

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
ДИАГНОСТИКИ ЦЕРВИКАЛГИИ: НАУЧНЫЙ ОБЗОР**

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

¹НАО «Карагандинский Медицинский Университет» (100012, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Гоголя, 40; e-mail: info@qmu.kz)

1. Калыбаева У.А., НАО «Карагандинский Медицинский Университет», Кафедра неврологии, психиатрии и реабилитологии, e-mail: info@qmu.kz
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. Нуралиева А.Е., e-mail: nuraliyeva.9898@mail.ru
6. Болат Н.Б., e-mail: info@qmu.kz

Целью данной обзорной статьи является систематизация и анализ современных инновационных методов дифференциальной диагностики цервикалгии. Цервикалгия, или боль в шее, является распространенной патологией, часто связанной с дегенеративно-дистрофическими изменениями в шейном отделе позвоночника. В последние годы появились новые методы диагностики, такие как ультразвуковая эластография, функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), молекулярная диагностика, диффузионно-взвешенная МРТ, постуральный анализ, а также технологии виртуальной и дополненной реальности. Эти инновационные методы позволяют более точно и объективно оценить состояние шейного отдела позвоночника, выявить ранние признаки патологических изменений и провести дифференциальную диагностику болей в шее. Также рассматриваются такие передовые технологии, как МРТ спектроскопия и оптическая когерентная томография. Особое внимание уделяется использованию искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа медицинских изображений. В данной статье обсуждаются преимущества и перспективы этих инновационных подходов, а также их влияние на улучшение качества медицинской помощи и повышение качества жизни пациентов.

Ключевые слова: цервикалгия; дифференциальный диагноз; ультразвуковая эластография; функциональная магнитно-резонансная томография; молекулярная диагностика

Введение. Распространенность и социально-экономическое значение болей в шеи.

Цервикалгия, или боль в шее, определяется как боль в области шейного отдела позвоночника, которая может отдавать в руки и длится не менее 24 часов [1]. В зарубежной литературе этот термин чаще называют "neck pain" (боль в шее) [2]. Цервикалгия представляет собой сложный болевой синдром, который может быть вызван различными факторами, включая мышечное напряжение, дегенеративные изменения позвоночника, травмы, воспаление и другие патологические процессы.

Хотя боль в шее чаще всего ассоциируется со взрослыми, новые данные свидетельствуют о том, что из-за новых технологий эта проблема все чаще встречается у детей и подростков [2]. В 2017 году глобальные стандартизированные по возрасту показатели распространенности и заболеваемости боли в шее составили 3551,1 и 806,6 на 100 000 человек соответственно [1].

Симптомы цервикалгии [3]: локализация боли: боль может быть локализована в задней части шеи, боковой поверхности шеи, или распространяться на плечи, руки и голову; характер боли: боль может быть острой, тупой, ноющей, колющей, пульсирующей; интенсивность боли: от легкой до сильной, ограничивающей повседневную деятельность.

Сопутствующие симптомы: ограничение подвижности шеи, мышечное напряжение, головная боль, головокружение, онемение или покалывание в руках.

Причины цервикалгии [4]: мышечное напряжение: длительное пребывание в неудобной позе, неправильная осанка, стресс; дегенеративные изменения позвоночника: остеохондроз, спондилез, грыжи межпозвоночных дисков; травмы: ушибы, растяжения, переломы; воспалительные заболевания: ревматоидный артрит, спондилит; другие причины: инфекции, опухоли, фибромиалгия.

Болевой синдром при цервикалгии может значительно варьировать в зависимости от причины и степени повреждения тканей. В некоторых случаях боль может быть легкой и ноющей, в других - острой и интенсивной, значительно ограничивающей подвижность шеи и повседневную деятельность. Боль может усиливаться при движении, напряжении мышц, длительном пребывании в одной позе [5].

В зависимости от причины боли, могут наблюдаться различные сопутствующие симптомы. Например, при мышечном напряжении часто отмечается ограничение подвижности шеи, мышечные спазмы и болезненность при пальпации. При дегенеративных изменениях позвоночника боль может сопровождаться онемением или покалыванием в руках, головной болью, головокружением. При

воспалительных заболеваниях может наблюдаться повышение температуры тела, общая слабость, отечность и покраснение в области шеи [3, 4, 5].

Дети и подростки проводят в среднем от 5 до 7 часов в день, склонившись над своими устройствами, что равносильно 1825-2555 часам в год [6]. Это может привести к изменению физиологического шейного лордоза, выпячиванию дисков, дегенерации шейного отдела позвоночника, а также головным болям, головокружению и боли в шее [7]. Исследование Fares et al. (2017) показывают, что у 100% детей и подростков с неспецифической болью в шее также наблюдается боль в спине и плечах [7]. Другие симптомы включают напряжение глаз, сухость глаз, близорукость, раздражительность, стресс, тревогу, проблемы с общением и снижение успеваемости в школе [7]. Согласно исследованию Adamson et al. (2007), проведенному в Таиланде, распространенность боли в шее и плечах среди школьников была высокой, как и у европейских подростков (от 15% до 28%) и китайских подростков (41,1%) [8, 9]. Распространенность симптомов боли в опорно-двигательном аппарате у детей школьного возраста различается в зависимости от возраста, группы и пола. Головная боль была наиболее распространенным симптомом боли в опорно-двигательном аппарате, о котором сообщалось, с самой высокой распространенностью среди тайских подростков школьного возраста [2]. Кроме того, было обнаружено, что головная боль и симптомы боли в опорно-двигательном аппарате чаще встречались у девочек, чем у мальчиков, и эти показатели, как правило, выше у детей старшего возраста. Боль в лодыжке или стопе была частой болью в опорно-двигательном аппарате среди мальчиков и девочек младшего возраста, занимающихся спортом. Боль в шее и плечах была распространенной болью в опорно-двигательном аппарате среди мальчиков и девочек старшего возраста и была связана с использованием компьютера и ношением школьной сумки [2].

Проблема болей в шее актуальна не только для детей и подростков, но и для взрослого работоспособного населения. Статистика показывает, что до 72% людей трудоспособного возраста хотя бы раз в год испытывают боли в шее, а у 1,7-11,5% эта проблема становится причиной временной нетрудоспособности [1]. С возрастом количество людей, испытывающих дискомфорт и боль в области шеи, увеличивается, причем женщины сталкиваются с этой проблемой чаще мужчин [1].

У взрослого населения боли в шее часто связаны с образом жизни и профессиональной деятельностью. Длительное пребывание в статичных позах, например, при работе за компьютером, вождении автомобиля или выполнении монотонных движений, приводит к перенапряжению мышц шеи и плеч, что вызывает боль и дискомфорт. Также боли в шее могут быть следствием травм, например, при автомобильных авариях или падениях, а также результатом возрастных изменений в позвоночнике, таких как остеохондроз и спондилез [1, 2].

Стресс, тревога и депрессия также могут способствовать развитию болей в шее. Психозомоциональное напряжение вызывает мышечные спазмы и ухудшает кровообращение, что приводит к боли и ограничению подвижности шеи. Кроме того, неправильная осанка, лишний вес и недостаток физической активности также могут стать факторами риска развития болей в шее у взрослого населения [2].

Согласно исследованию Global Burden of Disease Study (2017), основными причинами болей в шее у взрослого населения являются дегенеративные изменения позвоночника (остеохондроз, спондилез, протрузии и грыжи межпозвоночных дисков), мышечное перенапряжение и спазмы, травмы шеи, а также воспалительные заболевания (ревматоидный артрит, спондилит) [2]. Также боли в шее могут быть вызваны стрессом, неправильной осанкой, длительным пребыванием в неудобной позе, например, во время сна или работы за компьютером.

Цервикалгия представляет собой серьезную социально-экономическую проблему. В 2016 году в США расходы на здравоохранение, связанные с болью в пояснице и шее, составили 134,5 миллиарда долларов, являясь самыми высокими среди 154 других состояний [10]. Эти расходы включают в себя прямые затраты на медицинскую помощь, такие как консультации специалистов, диагностические процедуры, медикаментозное лечение, физиотерапию, массаж и, в некоторых случаях, хирургическое вмешательство.

Консультация невролога или ортопеда в США может стоить от 100 до 300 долларов. Диагностические процедуры, такие как рентген шейного отдела позвоночника, могут обойтись пациенту в 150-300 долларов, в то время как МРТ или КТ могут стоить от 800 до 2500 долларов. Медикаментозное лечение может варьироваться от 20 долларов за безрецептурные обезболивающие до нескольких сотен долларов за более сильные препараты или инъекции. Курс физиотерапии, состоящий из 10-12 сеансов, может стоить от 500 до 1500 долларов, а стоимость массажа может варьироваться от 50 до 100 долларов за сеанс. В случае необходимости хирургического вмешательства, стоимость операции может достигать 20000 долларов и выше, в зависимости от сложности процедуры и продолжительности госпитализации [10].

Помимо прямых медицинских расходов, цервикалгия существенно влияет на качество жизни пациентов. Боль в шее ограничивает повседневную активность, снижает работоспособность и приводит к социальной изоляции [7]. В 2012 году в США 25,5 млн человек пропустили в среднем 11,4 рабочих дня из-за боли в шее [11]. Это приводит к значительным потерям производительности труда и экономическим убыткам как для самих работников, так и для работодателей. У детей и подростков цервикалгия может негативно сказаться на успеваемости в школе и социализации [7].

Таким образом, цервикалгия является серьезной проблемой общественного здравоохранения, требующей комплексного подхода к профилактике и лечению. Высокие затраты на диагностику и лечение, а также потери производительности

труда и снижение качества жизни пациентов подчеркивают важность разработки эффективных стратегий профилактики и раннего выявления цервикалгии.

Актуальность. Традиционные методы диагностики, такие как рентгенография, компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ), хотя и являются информативными, имеют ряд ограничений. Они могут не выявлять ранние признаки дегенеративных изменений, не всегда позволяют оценить функциональное состояние шейного отдела позвоночника и могут быть связаны с лучевой нагрузкой [4]. Кроме того, традиционные методы лечения, такие как медикаментозная терапия и физиотерапия, не всегда оказываются достаточно эффективными, особенно при хронической цервикалгии [12].

Инновационные методы диагностики, такие как искусственный интеллект и машинное обучение, ультразвуковая эластография, функциональная МРТ и другие, позволяют более точно и объективно оценить состояние шейного отдела позвоночника, выявить ранние признаки патологических изменений и выбрать наиболее эффективную тактику лечения [13]. Новые методы лечения, такие как малоинвазивные вмешательства, роботизированная реабилитация и применение виртуальной реальности, открывают новые возможности для персонализированной и эффективной терапии цервикалгии [14].

Таким образом, разработка и внедрение инновационных подходов в диагностике и лечении цервикалгии являются необходимыми для улучшения качества медицинской помощи, снижения экономических затрат и повышения качества жизни пациентов.

Целью данного обзора является систематизация и анализ современных достижений в области диагностики и лечения цервикалгии с акцентом на применении инновационных технологий.

Методы исследования. Тип исследования: Обзор литературы, включающий анализ научных статей, опубликованных в период с мая 2019 года по май 2024 года, посвященных инновационным методам диагностики цервикалгии.

Критерии включения публикаций: статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах; статьи, содержащие информацию об инновационных методах диагностики цервикалгии (новые технологии визуализации, биомаркеры и др.); статьи на русском или английском языках.

Критерии исключения публикаций: статьи, не относящиеся к теме цервикалгии или инновационным методам диагностики; статьи с низким уровнем доказательности (например, описания отдельных клинических случаев без статистического анализа); дублирующие публикации.

Поиск и отбор статей: для поиска статей использовались базы данных Pub Med, Scopus и Web of Science. Поиск проводился по ключевым словам, таким как «цервикалгия», «дифференциальная диагностика», «ультразвуковая эластография», «функциональная магнитно-резонансная томография» и другие. В результате было отобрано 50 наиболее релевантных и информативных статей.

Анализ данных: Отобранные статьи были проанализированы с целью выявления основных тенденций и достижений в области инновационных методов диагностики цервикалгии. Особое внимание уделялось оценке эффективности и перспективности новых методов, а также их потенциальному влиянию на клиническую практику.

Результаты исследований:

I. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО)

Применение ИИ и МО в анализе медицинских данных [15].

Применение ИИ и МО в диагностике цервикалгии выходит за рамки анализа медицинских изображений. Алгоритмы МО, такие как метод опорных векторов (SVM), k-ближайших соседей (KNN), метод случайного леса (RF) и искусственные нейронные сети (ANN), позволяют анализировать не только снимки, но и другие данные пациента (анамнез, физикальные данные, результаты лабораторных и функциональных исследований).

Преимущества ИИ диагностики по сравнению с человеком [16]:

1. Раннее выявление патологий: Алгоритмы МО способны выявлять на ранних стадиях дегенеративно-дистрофические изменения в шейном отделе позвоночника (остеохондроз, спондилез, протрузии и грыжи межпозвоночных дисков).

2. Прогнозирование интенсивности боли: МО позволяет прогнозировать интенсивность боли, что помогает врачам выбирать эффективные методы лечения.

3. Оценка рисков развития осложнений: ИИ может оценить вероятность развития осложнений (хронизация боли, неврологические нарушения), что позволяет проводить профилактические мероприятия.

4. Персонализированный подход: ИИ учитывает индивидуальные особенности пациента (возраст, пол, образ жизни, сопутствующие заболевания) для разработки персонализированных планов лечения.

Что выявляет ИИ на разных стадиях заболевания [16].

Ранние стадии: начальные дегенеративно-дистрофические изменения в шейном отделе позвоночника; минимальные протрузии и грыжи межпозвоночных дисков; функциональные нарушения в шейном отделе позвоночника; риск развития хронической боли.

Поздние стадии: выраженные дегенеративно-дистрофические изменения в шейном отделе позвоночника; большие грыжи межпозвоночных дисков; спондилолистез; неврологические нарушения; снижение качества жизни.

Пример использования ИИ [17].

В исследовании Anan et al. (2021) описано использование чат-бота на основе ИИ для помощи пациентам с болью в шее и пояснице. Чат-бот давал инструкции по выполнению упражнений и советы по улучшению симптомов, что привело к значительному улучшению состояния пациентов.

Прогнозирование результатов лечения и выявление значимых факторов.

Машинное обучение используется для прогнозирования результатов лечения цервикалгии. Исследование Liew et al. (2022) показало, что некоторые алгоритмы МО превосходят логистическую регрессию в прогнозировании улучшения боли в шее [16]. Исследование Khanum et al. (2024) определило наиболее значимые факторы, влияющие на интенсивность боли в шее у специалистов, работающих за компьютером [15].

Машинное обучение показывает значительный потенциал в диагностике и прогнозировании цервикалгии [18]. Выбор оптимального алгоритма зависит от конкретной задачи и характеристик данных. Необходимы дальнейшие исследования для определения наиболее эффективных методов машинного обучения в различных клинических ситуациях.

II. Виртуальная реальность (VR) в диагностике боли в шее [19, 20].

Виртуальная реальность (VR) – инновационный метод, применяемый в диагностике боли в шее. VR создает контролируемую среду, имитирующую реальные жизненные ситуации, вызывающие боль, что позволяет специалистам отслеживать движения пациента и оценивать их характеристики в режиме реального времени.

Оценка состояния пациента с помощью VR.

В процессе VR-диагностики пациент выполняет различные движения шейей, следуя инструкциям или игровым задачам в виртуальном пространстве. Система VR отслеживает движения головы и шеи, фиксируя амплитуду, скорость, плавность и другие параметры. Это позволяет получить объективные данные о функциональном состоянии шеи, выявить ограничения подвижности, мышечные спазмы и другие патологические изменения. VR также используется для оценки эффективности лечения.

Преимущества VR-диагностики [21]: безопасность и комфорт: VR не вызывает боли или дискомфорта, что особенно важно для пациентов с хронической болью; естественные условия: диагностика проводится в более естественных условиях, что может повысить точность результатов; повышенная вовлеченность пациентов: интерактивность VR делает процесс диагностики более интересным.

Снижение затрат: VR может снизить затраты на диагностику, так как не требует дорогостоящего оборудования; улучшение коммуникации: VR улучшает коммуникацию между врачом и пациентом, позволяя визуализировать состояние пациента; потенциал для телемедицины: VR открывает возможности для проведения диагностики и консультаций на расстоянии.

Что выявляет VR на разных стадиях заболевания [21].

Ранние стадии: нарушения проприоцепции (восприятие положения тела в пространстве); незначительные ограничения диапазона движений; повышенная чувствительность к боли; психологические факторы, способствующие развитию боли.

Поздние стадии: значительные ограничения диапазона движений; хроническая боль; инвалидизация; психологические расстройства, связанные с болью.

Перспективы и ограничения VR в диагностике боли в шее [20].

VR – перспективный инструмент для диагностики боли в шее, предлагающий объективные и стандартизированные методы оценки. Необходимы дальнейшие исследования для разработки более сложных VR-протоколов диагностики и оценки долгосрочных результатов использования VR в лечении. Важно разработать стандартизированные протоколы оценки и определить, как VR-данные могут быть интегрированы с другими диагностическими методами.

III. Ультразвуковая эластография.

Принцип работы и преимущества [22].

Эластография – современный метод визуализации, позволяющий оценить механические свойства тканей, в частности, их жесткость или эластичность. В отличие от традиционных методов, фокусирующихся на анатомических особенностях, эластография предоставляет информацию о функциональных характеристиках тканей, а именно об их способности деформироваться под воздействием внешней силы.

Физической основой эластографии является измерение скорости распространения акустических волн в тканях. Скорость зависит от жесткости ткани: чем жестче ткань, тем быстрее распространяются волны. В методе сдвиговой волновой эластографии (SWE) специальный датчик генерирует сдвиговые волны, скорость которых измеряется, и на основе полученных данных строится карта распределения жесткости тканей – эластограмма.

Преимущества эластографии [23]: неинвазивность и безопасность: позволяет использовать метод для широкого круга пациентов; динамическая оценка: позволяет отслеживать изменения состояния тканей в режиме реального времени.

Эластография на ранних и поздних стадиях цервикалгии.

На ранних стадиях эластография может выявить незначительные изменения эластичности тканей, свидетельствующие о начальных стадиях воспаления или дегенерации. Это позволяет начать лечение на ранней стадии и предотвратить осложнения [24].

На поздних стадиях эластография помогает оценить степень фиброза, наличие рубцовой ткани и другие изменения, связанные с хронической болью и ограничением подвижности [22, 23].

Применение эластографии в исследованиях цервикалгии.

Исследование Velazquez Saornil et al. (2023) показало, что эластография может быть использована для оценки эффективности различных методов лечения хронической боли в шее, таких как сухая игла и ишемическая компрессия [25].

Однако, результаты исследований о связи между жесткостью мышц шеи и болью неоднозначны. Некоторые исследования не обнаружили значимых различий в жесткости мышц между пациентами с болью в шее и здоровыми людьми, в

то время как другие выявили корреляцию между повышенной жесткостью мышц и наличием боли [25].

Эластография – перспективный инструмент в диагностике и лечении цервикалгии. Метод позволяет получить дополнительную информацию о функциональном состоянии тканей шейного отдела позвоночника, что может быть полезно для выбора оптимальной тактики лечения и оценки его эффективности. Необходимы дальнейшие исследования для более полного понимания роли эластографии в диагностике и лечении цервикалгии.

IV. Функциональная магнитно-резонансная томография

Принцип работы и преимущества [26].

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) основана на явлении ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Атомы водорода в тканях организма, помещенные в сильное магнитное поле МРТ-сканера, выстраиваются вдоль линий поля. При воздействии радиочастотного импульса они отклоняются, а затем возвращаются в исходное состояние, испуская сигнал, регистрируемый сканером. Разные ткани имеют разную концентрацию водорода и скорость вращения атомов в исходное состояние (время релаксации), что позволяет получать контрастные изображения.

Ключевым механизмом фМРТ является BOLD-эффект (Blood Oxygenation Level Dependent), основанный на различии магнитных свойств оксигемоглобина (HbO₂) и дезоксигемоглобина (Hb). Нейронная активность увеличивает кровоток и концентрацию HbO₂, что меняет локальное магнитное поле. Сканер регистрирует это изменение как изменение интенсивности сигнала, визуализируя активные области мозга.

Изменения BOLD-сигнала в разных областях мозга позволяют оценить их функциональную связность - синхронизацию активности. Области, активирующиеся одновременно или с небольшой задержкой, считаются функционально связанными.

Технические аспекты [27]: Эхо-планарная визуализация (EPI): Позволяет быстро получать изображения мозга; предварительная обработка данных: Коррекция движения головы, пространственная нормализация и фильтрация шумов.

Статистический анализ: Выявляет области мозга, активность которых связана с определенными задачами или состояниями.

ФМРТ исследует нейронные механизмы боли, включая активацию болевых центров, взаимодействие областей мозга при восприятии боли и влияние различных факторов на активность мозга.

Преимущества фМРТ перед МРТ в диагностике цервикалгии: оценка функциональных изменений: фМРТ выявляет изменения в активности и взаимодействии областей мозга, связанных с болью, что не видно на обычной МРТ. На ранних стадиях цервикалгии фМРТ может обнаружить тонкие изменения в паттернах активности мозга, такие как измененная связность между областями, ответствен-

ными за обработку боли, еще до появления структурных изменений [28]; ранняя диагностика: фМРТ обнаруживает изменения в мозге, связанные с хронической болью, еще до появления структурных изменений, видимых на МРТ [28, 29].

Изменения, выявляемые фМРТ на поздних стадиях цервикалгии.

На поздних стадиях заболевания фМРТ может выявить [29]: изменения в паттернах функциональной связности мозга; изменения в активности областей мозга, связанных с болью; структурные изменения в мозге, например, уменьшение объема серого вещества; нарушение связи между различными сетями мозга.

Примеры использования фМРТ в исследованиях цервикалгии: Ihara et al. (2019) обнаружили измененную функциональную связность между областями мозга у пациентов с хронической болью в шее, связанную с повышенным уровнем кинезиофобии (страха движения) [30]; Wang et al. (2024) исследовали влияние иглоукалывания на функциональную связность мозга у пациентов с хронической болью в шее и обнаружили, что оно модулирует функциональную связность в областях, связанных с обработкой боли и эмоций [31]; Yang et al. (2020) выявили снижение объема серого вещества и функциональной связности в определенных областях мозга у пациентов с хронической цервикальной спондилогенной болью [32].

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) – ценный инструмент для исследования нейрофизиологических механизмов цервикалгии. Она позволяет выявить функциональные изменения в мозге, невидимые на обычной МРТ, и может быть использована для разработки более эффективных методов диагностики и лечения этого состояния.

V. Диффузионно-взвешенная МРТ (ДВИ)

Принцип работы ДВИ.

ДВИ – метод магнитно-резонансной томографии, основанный на измерении диффузии молекул воды в тканях. Патологические изменения, такие как ишемия, воспаление или демиелинизация, приводят к изменениям характера диффузии. ДВИ визуализирует эти изменения, предоставляя информацию о микроструктуре тканей [33].

Физические основы ДВИ.

Применение специальных градиентов магнитного поля делает сигнал МРТ чувствительным к движению молекул воды. Измерение диффузии в разных направлениях дает информацию о направлении и степени ограничения движения воды. Например, повреждение нервных волокон меняет направление диффузии воды вдоль них [34].

Применение ДВИ при цервикалгии.

ДВИ оценивает состояние спинного мозга и окружающих тканей при заболеваниях шейного отдела позвоночника (например, спондилотическая миелопатия). На ранних стадиях заболевания ДВИ может выявить незначительные изменения в микроструктуре тканей, такие как отек или воспаление, которые могут

быть не видны на обычной МРТ. На более поздних стадиях ДВИ может обнаружить более выраженные изменения, такие как демиелинизация или атрофия спинного мозга [34].

Ключевые показатели ДВИ [34]: фракционная анизотропия (ФА): отражает степень направленности диффузии воды. Снижается при повреждении нервных волокон; аксиальная диффузия: параллельно нервным волокнам; радиальная диффузия: перпендикулярно нервным волокнам.

Изменения этих параметров указывают на различные патологические процессы.

Diffusion Basis Spectrum Imaging (DBSI).

DBSI предоставляет более детальную информацию о микроструктуре тканей по сравнению с традиционной ДВИ. Количественная оценка различных параметров диффузии (ФА, аксональная и радиальная диффузия) позволяет точнее определить характер и степень повреждения спинного мозга [35].

Применение DBSI: прогнозирование клинических исходов: исследование Zhang et al. (2023) показало, что DBSI может прогнозировать долгосрочные клинические исходы после хирургического лечения спондилотической миелопатии [35]; идентификация фенотипов CSM: DBSI идентифицирует различные фенотипы спондилотической миелопатии, различающиеся по степени тяжести, клиническим проявлениям и прогнозу [35]. Это открывает возможности для персонализированного лечения.

Другие применения ДВИ.

ДВИ используется для диагностики диссекции сонной артерии, визуализируя гематому в стенке артерии, что может быть не видно на обычной МРТ [33].

Диффузионно-взвешенная МРТ – ценный инструмент в диагностике цервикалгии. Этот метод предоставляет дополнительную информацию о состоянии тканей шейного отдела позвоночника и прогнозирует результаты лечения. Продвинутое методы, такие как DBSI, расширяют возможности нейровизуализации, способствуя разработке персонализированных подходов к лечению и улучшению клинических исходов для пациентов.

VI. Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС)

Принцип работы МРС.

МРС – метод, позволяющий измерить концентрации различных метаболитов в тканях головного или спинного мозга. После выбора области интереса (ROI) на МРТ-изображениях применяется специальная последовательность импульсов, возбуждающая атомы водорода. Возвращаясь в исходное состояние, атомы испускают сигналы, которые регистрируются МРС-системой. Полученный спектр отражает концентрации метаболитов в исследуемой области [36].

Ключевые метаболиты и их значение [37].

N-ацетиласпартат (NAA): маркер нейрональной целостности. Снижение NAA может указывать на повреждение или потерю нейронов: креатин (Cr): учас-

твует в энергетическом обмене клеток; холин (Cho): компонент клеточных мембран, повышение Cho может быть связано с воспалением или демиелинизацией; миоинозитол (mI): участвует в передаче сигналов в клетках. Повышение mI может указывать на глиоз (разрастание глиальной ткани); глутамат/глутамин (Glx): нейротрансмиттеры, изменения Glx могут отражать нарушения в нейротрансмиссии.

Анализ соотношений концентраций этих метаболитов дает дополнительную информацию о патологических процессах.

Применение МРС в диагностике боли в шее.

Хотя МРС широко применяется для исследования заболеваний головного мозга, ее использование для диагностики боли в шее ограничено [36].

На ранних стадиях дегенеративных изменений в шейном отделе позвоночника МРС может выявить [36]: снижение концентрации NAA, что может свидетельствовать о повреждении нейронов; повышение соотношения холин/креатин, что может указывать на воспаление или демиелинизацию.

На поздних стадиях МРС может обнаружить [38]: увеличение внеклеточной фракции воды, свидетельствующее о наличии отека; снижение фракционной анизотропии, указывающее на нарушение целостности белого вещества.

Перспективы и ограничения МРС в диагностике боли в шее.

Исследования Farrell et al. (2020) и Chen et al. (2020) демонстрируют потенциал МРС в выявлении изменений метаболитов в спинном мозге, связанных с болью в шее [36, 37]. Однако, необходимы дополнительные исследования для полной оценки диагностической ценности МРС в этой области.

VII. МР-нейрография в диагностике болей в шее

Магнитно-резонансная (МР) нейрография - это метод визуализации, который позволяет детально исследовать нервы и окружающие их структуры. Этот метод основан на использовании МРТ для получения изображений нервов с высоким разрешением. МР-нейрография может быть особенно полезна при диагностике заболеваний периферической нервной системы, включая цервикальную радикулопатию, которая возникает из-за компрессии нервных корешков в шейном отделе позвоночника [39].

Диффузионно-взвешенная МР-нейрография.

Одним из подходов в МР-нейрографии является диффузионно-взвешенная МР-нейрография. Этот метод использует способность МРТ измерять диффузию молекул воды в тканях. В нервах, которые подвергаются компрессии, диффузия воды может быть изменена, что позволяет выявить пораженные участки. Takahara et al. (2008) успешно использовали диффузионно-взвешенную МР-нейрографию для исследования плечевого сплетения [40].

SHINKEI и SHINKEI-Quant.

Другим важным достижением в области МР-нейрографии является разработка трехмерной (3D) методики SHINKEI (3D nerve-sheath signal increased with

inked rest-tissue rapid acquisition of relaxation enhancement). SHINKEI позволяет получать изображения нервов с высоким разрешением, подавляя сигналы от окружающих тканей, таких как кровеносные сосуды, мышцы и жир [41]. Это улучшает визуализацию нервов и облегчает диагностику.

Дальнейшим развитием SHINKEI стала методика SHINKEI-Quant, которая позволяет одновременно получать МР-нейрографию и количественно оценивать время релаксации T2. Время релаксации T2 - это параметр, который может изменяться в пораженных нервах. SHINKEI-Quant была использована для диагностики различных заболеваний периферической нервной системы, включая хроническую воспалительную демиелинизирующую полинейропатию [41].

МР-нейрография в диагностике цервикальной радикулопатии.

Eguchi et al. (2020) использовали SHINKEI-Quant для исследования пациентов с цервикальной радикулопатией, вызванной грыжей межпозвоночного диска. У этих пациентов наблюдалось увеличение времени релаксации T2 в пораженных нервах по сравнению со здоровыми нервами. Кроме того, соотношение T2 (отношение времени релаксации T2 на пораженной стороне к времени релаксации T2 на здоровой стороне) коррелировало с интенсивностью боли в руке [42].

Sato et al. (2020) также использовали SHINKEI-Quant для диагностики люмбальной радикулопатии (компрессии нервных корешков в поясничном отделе позвоночника). Этот метод позволил выявить пораженные нервные корешки и оценить степень их повреждения [43].

МР-нейрография, особенно с использованием методик SHINKEI и SHINKEI-Quant, представляет собой перспективный инструмент для диагностики цервикальной радикулопатии. Этот метод позволяет не только визуализировать пораженные нервы, но и количественно оценить степень их повреждения. Это может быть полезно для выбора оптимальной тактики лечения и оценки эффективности терапии.

VIII. Генетические и молекулярные аспекты

Боль в шее представляет собой распространенную проблему, этиология которой варьирует от травматических повреждений и дегенеративных заболеваний до генетической предрасположенности. Современная диагностика данного состояния включает комплексный подход, основанный на генетических исследованиях, анализе биомаркеров и оценке молекулярных изменений.

Генетический анализ позволяет выявить специфические локусы, ассоциированные с повышенным риском развития болевого синдрома в шейном отделе позвоночника. Например, наличие определенных аллелей в генах FOXP2 и LINC01572 может указывать на наследственную предрасположенность [44]. Данная информация способствует разработке персонализированных стратегий профилактики и лечения.

Исследование биомаркеров играет важную роль в дифференциальной диагностике боли в шее. Повышенные уровни провоспалительных цитокинов, таких

как IL-1, IL-6 и TNF- α , могут свидетельствовать о дискогенной природе болевого синдрома, обусловленного дегенеративными изменениями межпозвонковых дисков. Анализ экспрессии микроРНК, в частности let-7i-5p, позволяет оценить степень жировой инфильтрации мышц шеи, которая часто сопутствует хроническому болевому синдрому и приводит к функциональным нарушениям [45, 46].

Оценка молекулярных изменений в тканях шейного отдела позвоночника также является неотъемлемой частью диагностического процесса. Повышенные значения T2-релаксации в трапециевидной мышце, выявляемые при магнитно-резонансной томографии (МРТ), могут указывать на нейрогенное воспаление и периферическую сенситизацию, опосредованные кальцитонин-ген-связанным пептидом (CGRP). Эти данные позволяют не только уточнить диагноз, но и определить оптимальную тактику терапии, включая медикаментозное лечение, физиотерапию и другие методы [47].

На ранних стадиях заболевания, когда клинические проявления могут быть минимальными, генетический анализ и исследование биомаркеров позволяют выявить предрасположенность к развитию болевого синдрома и своевременно начать профилактические мероприятия. На более поздних стадиях, при хронизации болевого синдрома, оценка молекулярных изменений помогает определить степень повреждения тканей и выбрать наиболее эффективную стратегию лечения [44, 45, 46, 47].

Таким образом, комплексный подход к диагностике боли в шее, включающий генетические исследования, анализ биомаркеров и оценку молекулярных изменений, обеспечивает высокую точность диагностики и способствует разработке индивидуальных планов лечения, учитывающих особенности каждого пациента.

IX. Постуральный анализ и боль в шее

Анатомические и физиологические основы постурального анализа.

Постуральный анализ – это метод оценки положения тела и выравнивания позвоночника, основанный на понимании анатомии и физиологии опорно-двигательной системы [48]. Шея, являясь частью позвоночника, состоит из семи шейных позвонков, соединенных межпозвоночными дисками, связками и мышцами. Эти структуры обеспечивают подвижность и стабильность шеи, позволяя выполнять разнообразные движения [49].

Правильная осанка предполагает естественные изгибы позвоночника, равномерное распределение нагрузки на мышцы и связки, а также оптимальное положение головы и шеи относительно туловища. Нарушения осанки могут привести к перегрузке определенных структур, вызывая боль, мышечные спазмы и ограничение подвижности [49].

Диагностика боли в шее с помощью постурального анализа.

Постуральный анализ помогает выявить специфические постуральные нарушения, связанные с болью в шее. Например, исследование Khan et al. (2022) по-

казало, что плохая осанка и напряжение шеи могут привести к боли и ограничению подвижности [49].

На ранних стадиях постуральный анализ может выявить незначительные отклонения от нормы, такие как [49]: незначительное смещение головы вперед; небольшое искривление шейного отдела позвоночника; асимметрия в положении плеч; напряжение в определенных группах мышц шеи.

На поздних стадиях заболевания могут наблюдаться более выраженные изменения, такие как [49]: значительное смещение головы вперед (синдром «компьютерной шеи»); выраженное искривление шейного отдела позвоночника (гиперкифоз или гиперлордоз); значительная асимметрия в положении плеч и лопаток; мышечные контрактуры и триггерные точки в мышцах шеи.

Методы постурального анализа [49]: визуальное наблюдение: специалист оценивает положение головы, шеи, плеч и бедер относительно друг друга и вертикальной оси тела; фотографии: позволяют зафиксировать осанку пациента и провести более детальный анализ; рентген: помогает выявить структурные изменения позвоночника, такие как сколиоз или кифоз, которые могут быть причиной боли в шее; компьютерный анализ осанки: позволяет получить количественные данные о положении тела и углах наклона различных сегментов позвоночника.

Ограничения и комплексный подход.

Постуральный анализ не является окончательным диагностическим методом, поскольку боль в шее может быть вызвана различными факторами. Он должен использоваться в сочетании с другими методами, такими как медицинский осмотр, сбор анамнеза и визуализирующие исследования.

Исследование Gao et al. (2023) выявило ряд факторов риска боли в шее, включая неправильное использование подушки, недостаток физических упражнений, неправильную осанку при сидении, травмы шеи и плеч в анамнезе, использование электронных устройств, высокий уровень стресса и другие. Эти факторы необходимо учитывать при оценке состояния пациентов и разработке плана лечения [48].

Постуральный анализ – полезный инструмент в диагностике боли в шее, помогающий выявить постуральные нарушения, способствующие боли. Важно использовать его в сочетании с другими диагностическими методами и учитывать индивидуальные особенности каждого пациента. Такой комплексный подход позволяет разработать эффективные стратегии лечения и улучшить качество жизни пациентов.

Дифференциальная диагностика цервикалгии с использованием инновационных методов.

Виртуальная реальность (VR): VR предлагает уникальные возможности для дифференциальной диагностики цервикалгии, предоставляя объективные и количественные данные, которые дополняют традиционные методы оценки [20].

1. Оценка диапазона движений: VR позволяет точно измерить диапазон движений шеи в различных плоскостях, что может быть затруднительно при обычном физическом осмотре. Это помогает выявить ограничения подвижности, характерные для определенных патологий, таких как спондилез или фасеточный синдром [21].

2. Оценка проприоцепции: VR может использоваться для создания контролируемых сенсомоторных конфликтов, которые помогают оценить проприоцепцию шеи - способность человека ощущать положение своей шеи в пространстве. Нарушения проприоцепции могут быть связаны с хронической болью в шее и нарушением функции шейных мышц. VR позволяет выявить эти нарушения и отличить их от других причин боли, таких как воспаление или повреждение нервов [20].

3. Выявление триггеров боли: VR может моделировать различные движения и положения головы, которые могут провоцировать боль в шее. Это позволяет пациенту определить конкретные триггеры боли, которые могут быть не очевидны при обычном опросе или осмотре. Например, некоторые пациенты могут испытывать боль при повороте головы в определенную сторону или при наклоне головы вперед [21].

VR позволяет проводить более точную и персонализированную диагностику цервикалгии, выявляя специфические факторы, способствующие возникновению и поддержанию боли. Это помогает выбрать наиболее эффективные методы лечения и реабилитации, направленные на устранение конкретных причин боли и улучшение качества жизни пациентов [21].

Ультразвуковая эластография (УЗЭ): ультразвуковая эластография (УЗЭ) – это неинвазивный метод визуализации, который позволяет оценить эластичность тканей. В контексте цервикалгии УЗЭ, и в частности её разновидность, сдвиговая волновая эластография (SWE), играет важную роль в дифференциальной диагностике, позволяя различать цервикалгию, вызванную мышечными проблемами, от боли, связанной с другими причинами [22].

1. Оценка эластичности мышц: SWE позволяет количественно оценить жесткость мышц шеи, измеряя скорость распространения сдвиговых волн в тканях. Повышенная жесткость мышц может свидетельствовать о наличии мышечного напряжения, спазма или фиброза, что часто сопровождает цервикалгию [22, 23].

2. Дифференциация мышечной и немышечной боли: Измеряя жесткость различных мышц шеи (например, верхней трапециевидной мышцы), SWE может помочь определить, является ли боль преимущественно мышечной по происхождению. Это позволяет отличить цервикалгию, вызванную мышечными проблемами, от боли, связанной с другими причинами, такими как повреждение суставов, нервов или межпозвоночных дисков [22].

3. Оценка эффективности лечения: SWE также может использоваться для оценки эффективности лечения, направленного на расслабление мышц и снижение их жесткости. Повторные измерения жесткости мышц после проведения терапии (например, массажа, физиотерапии или медикаментозного лечения) позволяют оценить динамику изменений и эффективность выбранного подхода [22].

Таким образом, УЗЭ, и особенно SWE, предоставляет ценную информацию для дифференциальной диагностики цервикалгии, помогая определить, является ли боль преимущественно мышечной по происхождению [25]. Это позволяет выбрать наиболее эффективные методы лечения и реабилитации, направленные на устранение конкретных причин боли и улучшение качества жизни пациентов.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ): фМРТ в состоянии покоя (rs-fMRI) - это инновационный метод нейровизуализации, который позволяет исследовать функциональную связность (FC) мозга, то есть синхронизацию активности различных его областей [26]. Этот метод открывает новые возможности для дифференциальной диагностики цервикалгии, особенно в случаях хронической боли.

1. Оценка изменений, связанных с хронической болью: Хроническая боль может вызывать изменения в функциональной связности мозга, затрагивая области, отвечающие за обработку боли, эмоции и когнитивные функции. rs-fMRI позволяет выявить эти изменения, что помогает отличить цервикалгию, связанную с центральной сенситизацией (повышенной чувствительностью к боли), от боли, вызванной преимущественно периферическими факторами (например, повреждением тканей) [27].

2. Дифференциация от изменений, вызванных стрессом и депрессией: Стресс и депрессия также могут вызывать изменения в функциональной связности мозга, которые иногда схожи с изменениями, наблюдаемыми при хронической боли. rs-fMRI позволяет провести более детальный анализ паттернов активности мозга, что помогает дифференцировать цервикалгию от этих психических состояний [27].

3. Оценка эффективности лечения: rs-fMRI может использоваться для оценки эффективности различных методов лечения хронической боли, таких как медикаментозная терапия, физиотерапия или когнитивно-поведенческая терапия. Изменения в функциональной связности мозга после лечения могут свидетельствовать о его эффективности и помочь в выборе оптимальной стратегии терапии [28].

4. Изучение нейрофизиологических механизмов боли: rs-fMRI позволяет исследовать нейрофизиологические механизмы, лежащие в основе хронической боли в шее. Это может включать изучение взаимодействия между различными областями мозга, участвующими в обработке боли, а также выявление потенциальных биомаркеров, которые могут помочь в диагностике и прогнозировании течения заболевания [28].

Rs-fMRI представляет собой мощный инструмент для дифференциальной диагностики цервикалгии, позволяющий выявить изменения в активности мозга, связанные с хронической болью, и отличить их от изменений, вызванных другими факторами [26, 29, 30]. Этот метод также помогает оценить эффективность лечения и углубить понимание нейрофизиологических механизмов боли, что способствует разработке более эффективных и персонализированных подходов к лечению пациентов с цервикалгией.

Диффузионно-взвешенная МРТ (ДВИ): ДВИ - это метод нейровизуализации, основанный на измерении диффузии молекул воды в тканях. В контексте дифференциальной диагностики цервикалгии, ДВИ предоставляет ценную информацию о состоянии спинного мозга и нервных корешков, помогая выявить патологические изменения, которые могут быть причиной боли и неврологических симптомов [33].

1. Оценка микроструктурных изменений: ДВИ позволяет выявить микроструктурные изменения в тканях шейного отдела позвоночника, которые могут быть не видны на обычной МРТ. Это включает оценку таких параметров, как фракционная анизотропия (FA), средняя диффузия (MD), аксональная диффузия (AD) и радиальная диффузия (RD). Изменения этих параметров могут свидетельствовать о наличии отека, ишемии, демиелинизации или других патологических процессов в нервной ткани [33, 34, 35].

2. Диагностика цервикальной спондилотической миелопатии (CSM): CSM - это дегенеративное заболевание позвоночника, которое приводит к компрессии спинного мозга и развитию неврологических симптомов. ДВИ позволяет выявить признаки компрессии спинного мозга, такие как снижение FA и повышение MD в пораженных сегментах. Это помогает дифференцировать CSM от других причин цервикалгии, таких как грыжи дисков или фасеточный синдром [33, 34, 35].

3. Дифференциация различных типов повреждений нервов: ДВИ может помочь отличить аксональное повреждение нервов (связанное с нарушением целостности аксонов) от демиелинизирующего повреждения (связанного с разрушением миелиновой оболочки). Это важно для определения прогноза и выбора оптимальной тактики лечения [33, 34, 35].

4. Оценка эффективности лечения: ДВИ может использоваться для мониторинга эффективности лечения CSM и других заболеваний позвоночника. Изменения в параметрах диффузии после лечения могут свидетельствовать о восстановлении нервной ткани и улучшении прогноза для пациента [33, 34, 35].

ДВИ является мощным инструментом для дифференциальной диагностики цервикалгии, позволяя выявить микроструктурные изменения в тканях шейного отдела позвоночника и отличить различные патологии, вызывающие боль и неврологические симптомы [33, 34, 35]. Этот метод также помогает оценить эффективность лечения и прогнозировать течение заболевания, что способствует улучшению качества медицинской помощи и повышению качества жизни пациентов.

Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС): МРС - это неинвазивный метод, позволяющий оценить биохимический состав тканей *in vivo* [35]. В контексте дифференциальной диагностики цервикалгии МРС может быть использована для выявления метаболических нарушений в тканях шейного отдела позвоночника, связанных с различными патологическими процессами [35, 36, 37].

1. Оценка метаболитов: МРС позволяет измерить концентрацию различных метаболитов в тканях, таких как N-ацетиласпартат (NAA), креатин (Cr), холин (Cho) и лактат. Изменения в уровнях этих метаболитов могут свидетельствовать о наличии воспаления, ишемии, дегенеративных процессов или других патологических состояний [35, 36, 37].

2. Дифференциация воспалительных и дегенеративных процессов: Например, снижение уровня NAA и повышение уровня Cho может указывать на наличие воспалительного процесса, в то время как снижение уровня NAA и Cr может свидетельствовать о дегенеративных изменениях в нервной ткани. Это помогает дифференцировать цервикалгию, вызванную воспалением (например, при ревматоидном артрите), от боли, связанной с дегенеративными изменениями (например, при остеохондрозе) [35, 36, 37].

3. Оценка степени повреждения тканей: МРС может использоваться для оценки степени повреждения тканей шейного отдела позвоночника, например, при травмах или дегенеративных заболеваниях. Изменения в уровнях метаболитов могут коррелировать с тяжестью повреждения и помочь в выборе оптимальной тактики лечения [35, 36, 37].

4. Мониторинг эффективности лечения: МРС может быть использована для мониторинга эффективности лечения, направленного на уменьшение воспаления или замедление дегенеративных процессов. Изменения в уровнях метаболитов после лечения могут свидетельствовать о его эффективности и помочь в корректировке терапевтической стратегии [35, 36, 37].

Хотя применение МРС в диагностике цервикалгии все еще находится на стадии исследования, этот метод обладает большим потенциалом для дифференциальной диагностики и оценки эффективности лечения [35, 36, 37]. Дальнейшие исследования помогут уточнить диагностическую ценность МРС и определить ее место в клинической практике.

МР-нейрография: МР-нейрография - это высокотехнологичный метод визуализации, который позволяет получить детальное изображение нервов и окружающих их структур. В контексте дифференциальной диагностики цервикалгии, МР-нейрография играет важную роль в выявлении и оценке повреждений нервов, особенно при цервикальной радикулопатии [39, 40, 41, 42].

1. Визуализация нервов: МР-нейрография позволяет получить изображения нервных корешков, сплетений и периферических нервов с высоким разрешением. Это позволяет выявить компрессию, воспаление, отек или другие патологические

изменения нервов, которые могут быть причиной боли в шее и неврологических симптомов [39, 40, 41, 42].

2. Оценка степени повреждения нервов: МР-нейрография не только визуализирует нервы, но и позволяет оценить степень их повреждения. Это может быть сделано путем измерения различных параметров, таких как толщина нерва, интенсивность сигнала и наличие отека. Эта информация помогает определить тяжесть радикулопатии и выбрать наиболее эффективную тактику лечения [39, 40, 41, 42].

3. Дифференциация цервикальной радикулопатии от других патологий: МР-нейрография позволяет отличить цервикальную радикулопатию от других причин боли в шее, таких как миофасциальный болевой синдром, фасеточный синдром или спондилез. Визуализация пораженных нервов подтверждает диагноз радикулопатии и позволяет исключить другие возможные причины боли [40, 41].

4. Оценка эффективности лечения: МР-нейрография может использоваться для мониторинга эффективности лечения цервикальной радикулопатии. Уменьшение отека и воспаления нерва, а также восстановление его нормальной структуры после лечения свидетельствуют о положительной динамике и эффективности выбранного подхода [39, 40, 41, 42].

5. Методики SHINKEI и SHINKEI-Quant: В последние годы были разработаны новые методики МР-нейрографии, такие как SHINKEI и SHINKEI-Quant, которые позволяют получать еще более четкие и информативные изображения нервов. SHINKEI подавляет сигналы от окружающих тканей, что улучшает визуализацию нервов, а SHINKEI-Quant позволяет одновременно получать изображения и количественно оценивать время релаксации T2, что может быть полезно для оценки степени повреждения нервов [41, 42, 43].

МР-нейрография является мощным инструментом для диагностики и оценки цервикальной радикулопатии, предоставляя детальную информацию о состоянии нервов и их повреждении. Этот метод помогает в дифференциальной диагностике, выборе оптимальной тактики лечения и мониторинге эффективности терапии, что способствует улучшению качества жизни пациентов.

Генетические и молекулярные методы: генетические и молекулярные аспекты боли в шее открывают новые горизонты в дифференциальной диагностике цервикалгии, позволяя выявить пациентов с предрасположенностью к хронической боли, оценить тяжесть заболевания и определить потенциальные терапевтические мишени.

1. Генетические маркеры: Исследования генома человека выявили несколько генетических локусов, связанных с повышенным риском развития хронической боли в шее. Например, гены *FOXP2* и *LINC01572* ассоциированы с предрасположенностью к боли в шее и плече. Выявление этих генетических маркеров может помочь в ранней диагностике и прогнозировании течения заболевания, а также в разработке персонализированных подходов к лечению [44].

2. Воспалительные цитокины: Повышенные уровни воспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-1 (IL-1), интерлейкин-6 (IL-6) и фактор некроза опухоли альфа (TNF- α), могут свидетельствовать о наличии воспалительного процесса в тканях шейного отдела позвоночника. Это может помочь дифференцировать цервикалгию, вызванную воспалением (например, при ревматоидном артрите), от боли, связанной с другими причинами, такими как дегенеративные изменения или травма [44].

3. МикроРНК: МикроРНК - это небольшие молекулы РНК, которые играют важную роль в регуляции экспрессии генов. Исследования показали, что определенные микроРНК могут быть связаны с развитием хронической боли в шее [44]. Например, микроРНК let-7i-5p ассоциирована с жировой инфильтрацией мышц шеи, что может привести к хронической боли и нарушению функции мышц [45, 46].

4. Другие молекулярные маркеры: Исследования также изучают другие молекулярные маркеры, такие как кальцитонин-ген-связанный пептид (CGRP), который играет важную роль в передаче болевых сигналов. Изменения в уровнях этих маркеров могут помочь в диагностике и оценке тяжести заболевания, а также в разработке новых методов лечения, направленных на молекулярные механизмы боли [47].

Генетические и молекулярные методы предоставляют новые возможности для дифференциальной диагностики цервикалгии, позволяя выявить пациентов с повышенным риском развития хронической боли, оценить тяжесть заболевания и определить потенциальные терапевтические мишени [44, 45, 46, 47]. Это открывает путь к более персонализированному и эффективному лечению цервикалгии, улучшая прогноз и качество жизни пациентов.

Постуральный анализ: Постуральный анализ - это метод оценки положения тела и выравнивания позвоночника в статике и динамике. Он играет важную роль в дифференциальной диагностике цервикалгии, поскольку позволяет выявить нарушения осанки, которые могут быть как причиной, так и следствием боли в шее [48, 49, 50].

1. Выявление постуральных нарушений: Постуральный анализ помогает выявить различные нарушения осанки, такие как [48, 49, 50]: Forward head posture (FHP) - смещение головы вперед относительно вертикальной оси тела; Rounded shoulders - округление плеч и сутулость; гиперкифоз грудного отдела позвоночника - увеличение изгиба грудного отдела позвоночника; асимметрия плеч или таза - неравномерное распределение нагрузки на позвоночник. Эти нарушения могут приводить к перегрузке мышц и связок шеи, сдавлению нервных корешков и развитию болевого синдрома [48, 49, 50].

2. Дифференциация от других причин боли: Постуральный анализ помогает отличить цервикалгию, вызванную постуральными нарушениями, от боли,

связанной с другими причинами, такими как травмы, дегенеративные заболевания позвоночника или воспалительные процессы.

3. Оценка влияния осанки на боль: Постуральный анализ позволяет оценить, как различные положения тела и движения влияют на интенсивность и характер боли в шее. Это помогает выявить специфические триггеры боли и разработать индивидуальные рекомендации по коррекции осанки.

4. Оценка эффективности лечения: Постуральный анализ может использоваться для оценки эффективности лечения, направленного на коррекцию осанки. Улучшение показателей осанки после проведения терапии (например, упражнений на растяжку и укрепление мышц) может свидетельствовать о её эффективности и положительном влиянии на состояние пациента.

Постуральный анализ является ценным инструментом в дифференциальной диагностике цервикалгии, позволяя выявить нарушения осанки, которые могут способствовать возникновению и поддержанию боли [48, 49, 50]. Коррекция этих нарушений с помощью физиотерапии, мануальной терапии или других методов может значительно улучшить состояние пациентов и снизить риск развития хронической боли.

Обсуждение. В последние годы наблюдается значительный прогресс в области диагностики цервикалгии благодаря внедрению инновационных методов, таких как искусственный интеллект [15, 16, 17, 18], машинное обучение [15, 16, 17, 18], виртуальная реальность [20, 21], ультразвуковая эластография [22, 23], функциональная МРТ [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32], диффузионно-взвешенная МРТ [33, 34, 35], магнитно-резонансная спектроскопия [36, 37], МР-нейрография [39, 40, 41, 42, 43], генетические и молекулярные методы [44, 45, 46, 47], а также постуральный анализ [49, 50]. Эти методы предоставляют более точную и объективную информацию о состоянии шейного отдела позвоночника, механизмах боли и индивидуальных особенностях пациентов.

Применение искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет автоматизировать анализ медицинских изображений, повысить точность диагностики и выявить ранние признаки патологических изменений, таких как дегенеративно-дистрофические изменения, грыжи дисков и спондилолистез, что помогает в дифференциальной диагностике цервикалгии. Виртуальная реальность открывает новые возможности для оценки диапазона движений, проприоцепции и выявления триггеров боли, что способствует разработке персонализированных программ реабилитации. Ультразвуковая эластография позволяет оценить эластичность мышц и выявить наличие мышечного напряжения или спазма, что важно для дифференциальной диагностики и выбора методов лечения.

Функциональная МРТ в состоянии покоя позволяет исследовать функциональную связность мозга и выявить изменения, связанные с хронической болью, что помогает отличить цервикалгию от других состояний, таких как стресс или депрессия [30]. Диффузионно-взвешенная МРТ помогает оценить микроструктур-

ные изменения в тканях шейного отдела позвоночника и диагностировать такие состояния, как цервикальная спондилотическая миелопатия [34, 35], что особенно важно при наличии неврологической симптоматики. Магнитно-резонансная спектроскопия предоставляет информацию о биохимических изменениях в тканях, что может быть полезно для выявления воспаления и дегенеративных процессов, помогая в дифференциации между различными причинами боли. МР-нейрография позволяет визуализировать нервы и оценить степень их повреждения, что особенно важно при диагностике цервикальной радикулопатии [42, 43], которая может проявляться болью в шее и руке.

Генетические и молекулярные методы позволяют выявить пациентов с предрасположенностью к хронической боли и определить потенциальные терапевтические мишени, что способствует разработке персонализированных подходов к лечению. Постуральный анализ помогает выявить нарушения осанки, которые могут способствовать возникновению боли в шее [50], и разработать индивидуальные рекомендации по коррекции осанки.

В целом, инновационные методы диагностики цервикалгии имеют большой потенциал для улучшения качества медицинской помощи. Они позволяют проводить более точную и персонализированную диагностику, выбирать наиболее эффективные методы лечения и реабилитации, а также прогнозировать течение заболевания. Дальнейшее развитие и внедрение этих методов в клиническую практику может привести к значительному прогрессу в лечении цервикалгии и улучшению качества жизни пациентов.

Заключение. Проведенный обзор литературы показал, что инновационные методы диагностики играют ключевую роль в улучшении понимания, диагностики и лечения цервикалгии [1, 3, 4]. Эти методы, основанные на передовых технологиях, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, виртуальная реальность и молекулярная диагностика, предоставляют новые возможности для более точной и персонализированной оценки состояния пациентов с болью в шее.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в анализе медицинских изображений позволяет повысить точность и скорость диагностики [15, 16, 17, 18], выявляя ранние признаки патологических изменений, таких как дегенеративно-дистрофические изменения, грыжи дисков и спондилолистез. Виртуальная реальность (VR) открывает новые возможности для оценки диапазона движений, проприоцепции и выявления триггеров боли [20, 21], что способствует разработке персонализированных программ реабилитации. Ультразвуковая эластография (УЗЭ) позволяет оценить эластичность мышц и выявить наличие мышечного напряжения или спазма [22, 23], что важно для дифференциальной диагностики и выбора методов лечения.

Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) в состоянии покоя (rs-fMRI) позволяет исследовать функциональную связность мозга и выявить изменения, связанные с хронической болью [30, 31, 32]. Диффузионно-взве-

шенная МРТ (ДВИ) помогает оценить микроструктурные изменения в тканях шейного отдела позвоночника и диагностировать такие состояния, как цервикальная спондилотическая миелопатия [33, 34, 35]. Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) предоставляет информацию о биохимических изменениях в тканях [36, 37], что может быть полезно для выявления воспаления и дегенеративных процессов. МР-нейрография позволяет визуализировать нервы и оценить степень их повреждения [39, 40, 41, 42, 43], что особенно важно при диагностике цервикальной радикулопатии.

Генетические и молекулярные методы, такие как исследования генетических маркеров и воспалительных цитокинов [44, 45, 46, 47], позволяют выявить пациентов с предрасположенностью к хронической боли и определить потенциальные терапевтические мишени. Постуральный анализ помогает выявить нарушения осанки, которые могут способствовать возникновению боли в шее [49, 50].

Несмотря на значительный прогресс в области диагностики цервикалгии, остаются вопросы, требующие дальнейшего изучения. Например, необходимо провести больше исследований для определения оптимальных алгоритмов машинного обучения для различных клинических ситуаций, а также для разработки стандартизированных протоколов оценки с использованием виртуальной реальности. Кроме того, необходимы дальнейшие исследования для определения диагностической ценности магнитно-резонансной спектроскопии и генетических маркеров в клинической практике.

В целом, инновационные методы диагностики цервикалгии представляют собой мощный инструмент для улучшения качества медицинской помощи. Они позволяют проводить более точную и персонализированную диагностику, выбирать наиболее эффективные методы лечения и реабилитации, а также прогнозировать течение заболевания. Дальнейшее развитие и внедрение этих методов в клиническую практику может привести к значительному прогрессу в лечении цервикалгии и улучшению качества жизни пациентов.

Литература

1. Safiri S., Kolahi A.-A., Hoy D., Buchbinder R., Mansournia M.A., Bettampadi D., Naghavi M. Global, regional, and national burden of neck pain in the general population, 1990–2017: systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2017 // *BMJ*. 2020. Vol. 368. DOI: 10.1136/bmj.m791.
2. David D., Giannini C., Chiarelli F., Mohn A. Text Neck Syndrome in Children and Adolescents // *Frontiers in Pediatrics*. 2021. Vol. 9. Art. 635643. DOI: 10.3389/fped.2021.635643.
3. Popescu A., Lee H. Neck pain and lower back pain // *Medical Clinics*. 2020. Vol. 104, No. 2. P. 279–292. DOI: 10.1016/j.mcna.2019.10.007.

4. Cohen S.P., Hooten W.M. Advances in the diagnosis and management of neck pain // *BMJ*. 2017. Vol. 358. DOI: 10.1136/bmj.j3221.
5. Vikat A., Rimpelä A., Salminen J.J., Rimpelä M. Neck or shoulder pain and low back pain in Finnish adolescents // *Scandinavian Journal of Rheumatology*. 2000. Vol. 29, No. 3. P. 166–172. DOI: 10.1080/030097400447912.
6. Hansraj K.K. Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head // *Surgical Technology International*. 2014. Vol. 25. P. 277–279.
7. Fares J., Fares M.Y., Fares Y. Musculoskeletal neck pain in children and adolescents: risk factors and complications // *Surgical Neurology International*. 2017. Vol. 8. DOI: 10.4103/sni.sni_168_17.
8. Adamson G., Murphy S., Shevlin M., Buckle P., Stubbs D. Profiling school-children in pain and associated demographic and behavioural factors: a latent class approach // *Pain*. 2007. Vol. 129, No. 3. P. 295–303. DOI: 10.1016/j.pain.2006.10.015.
9. Shan Z., Hong Y., Zeng Q., Pi J. How schooling and lifestyle factors affect neck and shoulder pain? // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2014. Vol. 15, No. 1. Art. 245. DOI: 10.1186/1471-2474-15-245.
10. Dieleman J.L., Cao J., Chapin A., Chen C., Li Z., Liu A., Murray C.J. US health care spending by payer and health condition, 1996–2016 // *JAMA*. 2020. Vol. 323, No. 9. P. 863–884. DOI: 10.1001/jama.2020.0734.
11. Lezin N., Watkins-Castillo S. The Impact of Musculoskeletal Disorders on Americans: Opportunities for Action. Executive Summary of The Burden of Musculoskeletal Diseases in the United States: Prevalence, Societal and Economic Cost. Rosemont, IL: United States Bone and Joint Initiative, 2016. 20 p.
12. Price J., Rushton A., Tyros I., Tyros V., Heneghan N.R. Effectiveness and optimal dosage of exercise training for chronic non-specific neck pain: a systematic review with a narrative synthesis // *PLoS ONE*. 2020. Vol. 15, No. 6. Art. e0234511. DOI: 10.1371/journal.pone.0234511.
13. Barbero M., Navarro-Santana M.J., Palacios-Ceña M., Ortega-Santiago R., Cescon C., Falla D., Fernández-de-Las-Peñas C. Clinical significance and diagnostic value of pain extent extracted from pain drawings: a scoping review // *Diagnostics*. 2020. Vol. 10, No. 8. Art. 604. DOI: 10.3390/diagnostics10080604.
14. Romero-Morales C., Bravo-Aguilar M., Abuin-Porras V., Almazán-Polo J., Calvo-Lobo C., Martínez-Jiménez E.M., Navarro-Flores E. Current advances and novel research on minimal invasive techniques for musculoskeletal disorders // *Disease-a-Month*. 2021. Vol. 67, No. 10. Art. 101210. DOI: 10.1016/j.disamonth.2021.101210.
15. Khanum F., Khan A.R., Khan A., Aafreen A., Khan A.A., Ahmad A., Obaidat S.M. Predicting mechanical neck pain intensity in computer professionals using machine learning: identification and correlation of key features // *Frontiers in Public Health*. 2024. Vol. 12. Art. 1307592. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1307592.

16. Liew B.X.W., Kovacs F.M., Rügamer D., Royuela A. Machine learning versus logistic regression for prognostic modelling in individuals with non-specific neck pain // *European Spine Journal*. 2022. Vol. 31, No. 8. P. 2082–2091. DOI: 10.1007/s00586-021-06936-8.
17. Anan T., Kajiki S., Oka H., Fujii T., Kawamata K., Mori K., Matsudaira K. Effects of an artificial intelligence-assisted health program on workers with neck/shoulder pain, stiffness and low back pain: randomized controlled trial // *JMIR mHealth and uHealth*. 2021. Vol. 9, No. 9. Art. e27535. DOI: 10.2196/27535.
18. Park C., Mummaneni P.V., Gottfried O.N., Shaffrey C.I., Tang A.J., Bisson E.F., Chan A.K. Which supervised machine learning algorithm can best predict achievement of minimum clinically important difference in neck pain after surgery in patients with cervical myelopathy? A QOD study // *Neurosurgical Focus*. 2023. Vol. 54, No. 6. DOI: 10.3171/2023.3.FOCUS2344.
19. Jiménez-Grande D., Farokh Atashzar S., Martinez-Valdes E., Marco De Nun-zio A., Falla D. Kinematic biomarkers of chronic neck pain measured during gait: a data-driven classification approach // *Journal of Biomechanics*. 2021. Vol. 118. Art. 110190. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2021.110190.
20. Harvie D.S., Smith R.T., Moseley G.L., Meulders A., Michiels B., Sterling M. Illusion-enhanced virtual reality exercise for neck pain: a replicated single case series // *Clinical Journal of Pain*. 2020. Vol. 36, No. 1. P. 101–109. DOI: 10.1097/AJP.0000000000000777.
21. Grassini S. Virtual reality assisted non-pharmacological treatments in chronic pain management: a systematic review and quantitative meta-analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, No. 7. Art. 4071. DOI: 10.3390/ijerph19074071.
22. Dieterich A.V., Yavuz U.Ş., Petzke F., Nordez A., Falla D. Neck muscle stiffness measured with shear wave elastography in women with chronic nonspecific neck pain // *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2020. Vol. 50, No. 4. P. 179–188. DOI: 10.2519/jospt.2020.9212.
23. Ertekin E. Neck pain in rounded shoulder posture: clinico-radiologic correlation by shear wave elastography // *International Journal of Clinical Practice*. 2022. Vol. 2022. Art. e14240. DOI: 10.1111/ijcp.14240.
24. Onda A., Onozato K., Kimura M. Clinical features of neck and shoulder pain (Katakori) in Japanese hospital workers // *Fukushima Journal of Medical Science*. 2022. Vol. 68, No. 2. P. 79–87. DOI: 10.5387/fms.2022-1.
25. Velázquez Saornil J., Sánchez Milá Z., Campón Chekroun A., Barragán Casas J.M., Frutos Llanes R., Rodríguez Sanz D. Effectiveness of Dry Needling and Ischaemic Trigger Point Compression of the Levator Scapulae in Patients with Chronic Neck Pain: A Short-Term Randomized Clinical Trial // *Journal of Clinical Medicine*. 2023. Vol. 12, No. 19. Art. 6136. DOI: 10.3390/jcm12196136.

26. Kragel P.A., Han X., Kraynak T.E., Gianaros P.J., Wager T.D. Functional MRI can be highly reliable, but it depends on what you measure: a commentary on Elliott et al. (2020) // *Psychological Science*. 2021. Vol. 32, No. 4. P. 622–626. DOI: 10.1177/0956797620985835.
27. Boutet A., Madhavan R., Elias G.J., Joel S.E., Gramer R., Ranjan M. [и др.]. Predicting optimal deep brain stimulation parameters for Parkinson's disease using functional MRI and machine learning // *Nature Communications*. 2021. Vol. 12, No. 1. Art. 3043. DOI: 10.1038/s41467-021-23298-1.
28. Cortese S., Aoki Y.Y., Itahashi T., Castellanos F.X., Eickhoff S.B. Systematic review and meta-analysis: resting-state functional magnetic resonance imaging studies of attention-deficit/hyperactivity disorder // *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*. 2021. Vol. 60, No. 1. P. 61–75. DOI: 10.1016/j.jaac.2020.10.011.
29. Yin Y., He S., Xu J., You W., Li Q., Long J. [и др.]. The neuropathophysiology of temporomandibular disorders-related pain: a systematic review of structural and functional MRI studies // *The Journal of Headache and Pain*. 2020. Vol. 21, No. 1. Art. 78. DOI: 10.1186/s10194-020-01133-1.
30. Ihara N., Wakaizumi K., Nishimura D., Kato J., Yamada T., Suzuki T. [и др.]. Aberrant resting-state functional connectivity of the dorsolateral prefrontal cortex to the anterior insula and its association with fear avoidance belief in chronic neck pain patients // *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14, No. 8. Art. e0221023. DOI: 10.1371/journal.pone.0221023.
31. Wang X., Ni X., Ouyang X., Zhang Y., Xu T., Wang L. [и др.]. Modulatory effects of acupuncture on raphe nucleus-related brain circuits in patients with chronic neck pain: a randomized neuroimaging trial // *CNS Neuroscience & Therapeutics*. 2024. Vol. 30. Art. e14335. DOI: 10.1111/cns.14335.
32. Yang Q., Xu H., Zhang M., Wang Y., Li D. Volumetric and functional connectivity alterations in patients with chronic cervical spondylotic pain // *Neuroradiology*. 2020. Vol. 62, No. 6. P. 741–748. DOI: 10.1007/s00234-020-02418-7.
33. Adam G., Darcourt J., Roques M., Ferrier M., Gramada R., Meluchova Z. [и др.]. Standard diffusion-weighted imaging in the brain can detect cervical internal carotid artery dissections // *American Journal of Neuroradiology*. 2020. Vol. 41, No. 2. P. 318–322. DOI: 10.3174/ajnr.A6394.
34. Zhang J.K., Jayasekera D., Javeed S., Greenberg J.K., Blum J., Dibble C.F. [и др.]. Diffusion basis spectrum imaging predicts long-term clinical outcomes following surgery in cervical spondylotic myelopathy // *The Spine Journal*. 2023. Vol. 23, No. 4. P. 504–512. DOI: 10.1016/j.spinee.2022.11.003.
35. Zhang J.K., Javeed S., Greenberg J.K., Dibble C.F., Song S.-K., Ray W.Z. Diffusion basis spectrum imaging identifies clinically relevant disease phenotypes of cervical spondylotic myelopathy // *Clinical Spine Surgery*. 2022. Vol. 36, No. 3. P. 134–142. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001383.

36. Farrell S.F., Cowin G., Pedler A., Durbridge G., Sterling M. Spinal cord injury is not a feature of chronic whiplash-associated disorder: a magnetic resonance spectroscopy study // *European Spine Journal*. 2021. Vol. 30, No. 3. P. 591–597. DOI: 10.1007/s00586-020-06652-3.
37. Chen Y.-L., He Z.-G., Wang Q., Xiang H.-B., Fan L., Xiong J. Specific patterns of spinal metabolite ratio underlying α -me-5-HT-evoked pruritus compared with compound 48/80 based on proton nuclear magnetic resonance spectroscopy // *Current Medical Science*. 2020. Vol. 40, No. 4. P. 761–766. DOI: 10.1007/s11596-020-2238-y.
38. Wang L., Yu J., Shu D., Huang B., Wang Y., Zhang L. Primary endodermal hemangiopericytoma/solitary fibrous tumor of the cervical spine: a case report and literature review // *BMC Surgery*. 2021. Vol. 21, No. 1. Art. 405. DOI: 10.1186/s12893-021-01366-y.
39. Kollmer J., Bendszus M. Magnetic resonance neurography: improved diagnosis of peripheral neuropathies // *Neurotherapeutics*. 2021. Vol. 18, No. 4. P. 2368–2383. DOI: 10.1007/s13311-021-01084-3.
40. Takahara T., Hendrikse J., Yamashita T., Mali W.P., Kwee T.C., Imai Y., Luijten P.R. Diffusion-weighted MR neurography of the brachial plexus: feasibility study // *Radiology*. 2008. Vol. 249, No. 2. P. 653–660. DOI: 10.1148/radiol.2492080264.
41. Tadenuma H., Abe K., Yoneyama M., Goto Y., Takeyama M., Tanaka I., Sakai S. Improved visualization of diffusion-prepared MR neurography (SHINKEI) in the lumbosacral plexus combining high-intensity reduction (HIRE) technique // *Magnetic Resonance Imaging*. 2020. Vol. 69. P. 22–27. DOI: 10.1016/j.mri.2020.02.006.
42. Eguchi Y., Enomoto K., Sato T., Watanabe A., Sakai T., Norimoto M. [и др.]. Simultaneous MR neurography and apparent T2 mapping of cervical nerve roots before microendoscopic surgery to treat patients with radiculopathy due to cervical disc herniation: preliminary results // *Journal of Clinical Neuroscience*. 2020. Vol. 74. P. 213–219. DOI: 10.1016/j.jocn.2019.08.099.
43. Sato T., Eguchi Y., Norimoto M., Inoue M., Enomoto K., Watanabe A. [и др.]. Diagnosis of lumbar radiculopathy using simultaneous MR neurography and apparent T2 mapping // *Journal of Clinical Neuroscience*. 2020. Vol. 78. P. 339–346. DOI: 10.1016/j.jocn.2020.07.036.
44. Meng W., Chan B.W., Harris C., Freidin M.B., Hebert H.L., Adams M.J. [и др.]. A genome-wide association study finds genetic variants associated with neck or shoulder pain in UK Biobank // *Human Molecular Genetics*. 2020. Vol. 29, No. 8. P. 1396–1404. DOI: 10.1093/hmg/ddaa041.
45. Elliott J.M., Rueckeis C.A., Pan Y., Parrish T.B., Walton D.M., Linnstaedt S.D. microRNA let-7i-5p mediates the relationship between muscle fat infiltration and neck pain disability following motor vehicle collision: a preliminary study // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, No. 1. Art. 3140. DOI: 10.1038/s41598-021-82411-1.

46. Giroud M., Karbiener M., Pisani D.F., Ghandour R.A., Beranger G.E., Niemi T. [и др.]. Let-7i-5p represses brite adipocyte function in mice and humans // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6, No. 1. Art. 28613. DOI: 10.1038/srep28613.
47. Goldstein E.D., Gopal N., Badi M.K., Hodge D.O., De Havenon A., Glover P. [и др.]. CGRP, migraine, and brain MRI in CADASIL: a pilot study // *The Neurologist*. 2023. Vol. 28, No. 4. P. 231–236. DOI: 10.1097/NRL.0000000000000398.
48. Gao Y., Chen Z., Chen S., Wang S., Lin J. Risk factors for neck pain in college students: a systematic review and meta-analysis // *BMC Public Health*. 2023. Vol. 23, No. 1. Art. 1502. DOI: 10.1186/s12889-023-11570-0.
49. Khan Z.K., Ahmed S.I., Baig A.A.M., Farooqui W.A. Effect of post-isometric relaxation versus myofascial release therapy on pain, functional disability, ROM and quality of life in the management of non-specific neck pain: a randomized controlled trial // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022. Vol. 23, No. 1. Art. 567. DOI: 10.1186/s12891-022-05683-8.
50. Mahmoud N.F., Hassan K.A., Abdelmajeed S.F., Moustafa I.M., Silva A.G. The relationship between forward head posture and neck pain: a systematic review and meta-analysis // *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2019. Vol. 12, No. 4. P. 562–577. DOI: 10.1007/s12178-019-09594-y.

ЦЕРВИКАЛГИЯНЫҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫ ДИАГНОСТИКАСЫНЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІ: ҒЫЛЫМИ ШОЛУ

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

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

1. Калыбаева У.А., «Қарағанды медицина университеті» КеАҚ неврология, психиатрия және реабилитология кафедрасы, e-mail: info@qmu.kz
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. Нуралиева А.Е., e-mail: nuraliyeva.9898@mail.ru
6. Болат Н.Б., e-mail: info@qmu.kz

Тұжырым

Бұл шолу мақаланың мақсаты – цервикалгияны дифференциалды диагностикалаудың қазіргі заманғы инновациялық әдістерін жүйелеу және талдау. Цервикалгия, немесе мойынның ауруы, жиі мойын омыртқасының дегенеративті-дистрофиялық өзгерістерімен байланысты кең таралған патология болып табылады. Соңғы жылдары ультрадыбыстық эластография, функционалдық магниттік-резонанстық томография (фМРТ), молекулярлық диагностика, диффузиялық-өлшенген МРТ, постуральды талдау, сондай-ақ виртуалды және қосымша шындық технологиялары сияқты жаңа диагностикалық әдістер пайда болды. Бұл инновациялық әдістер мойын омыртқасының жағдайын дәлірек және объективті бағалауға, патологиялық өзгерістердің ерте белгілерін анықтауға және мойынның ауырсынуын дифференциалды диагностикалауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ МРТ спектроскопиясы және оптикалық когерентті томография сияқты озық технологиялар қарастырылады. Медициналық бейнелерді талдау үшін жасанды интеллект пен машиналық оқытуды қолдануға ерекше назар аударылады. Бұл мақалада бұл инновациялық тәсілдердің артықшылықтары мен болашағы, сондай-ақ олардың медициналық көмектің сапасын жақсартуға және пациенттердің өмір сапасын арттыруға әсері талқыланады.

Түйінді сөздер: цервикалгия; дифференциалды диагноз; ультрадыбыстық эластография; функционалдық магниттік-резонанстық томография; молекулярлық диагностика

INNOVATIVE METHODS OF DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF CERVICALGIA: A SCIENTIFIC REVIEW

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

¹NC JSC «Karaganda Medical University» (100008, Republic of Kazakhstan, Karaganda, Gogol str., 40; e-mail: info@qmu.kz)

1. Kalybayeva U.A., Department of Neurology, Psychiatry and Rehabilitation of NC JSC «Medical University of Karaganda», e-mail: info@qmu.kz
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. Nuralieva A.E., e-mail: nuraliyeva.9898@mail.ru
6. Bolat N.B., e-mail: info@qmu.kz

Summary

The aim of this review article is to systematize and analyze modern innovative methods for the differential diagnosis of cervicgia. Cervicgia, or neck pain, is a common pathology often associated with degenerative-dystrophic changes in the cervical spine. In recent years, new diagnostic methods such as ultrasound elastography, functional magnetic resonance imaging (fMRI), molecular diagnostics, diffusion-weighted MRI, postural analysis, as well as virtual and augmented reality technologies have emerged. These innovative methods allow for a more precise and objective assessment of the condition of the cervical spine, the identification of early signs of pathological changes, and the differential diagnosis of neck pain. Advanced technologies such as magnetic resonance spectroscopy and optical coherence tomography are also considered. Special attention is paid to the use of artificial intelligence and machine learning for the analysis of medical images. This article discusses the advantages and prospects of these innovative approaches, as well as their impact on improving the quality of medical care and enhancing patients' quality of life.

Key words: cervicgia; differential diagnosis; elasticity imaging techniques; functional MRI; molecular diagnostic techniques