина-6 (ИЛ-6) и других воспалительных молекул могут указывать на воспалительные заболевания позвоночника (спондилит, артрит) или системные воспалительные заболевания с вовлечением позвоночника.
- Нейродегенеративные маркеры: Повышенные уровни нейрофиламентов легкой цепи (NFL), тау-белка и других маркеров нейродегенерации могут свидетельствовать о нейропатической природе боли, связанной с повреждением нервных волокон.
- Метаболические маркеры: Изменения уровня глюкозы, лактата и других метаболитов в спинномозговой жидкости или тканях позвоночника могут указывать

на наличие опухолей или метаболических нарушений, влияющих на костную ткань.

Нейровизуализация и биомаркеры:

- Функциональная МРТ (фМРТ): может выявить изменения в активности мозга, связанные с различными типами боли, что помогает в дифференциальной диагностике. Например, нейропатическая боль может быть связана с изменениями в активности определенных областей мозга, ответственных за обработку болевых сигналов.
- Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ): может использоваться для визуализации воспалительных процессов в позвоночнике с помощью специфических радиофармпрепаратов. Это может помочь в дифференциации между воспалительными и невоспалительными заболеваниями.
- Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС): позволяет оценить метаболические изменения в тканях позвоночника, что может быть полезно для диагностики опухолей и метаболических заболеваний.

Перспективы [74, 75]:

Разработка новых биомаркеров и их интеграция с методами нейровизуализации открывает новые перспективы для более точной и ранней диагностики болей в грудном отделе позвоночника. Это может привести к более эффективному лечению и улучшению прогноза для пациентов.

МРТ в оценке эффективности радиочастотной абляции:

МРТ в оценке эффективности радиочастотной абляции (РЧА) играет важную, но косвенную роль в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника. Хотя МРТ не позволяет напрямую различать нозологии, она помогает оценить эффективность РЧА, что может быть полезным для косвенной дифференциации причин боли [27, 71, 76, 77, 78].

Оценка эффективности РЧА и косвенная дифференциация [27, 71, 76, 77, 78]:

- Успешное уменьшение зоны абляции: если после РЧА наблюдается уменьшение зоны абляции на МРТ, это свидетельствует об эффективности процедуры. Уменьшение боли после РЧА может указывать на то, что причиной боли было воспаление или дисфункция фасеточных суставов, которые были успешно обработаны.
- Отсутствие изменений или увеличение зоны абляции: если зона абляции не уменьшается или даже увеличивается после РЧА, это может свидетельствовать о неэффективности процедуры. В этом случае, возможно, причина боли кроется в другой патологии, такой как грыжа диска, стеноз позвоночного канала или опухоль.

Дополнительная информация:

- Визуализация анатомических структур: МРТ позволяет детально визуализировать анатомические структуры позвоночника, что помогает исключить другие воз-

возможные причины боли, такие как переломы, опухоли или инфекции. Оценка состояния мягких тканей: МРТ позволяет оценить состояние межпозвоночных дисков, связок и мышц, что может быть полезно для дифференциации между дискогенной болью, миофасциальным болевым синдромом и другими патологиями.

Ограничения [27, 71, 76, 77, 78]:

Необходимость дополнительных исследований: МРТ в сочетании с РЧА не является самостоятельным методом дифференциальной диагностики и требует дополнительных исследований, таких как клинический осмотр, анамнез и другие методы визуализации.

В целом, МРТ в оценке эффективности РЧА является ценным инструментом, который может косвенно помочь в дифференциальной диагностике болей в грудном отделе позвоночника. Этот метод позволяет оценить эффективность лечения и определить необходимость дополнительных исследований для уточнения диагноза.

Обсуждение.

Дифференциальная диагностика торакалгии представляет собой сложную задачу, требующую комплексного подхода с использованием различных методов исследования. Инновационные методы, описанные в статье, значительно расширяют возможности врачей в этой области [22]. Клинический алгоритм для диагностики нейрогенного синдрома грудного выхода (СГО), предложенный Hwang et al. (2021) [34], позволяет более точно дифференцировать пациентов с истинным нейрогенным СГО от пациентов с другими причинами боли в грудной клетке. Это особенно важно, поскольку только пациенты с истинным нейрогенным СГО могут получить пользу от хирургического лечения. Компьютерная томография (КТ) и КТ-СПЕКТ играют важную роль в выявлении структурных изменений позвоночника, таких как переломы [7, 21], опухоли и дегенеративные изменения [8], которые могут быть причиной торакалгии. КТ-СПЕКТ, в свою очередь, позволяет оценить метаболическую активность костной ткани [36, 41], что может указывать на наличие воспалительных или инфекционных процессов [18]. Алгоритм Spine-GAN, основанный на искусственном интеллекте, автоматизирует анализ КТ-изображений, что повышает точность и скорость диагностики. Чрескожная трансспедикулярная биопсия позвоночника [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54] позволяет получить образцы тканей для гистологического и микробиологического анализа, что является решающим фактором в дифференциальной диагностике инфекционных, опухолевых и воспалительных заболеваний позвоночника [16]. Соматосенсорные вызванные потенциалы (ССВП) [55, 56, 57, 58, 59, 60] и мультимодальный нейрофизиологический мониторинг (МНФМ) [24, 25, 61, 62] позволяют оценить функциональное состояние нервной системы, что помогает дифференцировать между радикулопатией, миелопатией и другими неврологическими причинами боли. МНФМ особенно полезен во время операций на позвоночнике, так

как позволяет в режиме реального времени контролировать состояние нервных структур и предотвращать их повреждение. Нейровизуализация, включая фМРТ, ПЭТ и МРС [26, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75], позволяет исследовать функциональные и метаболические изменения в головном и спинном мозге, что может быть полезно для дифференциации между различными типами боли (например, ноцицептивной и нейропатической) и оценки эффективности лечения.

Биомаркеры, хотя и не упоминаются конкретно в контексте торакалгии в статье, могут стать перспективным инструментом для дифференциальной диагностики в будущем [68]. Например, воспалительные маркеры могут указывать на воспалительные заболевания, нейродегенеративные маркеры - на нейропатическую боль [69, 70, 71, 72, 73, 74, 75], а метаболические маркеры - на опухоли или метаболические нарушения. МРТ в оценке эффективности радиочастотной абляции [27, 76, 77, 78] позволяет косвенно дифференцировать причины боли, оценивая эффективность лечения. Уменьшение боли после РЧА может указывать на то, что причиной боли было воспаление или дисфункция фасеточных суставов [14], в то время как отсутствие эффекта может свидетельствовать о другой патологии. Инновационные методы диагностики торакалгии, такие как клинические алгоритмы, КТ-СПЕКТ, Spine-GAN, чрескожная биопсия, ССВП, МНФМ и нейровизуализация, не заменяют, а дополняют традиционные методы, такие как рентген, КТ и МРТ [29, 30, 31, 32, 33]. Комплексный подход, сочетающий различные методы, позволяет получить наиболее полную картину заболевания и выбрать оптимальную стратегию лечения [35]. Важно отметить, что инновационные методы диагностики торакалгии открывают путь к персонализированной медицине. Например, нейровизуализация может помочь определить, какой тип лечения боли будет наиболее эффективен для конкретного пациента, учитывая индивидуальные особенности его нервной системы. Хотя некоторые инновационные методы могут быть дорогостоящими, их использование может привести к снижению затрат на лечение в долгосрочной перспективе [39, 40]. Более точная диагностика позволяет избежать ненужных процедур и сократить время до начала эффективного лечения, что в конечном итоге может снизить общие расходы на здравоохранение. Применение новых технологий всегда связано с этическими вопросами. Например, использование искусственного интеллекта в диагностике, такого как Spine-GAN, может вызвать вопросы о конфиденциальности данных и ответственности за принятие решений. Важно обеспечить прозрачность и этичность использования этих технологий, чтобы гарантировать защиту прав и интересов пациентов. Несмотря на значительный прогресс, инновационные методы диагностики торакалгии находятся на стадии активного развития. Дальнейшие исследования необходимы для уточнения их диагностической ценности, определения оптимальных алгоритмов использования и разработки новых методов лечения, основанных на полученных данных. Особое внимание следует уделить разработке новых биомаркеров боли, которые могут быть использованы в сочетании с

нейровизуализацией для еще более точной диагностики и персонализированного подхода к лечению пациентов с торакалгией.

Выводы.

Торакалгия представляет собой сложную медицинскую проблему с разнообразными причинами, включая дегенеративные [8], воспалительные [1], инфекционные [16, 18] и опухолевые процессы [3]. Традиционные методы диагностики, такие как рентген, КТ и МРТ [29, 30, 31, 32, 33], остаются важными инструментами, но имеют свои ограничения [22]. Инновационные методы, такие как клинические алгоритмы, КТ-СПЕКТ, Spine-GAN, чрескожная биопсия, ССВП, МНФМ и нейровизуализация, предлагают новые возможности для более точной диагностики и персонализированного лечения [19, 20]. Эти методы позволяют выявить тонкие изменения в структуре и функции позвоночника [5, 6], определить источник боли [11, 12] и оценить эффективность лечения [24, 27]. Например, клинические алгоритмы помогают дифференцировать нейрогенный синдром грудного выхода [34], КТ-СПЕКТ выявляет воспалительные процессы [36, 41], а нейровизуализация позволяет оценить активность мозга в ответ на боль [26]. Однако, инновационные методы также имеют свои ограничения, такие как высокая стоимость и необходимость специальной подготовки. Кроме того, они не заменяют, а дополняют традиционные методы. Поэтому важно использовать комплексный подход, сочетающий различные методы диагностики, для получения наиболее полной картины заболевания [35]. Несмотря на существующие ограничения, инновационные методы диагностики торакалгии представляют собой значительный прорыв в медицине. Они открывают новые перспективы для более точной диагностики, персонализированного лечения [9, 10, 13, 14, 15, 17] и улучшения качества жизни пациентов. Дальнейшие исследования в этой области помогут разработать еще более эффективные и доступные методы диагностики и лечения торакалгии.

Литература

1. Manchikanti L., Knezevic N.N., Navani A. и др. Epidural interventions in the management of chronic spinal pain // *Pain Physician*. 2021. Vol. 24 (S1). P. S27–S208.
2. Leboeuf-Yde C., Nielsen J., Kyvik K.O., Fejer R., Hartvigsen J. Pain in spinal regions // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2009. Vol. 10. P. 47.
3. Boden S.D. и др. Cervical spine MRI abnormalities // *J Bone Joint Surg Am*. 1990. Vol. 72 (7). P. 1178–1184.
4. Wood K.B. и др. Thoracic spine MRI // *J Bone Joint Surg Am*. 1995. Vol. 77 (11). P. 1631–1638.
5. Chen G. и др. Thoracic stenosis review // *Eur Spine J*. 2020. Vol. 29. P. 2164–2172.
6. Aoki Y. и др. Lumbar spondylolysis // *Sci Rep*. 2020. Vol. 10. P. 6739.

7. Di Filippo L. и др. Vertebral fractures in COVID-19 // *J Clin Endocrinol Metab.* 2021. Vol. 106 (2). P. e602–e614.
8. Parenteau C.S. и др. Spine degeneration epidemiology // *Sci Rep.* 2021. Vol. 11. P. 5389.
9. Manchikanti L. и др. Chronic spinal pain guidelines // *Pain Physician.* 2013. Vol. 16. P. S49–S283.
10. Chen G. и др. Thoracic stenosis // *Eur Spine J.* 2020. Vol. 29. P. 2164–2172.
11. Maselli F. и др. Red flags in thoracolumbar pain // *Disabil Rehabil.* 2022. Vol. 44 (8). P. 1190–1206.
12. Ota Y. и др. Mechanisms of spinal pain // *Radiographics.* 2020. Vol. 40 (4). P. 1163–1181.
13. Marshall K., McLaughlin K. Thoracic pain management // *Thorac Surg Clin.* 2020. Vol. 30 (3). P. 339–346.
14. Manchikanti L. и др. Facet joint guidelines // *Pain Physician.* 2020. Vol. 23 (3S). P. S1–S127.
15. Christelis N. и др. Persistent spinal pain syndrome // *Pain Med.* 2021. Vol. 22 (4). P. 807–818.
16. Schwab J.H., Shah A.A. Spinal epidural abscess // *JAAOS.* 2020. Vol. 28 (21). P. e929–e938.
17. Price M. и др. Cervical myelopathy case // *J Bodyw Mov Ther.* 2021. Vol. 26. P. 315–319.
18. Ma C. и др. Spinal epidural abscess // *Beijing Da Xue Xue Bao.* 2019. Vol. 51 (4). P. 574–580.
19. Sarzi-Puttini P. и др. Fibromyalgia // *Nat Rev Rheumatol.* 2020. Vol. 16 (11). P. 645–660.
20. Hwang J. и др. Thoracic outlet syndrome // *Ann Vasc Surg.* 2021. Vol. 76. P. 454–462.
21. Jia P. и др. CT spinal fractures // *J Healthc Eng.* 2021. Vol. 2021. P. 1–8.
22. Kim G.-U. и др. Spine diagnostics // *Asian Spine J.* 2022. Vol. 16. P. 764–775.
23. Ravikanth R. Percutaneous biopsy // *J Craniovertebr Junction Spine.* 2020. Vol. 11. P. 93–98.
24. Melachuri S.R. и др. Evoked potentials // *J Neurosurg Spine.* 2020. Vol. 33. P. 35–40.
25. Zhang C.W. и др. Neuro monitoring TB // *Zhongguo Gu Shang.* 2021. Vol. 34 (11). P. 1065–1071.
26. Tracey I. Pain biomarkers // *Sci Transl Med.* 2021. Vol. 13. P. eabc0918.
27. Desai M., Safriel Y. MRI ablation // *J Pain Res.* 2022. Vol. 15. P. 423–430.
28. Speldewinde G. Thoracic neurotomy // *Pain Med.* 2020. Vol. 21 (9). P. 1811–1818.

- 29.Carey S. и др. Chest imaging comparison // Radiology. 2020. Vol. 296. P. 89–96.
- 30.Hamd Z.Y. Pulmonary embolism imaging // Int J Biomedicine. 2023. Vol. 13. P. 12–18.
- 31.Carrabba N. и др. CTA chest pain // Biomed Res Int. 2019. Vol. 2019. P. 1–8.
- 32.Kashani M.A. и др. MRI biopsy guidance // J Thorac Imaging. 2022. Vol. 37 (6). P. 375–382.
- 33.Rajasekar B. и др. Photoacoustic imaging // Biomed Res Int. 2022. Vol. 2022. P. 1–9.
- 34.Hwang J.S. и др. Thoracic outlet syndrome // Ann Vasc Surg. 2021. Vol. 76. P. 454–462.
- 35.Lin I. и др. Musculoskeletal pain care // Br J Sports Med. 2019. Vol. 53. P. 276–284.
- 36.Tender G.C. и др. CT-SPECT // Neurosurg Focus. 2019. Vol. 47. P. E18.
- 37.Hoy D. и др. Low back pain prevalence // Arthritis Rheum. 2012. Vol. 64. P. 2028–2037.
- 38.Patrick N. и др. Low back pain // Med Clin North Am. 2014. Vol. 98. P. 777–789.
- 39.Dieleman J.L. и др. Healthcare spending // JAMA. 2020. Vol. 323. P. 863–884.
- 40.Zheng F. и др. Spine surgery predictors // Spine. 2002. Vol. 27. P. 818–824.
- 41.Cusi M. и др. SPECT-CT SI joint // Eur Spine J. 2013. Vol. 22. P. 1674–1682.
- 42.Choi B.W. и др. Cervical imaging // Clin Orthop Surg. 2021. Vol. 13. P. 499–504.
- 43.Kang K.W. и др. Nuclear medicine // Seoul: Korea Medicine; 2019. P. 1–850.
- 44.Anderson K. и др. SPECT stress injuries // J Pediatr Orthop. 2000. Vol. 20. P. 28–33.
- 45.Perez-Roman R.J. и др. SPECT facet pain // World Neurosurg. 2020. Vol. 137. P. e487–e492.
- 46.Ryan R.J. и др. SPECT spine // Nucl Med Commun. 1992. Vol. 13. P. 497–502.
- 47.McDonald M. и др. CT-SPECT fusion // Neurosurg Focus. 2007. Vol. 22. P. E2.
- 48.Ravikanth R. Biopsy // J Craniovertebr Junction Spine. 2020. Vol. 11. P. 93–98.
- 49.Lee S.A. и др. CT vs fluoroscopy biopsy // Spine J. 2020. Vol. 20. P. 1114–1124.

50. Roschan S. Biopsy system // *J Southeast Asian Orthop*. 2022. Vol. 46. P. 24–28.
51. Nourbakhsh A. и др. Spine biopsy review // *JAAOS*. 2021. Vol. 29. P. e681–e692.
52. Gala K.B. и др. CT biopsy technique // *J Clin Interv Radiol*. 2021. Vol. 5. P. 150–157.
53. Marruzzo D. и др. Biopsy improvement // *Eur Spine J*. 2023. Vol. 32. P. 221–227.
54. Basu S. и др. Needle biopsy // *Eur Spine J*. 2021. Vol. 30. P. 1450–1455.
55. Melachuri S.R. и др. Evoked potentials // *J Neurosurg Spine*. 2020. Vol. 33. P. 35–40.
56. Fustes O. и др. Review // *Arq Neuropsiquiatr*. 2021. Vol. 79. P. 824–831.
57. Markand O.N. Evoked potentials // 2020. P. 139–207.
58. Reddy R.P. и др. Meta-analysis // *Spine J*. 2021. Vol. 21. P. 555–570.
59. Lachance B. и др. Neuroprognosis // *Neurocrit Care*. 2020. Vol. 32. P. 847–857.
60. Moustafa I.M. и др. Head posture // *J Clin Med*. 2023. Vol. 12. P. 3217.
61. Zhang C.W. и др. Monitoring TB // *Orthop Surg*. 2021. Vol. 13. P. 1359–1368.
62. Zhang C.W. и др. Monitoring TB // *Zhongguo Gu Shang*. 2021. Vol. 34. P. 1065–1071.
63. Xu N.J. и др. Lumbar TB // *Spine*. 2019. Vol. 44. P. E123–E130.
64. Wu P. и др. Thoracolumbar TB // *Eur Spine J*. 2020. Vol. 29. P. 980–987.
65. Jiang L. и др. TB surgery // *BMC Musculoskelet Disord*. 2022. Vol. 23. P. 619.
66. Zhong Y. и др. Bone graft TB // *Eur Spine J*. 2021. Vol. 30. P. 2500–2510.
67. Peng Y., Guan Q. Dexmedetomidine // *Evid Based Complement Alternat Med*. 2021. Vol. 2021. P. 6363188.
68. Eldabe S. и др. Pain biomarkers // *Pain Res Manag*. 2022. Vol. 2022. P. 1–10.
69. Xu X., Huang Y. Pain assessment // *F1000Research*. 2020. Vol. 9. P. 1–10.
70. Diaz M.M. и др. Neuropathic pain // *Front Pain Res*. 2022. Vol. 3. P. 869215.
71. Lee J.J. и др. Neuroimaging biomarker // *Nat Med*. 2021. Vol. 27. P. 174–182.
72. Ferraro S. и др. Insula biomarker // *Hum Brain Mapp*. 2022. Vol. 43. P. 998–1010.
73. Davis K.D. и др. Pain biomarkers // *Nat Rev Neurol*. 2020. Vol. 16. P. 381–400.
74. Martins D. и др. Neuroimaging biomarker // *Brain Commun*. 2022. Vol. 4. P. fcab302.
75. Zhang Z. и др. Brain imaging // *Front Neurol*. 2022. Vol. 12. P. 734821.

76. Kim S., Seo J. Radiofrequency ablation // *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2005. Vol. 28. P. 779–788.
77. Davis T. и др. Knee pain RFA // *Reg Anesth Pain Med*. 2019. Vol. 44. P. 499–506.
78. Kapural L. и др. Cooled RFA // *J Pain Res*. 2022. Vol. 15. P. 2577–2586.

ТОРАКАЛГИЯ: ДИАГНОСТИКАНЫҢ АШЫЛМАҒАН ӘЛЕУЕТІ ЖӘНЕ КЕУДЕ ОМЫРТҚАСЫНДАҒЫ АУЫРУДЫ ТҮСІНУДЕГІ ЖАҢА КӨКЖИЕКТЕР

**Нуралиева А.Е.¹, Отарбаева М.Б.¹, Баттакова Ш.Б.¹, Григолашвили М.А.¹,
Қалыбаева У.А.¹, Болат Н.Б.¹**

¹«Қарағанды медицина университеті» КеАҚ, (100012, Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ., Гоголь көшесі, 40, e-mail: info@qmu.kz)

1. Нуралиева А.Е., «Қарағанды медицина университеті» КеАҚ неврология, психиатрия және реабилитология кафедрасы, e-mail: nuraliyeva.9898@mail.ru
2. Отарбаева М.Б., e-mail: mb.otarbaeva103@mail.ru
3. Баттакова Ш.Б., e-mail: sharbanu_battakova@mail.ru
4. Григолашвили М.А., e-mail: Grigolashvili@qmu.kz
5. Қалыбаева У.А., e-mail: info@qmu.kz
6. Болат Н.Б., e-mail: info@qmu.kz

Тұжырым

Торакалгияны диагностикалаудың заманауи әдістеріне жан-жақты шолу ұсынылған. Онда дәстүрлі рентгенологиялық зерттеулерден бастап инновациялық нейровизуализациялық технологияларға дейінгі тәсілдер қарастырылады. Мақалада ауырсынудың этиологиясын анықтау және тиімді емдеу тактикасын таңдау үшін ерте әрі дәл диагностиканың маңыздылығы ерекше атап өтіледі.

Соматосенсорлық шақырылған потенциалдарға және мультимодальды нейрофизиологиялық мониторингке ерекше мән беріледі, себебі бұл әдістер жүйке импульстарының өткізгіштігіндегі бұзылыстарды анықтауға мүмкіндік береді және операция кезінде жүйке құрылымдарының зақымдануының алдын алуға көмектеседі.

Сондай-ақ нейровизуализацияны қолданудың болашағы талқыланады, соның ішінде функционалдық магниттік-резонанстық томография, позитронды-эмиссиялық томография және магниттік-резонанстық спектроскопия. Бұл әдістер

ауырсынудың биомаркерлерін анықтауға және емдеудің жекелендірілген тәсілдерін әзірлеуге мүмкіндік береді.

Мақала торакалгияны диагностикалау және емдеумен айналысатын дәрігерлер мен зерттеушілер үшін құнды ақпарат көзі болып табылады және осы кең таралған мәселе бойынша пациенттерді емдеуде ең жақсы нәтижелерге қол жеткізу үшін дәстүрлі және инновациялық әдістерді біріктіретін кешенді тәсілдің маңыздылығын көрсетеді.

Түйінді сөздер: торакалгия; омыртқаның кеуде бөліміндегі ауырсыну; диагностика; инновациялық әдістер; дифференциалды диагностика.

THORACALGIA: UNCOVERED POTENTIAL OF DIAGNOSTICS AND NEW HORIZONS IN UNDERSTANDING PAIN IN THE THORACIC SPINE

**Nuralieva A.E.¹, Otarbayeva M.B.¹, Battakova Sh.B.¹, Grigolashvili M.A.¹,
Kalybayeva U.A.¹, Bolat N.B.¹**

¹Department of Neurology, Psychiatry and Rehabilitation of NCJSC «Karaganda Medical University» (100008, Republic of Kazakhstan, Karaganda, Gogol str., 40; e-mail: info@qmu.kz)

1.Nuralieva A.E., NCJSC "Medical University of Karaganda", e-mail: nuraliyeva.9898@mail.ru

2.Otarbaeva M.B., e-mail: mb.otarbaeva103@mail.ru

3.Battakova Sh.B., e-mail: sharbanu_battakova@mail.ru

4.Grigolashvili M.A., e-mail: Grigolashvili@qmu.kz

5.Kalybayeva U.A., e-mail: info@qmu.kz

6.Bolat N.B., e-mail: info@qmu.kz

Summary

A comprehensive overview of modern methods for diagnosing thoracalgia is presented, ranging from traditional radiological examinations to innovative neuroimaging techniques. The article emphasizes the importance of early and accurate diagnosis for determining the etiology of pain and selecting optimal treatment strategies.

Particular attention is given to somatosensory evoked potentials and multimodal neurophysiological monitoring, which make it possible to detect disturbances in nerve impulse conduction and help prevent damage to neural structures during surgical procedures.

The prospects of using neuroimaging techniques are also discussed, including functional magnetic resonance imaging, positron emission tomography, and magnetic

resonance spectroscopy. These approaches allow the identification of pain biomarkers and contribute to the development of personalized treatment strategies.

The article represents a valuable resource for physicians and researchers involved in the diagnosis and treatment of thoracalgia and highlights the importance of a comprehensive approach that combines traditional and innovative methods to achieve the best outcomes in the management of patients with this common condition.

Key words: thoracalgia; thoracic spine pain; diagnostics; innovative methods; differential diagnosis.