

EDN: DDGHOX

DOI 10.56618/2071-2693_2023_15_4_122

УДК



КЛИНИКО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ БОЛЬНЫХ С ЗАБОЛЕВАНИЯМИ И ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПЛЕЧЕВОГО СПЛЕТЕНИЯ: ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

(к 100 летию РНХИ им. проф. А.Л. Поленова)

Воеводкина А.Ю., Олейник Е.А., Александров М.В.,
Потемкина Е.Г., Орлов А.Ю.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова»
Минздрава России, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Аккуратова 12

РЕЗЮМЕ. Данная статья посвящена описанию исторических аспектов развития и становления современных клинико-инструментальных методов обследования больных с заболеваниями (компрессионно-ишемическими, опухолями оболочек периферических нервов) и повреждениями плечевого сплетения.

Учитывая сложное анатомическое строение плечевого сплетения, проблемно достоверно сопоставить анатомо-патологические параметры с функционально-патологическими изменениями периферических нервов, у больных с заболеваниями и травматическими поражениями. Тогда на помощь, помимо клинико-неврологического обследования, приходят инструментальные методы диагностики, которые условно можно разделить на 3 большие группы: вегетативные, нейрофизиологические и лучевые. С помощью всех этих исследований можно не только локализовать топiku поражения плечевого сплетения, но и определить его тяжесть.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плечевое сплетение, синдром верхней грудной апертуры, травматические поражения периферических нервов, опухоли нервных стволов, инструментальные методы исследования.

Для цитирования: Воеводкина А.Ю., Олейник Е.А., Александров М.В., Потемкина Е.Г., Орлов А.Ю. Клинико-инструментальные методы обследования больных с заболеваниями и повреждениями плечевого сплетения: исторические аспекты (к 100 летию РНХИ им. проф. А.Л. Поленова). Российский нейрохирургический журнал им. проф. А.Л. Поленова. 2023; 15(4):122–128. DOI 10.56618/2071-2693_2023_15_4_122

CLINICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF EXAMINATION OF PATIENTS WITH DISEASES AND INJURIES OF THE BRACHIAL PLEXUS: HISTORICAL ASPECTS

(to the 100th anniversary of the Russian National Research Institute prof. A.L. Polenova)

A. Yu. Voevodkina, E.A. Oleynik, M.V. Alexandrov, E.G. Potemkina, A. Yu. Orlov

“National Medical Research Center named after N.N. V.A. Almazova” of the Ministry of Health of Russia,
Russian Federation, St. Petersburg, Akkuratova st. 12

SUMMARY. This article is devoted to the description of historical aspects of the development and formation of modern clinical and instrumental methods of examination of patients with diseases (compression-ischemic, peripheral nerve sheath tumors) and injuries of the brachial plexus.

Taking into account the complex anatomical structure of the brachial plexus, it is problematic to reliably compare anatomic-pathological parameters with functional-pathological changes of peripheral nerves in patients with diseases and traumatic lesions. Then to help, in addition to clinical and neurological examination, come instrumental methods of diagnosis, which can be divided into 3 large groups: vegetative, neurophysiological and radiation. With the help of all these studies, it is possible not only to localize the topical lesion of the brachial plexus, but also to determine its severity.

KEYWORDS: brachial plexus, thoracic outlet syndrome, traumatic peripheral nerve, nerve stem tumors, instrumental methods.

For citation: Voevodkina A. Yu., Oleynik E.A., Alexandrov M.V., Potemkina E.G., Orlov A. Yu. Clinical and instrumental methods of examination of patients with diseases and injuries of the brachial plexus: historical aspects (to the 100th anniversary of the Russian National Research Institute prof. A.L. Polenova). Russian neurosurgical journal. prof. A.L. Polenova. 2023; 15(4):122–128. DOI 10.56618/2071-2693_2023_15_4_122

Введение

Заболевания и повреждения плечевого сплетения являются одной из наиболее распространенных причин инвалидизации населения в трудоспособном возрасте, поэтому повышение качества диагностики представляется чрезвычайно актуальной проблемой клинической медицины [2].

Согласно литературным данным, частота повреждений стволов плечевого сплетения и периферических нервов на протяжении многих десятилетий остается стабильно высокой и составляет в среднем от 3 % до 10 % от числа всех травм конечностей [15].

Заболевания периферической нервной системы, в частности стволов плечевого сплетения, можно разделить на компрессионно-ишемические невропатии и опухоли оболочек периферических нервов (ООПН). Одним из наиболее часто встречающихся проявлением невропатии плечевого сплетения является синдром верхней грудной апертуры (Thoracic outlet syndrome — TOS). Стоит отметить, что из всех TOS в 95 % случаев встречается нейрогенный вариант [14].

Данная статья посвящена описанию исторических аспектов развития и становления современных инструментальных методов исследования патологических состояний периферических нервов, на примере диагностики изменений плечевого сплетения при синдроме верхней грудной апертуры, травматических поражениях и объемных образованиях происходящих в РНХИ им. проф. А. Л. Поленова с 1926 г.

Первое упоминание о таком состоянии как синдром верхней грудной апертуры датируется еще II веком нашей эры, при этом сам термин был введен только в 1956 году R. M. Peet.

Впервые объемное образование нервного ствола было описано еще в XVII веке. В 1803 г. J. Odier при описании опухоли лучевого нерва использовал термин «неврома». Затем упоминания об опухоли плечевого сплетения датируются 1886 г., когда L. Courvoisier детально описал удаление шванномы C5-корешка и верхнего первичного ствола плечевого сплетения со всеми осложнениями [11].

Интересным фактом является, что одно из первых упоминаний о повреждении периферических нервов можно встретить в Ветхом завете, что датируется более чем 3500 лет тому назад. Также в книге “Бытие” (32:25–33) при описании битвы Иакова с ангелом говорится о поврежденной «жиле». Многие учёные считают, что поврежденная “жила”, приведшая к хромоте библейского персонажа, не что иное, как седалищный нерв.

Ввиду сложности анатомического строения плечевого сплетения, разнообразия клинической картины заболеваний, последствий травм плечевого сплетения затруднительно достоверно сопоставить анатомо-патологические параметры с функционально-патологическими изменениями нервных стволов возникающих при различных патологических процессах.

В помощь врачам, занимающимся лечением больных с заболеваниями и повреждениями плечевого

сплетения, помимо клинико-неврологического обследования, приходят клинико-инструментальные методы диагностики, которые условно можно разделить на три группы: 1) лучевые — рентгенография, миелорадикулография, компьютерная и магнитно-резонансная томография, тепловизионные и ультразвуковые методы исследования; 2) нейрофизиологические — электромиография, регистрация соматосенсорных вызванных потенциалов и потенциалов нервов, оценка возбудимости нервных стволов на основе анализа зависимости «сила-длительность»; 3) вегетативные — потовые пробы, регистрация кожных вызванных потенциалов, кожно-гальванические пробы. Активное использование клинико-инструментальных методов позволяет не только локализовать топiku поражения плечевого сплетения, но и определить его тяжесть.

Цель исследования: анализ методов инструментальной диагностики заболеваний и повреждений стволов плечевого сплетения (с исторических и современных позиций).

Для определения степени нарушения проводимости пораженных нервных стволов ранее использовали, оценку потоотделения. Широко распространенным в нашей стране, одним из первых диагностических методов повреждений периферической нервной системы был колориметрический йодо-крахмальный тест (проба Минора). Эта методика впервые была применена советским невропатологом В. Л. Минором в 1927 г.

Травма сплетений или отдельных периферических нервов в случае полного нарушения анатомической целостности приводит к ангидрозу, при частичном перерыве — к гипогидрозу, помимо этого в денервированной области отмечается нарушение чувствительности, вплоть до анестезии. Поражение эфферентной части рефлекторной симпатической дуги можно определить по ангидрозу на определенном участке тела, визуализируемом в процессе наблюдения за потоотделением с помощью йодокрахмальной пробы. Результаты исследования регистрировали путем фотографирования, что раньше являлось преимуществом. Недостатки способа: относительная сложность и длительность исследования затрудняют применение метода Минора при острой травме, а также у больных с сопутствующими сердечно-сосудистыми заболеваниями и у маленьких детей.

Со временем, появились электронные измерители потоотделения [13]. Уже с 1967 г. в Ленинградском нейрохирургическом институте им. А. Л. Поленова, наряду с пробой Минора, при исследовании больных с повреждением периферических нервов начал применяться электронный измеритель потоотделения, разработанный конструкторским бюро электронного приборостроения Ленинградского радиополитехникума.

Для изучения локального кровотока определяли кожную температуру, реактивную гиперемия, применяли тахоосцилографию. В настоящий момент такие методы как оценка потоотделения, изучение локального кровотока, определение кожной темпе-

ратуры, тахоосцилография, реактивная гиперемия в отделении практически не используются ввиду значительной трудоемкости, устаревшего оборудования и недостаточной информативности методов и неоднозначной трактовки полученных результатов.

Нервная ткань является возбудимой тканью, следовательно, обладает способностью к генерации биоэлектрической активности. Исходя из этого фундаментального свойства нейрофизиологические методы являются одним из основных подходов к исследованию функционального состояния периферической нервной системы. История электрофизиологии восходит к работам итальянского врача, анатома и физиолога Луиджи Гальвани. В 1791 г. Луиджи Гальвани опубликовал «Трактат о силах электричества при мышечном движении», в котором были описаны его опыты, ставшие в общей физиологии возбудимых тканей классическими.

Основы современной электрофизиологии и нейрофизиологии были заложены классическими работами немецкого физиолога Эмиля Генриха Дюбуа-Реймона (1818–1896), который применил гальванометр и неполяризующиеся электроды, тем самым, установил основные формы биоэлектрических явлений в мышцах и нервах.

В практическую медицину анализ проводимости нервных стволов и электровозбудимости мышц были введены в середине XIX века благодаря работам Дюшена, Эрба и Цеймссена. В конце 1890 года французский ученый Этьен Жюль Марей ввел термин «электромиография» для описания зарегистрированной им электрической активности мышц. Считается, что первым электронейромиограмму у человека зарегистрировал немецкий ученый Ганс Пиппер в 1907 г. В 1922 г. Джозеф Эрлангер и Герберт Гассер для анализа электромиограммы использовали осциллограф, что позволило им предложить классификацию нервных волокон по скорости проведения возбуждения.

Метод классической электродиагностики требует от нейрофизиолога точного знания анатомии нерва и функций соответствующих мышц. Для оценки функционального состояния мышц и нервов с конца 1960-х годов стала применяться методика хронаксиметрии, основанная на анализе кривой «сила-длительность» — зависимости между интенсивностью и длительностью стимула, способного вызвать физиологический эффект в возбудимой ткани. Эта зависимость не носит линейный характер и графически отображается в виде гиперболы, в основе которой лежит закономерность Гоорвега — Вейса.

Электрофизиологические исследования в РНХИ им. проф. А. Л. Поленова проводились с момента его основания. Первый директор института профессор С. Н. Молотков активно использовал электродиагностику. По решению ученого совета в 1936 г. была создана электрофизиологическая лаборатория в составе отдела патологической физиологии, возглавляемого в то время профессором А. Д. Сперанским, учеником академика И. П. Павлова. Хронаксиметрические ис-

следования начали проводиться с 1967 г. [1]. С этой целью использовался аппарат ЭСЛ-1, который был способен генерировать импульсы частотой 0,1–1000 Гц длительностью 0,1–100 м/сек.

Современная клиническая электронейромиография включает несколько видов исследований: поверхностную, стимуляционную, игольчатую электромиографию. Поверхностная (глобальная, накожная) электромиография — методика регистрации и анализа биоэлектрической активности мышц в покое и при их активации, зарегистрированной поверхностными накожными электродами над двигательной точкой мышцы. Методика оценивает суммарную (глобальную) электрическую активность мышцы и не предназначена для топической диагностики поражений нервно-мышечной системы. Стимуляционная электромиография — методика регистрации и анализа вызванной биоэлектрической активности мышц и периферических нервов при электрической стимуляции или механической стимуляции рецепторного аппарата, которая позволяет определить параметры М-ответа, F-волны, Н-рефлекса, скорость распространения возбуждения по двигательным и чувствительным нервам, оценивает надежность нервно-мышечной передачи. Игольчатая (локальная) электромиография — методика регистрации и анализа биоэлектрической активности двигательных волокон и двигательных единиц мышцы игольчатыми электродами в покое и при произвольной активности.

ЭНМГ в совокупности с клиническими данными позволяет решать ряд важных диагностических задач: 1) выявление уровня поражения конкретного нерва; 2) определение степени выраженности нарушенных функций (полное или частичное нарушение проводимости) нерва; 3) определение стадии и характера патологического процесса (денервации, реиннервации). Тем не менее, следует иметь в виду, что диагностические возможности электронейромиографических методик при повреждении плечевого сплетения имеют ограничения для диагностики нейропраксии и отрыва корешков от спинного мозга.

Зарождение нового метода исследования — медицинская термография (тепловидение) датируется 1956 г., когда канадский ученый Роберт Лаусон опубликовал свою научную работу, в которой описал опыт инфракрасных эвапорографов «Рекси» и «Берд» для диагностики медицинской патологии [5].

В России тепловидение появилось в 1966 г., впервые его применил Б. В. Петровский с коллегами. Первая самостоятельная медицинская тепловизионная лаборатория была организована в 1970 г. в Ленинграде — НИИ скорой помощи им. И. И. Джанелидзе, в которой обследование проходили пациенты с травмой опорно-двигательного аппарата. Несколько позже, в 1980 г., на базе лаборатории городской больницы № 16 им. В. В. Куйбышева был открыт городской научно-консультативный тепловизионный центр, который затем стал Всесоюзным центром тепловидения.

На базе центра совместно с нейрохирургическим институтом проф. А. Л. Поленова, Ленинградским педиатрическим институтом, И ЛМИ им. акад. И. П. Павлова были разработаны методики для оценки повреждений периферических нервов.

На сегодняшний день разработаны уже современные компьютерные программы обработки медицинской тепловизионной информации, называемые тепловизионным комплексом. Данный комплекс помогает исследовать основные физико-биологические процессы, формирующие тепловое поле человека, позволяя изучать не только статику, но и динамику тепловых полей тела человека.

Стоит отметить, что при повреждениях периферических нервов тепловидение дополняет данные полученные при электронейромиографии. Но к сожалению, несмотря на многолетнюю историю существования и развития нейротепловидения, а также его высокую информативность в отдельных нейрохирургических нозологических группах [5], данный метод до сих пор не находит широкого применения в практической медицине.

Рентгенография, которая на протяжении длительного времени являлась «золотым стандартом», так как позволяла выявить анатомическую составляющую компрессии сосудисто-нервного пучка TOS, переломы, вывихи и другие повреждения костной структуры плечевого пояса. Первые описания рентгенографической картины TOS появились в конце 20-х годов XX века, а в 80-х годах прошлого века были опубликованы работы, в которых более детально было рассказано о клинических исследованиях диагностики синдрома верхней грудной апертуры. С этого момента начался активный период разработки методов рентгенодиагностики TOS [3]. На рентгенограммах больного с синдромом верхней грудной апертуры можно визуализировать добавочное — шейное ребро (Рис. 1) или же удлинение поперечных отростков C7 позвонка.

Клиницисты в 1960–1990х годах использовали рентгенограммы для диагностики повреждений пе-

риферических нервов. При закрытых типах повреждений R-графия может косвенным образом указать на каком уровне произошло повреждение. К примеру, при переломе I ребра могут травмироваться корешки C8 и Th1, образующие нижний ствол плечевого сплетения. Смещение осколков костей: ребра и ключицы, рубцовые изменения в месте приложения травмирующего агента, а также формирование костной мозоли способны вызвать компрессию преимущественно нижнего ствола плечевого сплетения [12].

В настоящее время рентгенография при TOS и повреждении плечевого сплетения стала менее актуальным и информативным методом диагностики данного синдрома, уступая место компьютерной и магнитно-резонансной томографии.

Еще одним методом диагностики повреждений плечевого сплетения является миелография, которая впервые была описана в 1922 г. Сикардом и Форестье. Данная методика долгое время являлась «золотым стандартом» в диагностике повреждений нервных сплетений, сопровождающихся отрывом корешков от спинного мозга, разрывом твердой и арахноидальной оболочек, которые окутывают спинномозговые нервы в области межпозвоночных отверстий. В связи с этим, при миелографии с контрастированием цереброспинальной жидкости, на уровне отрыва спинального нерва можно визуализировать «псевдоменингоцеле». Но достоверность данного метода весьма ограничена, в связи с тем, что рутинная миелография может дать ложноположительный результат при обширных менингоцеле, причиной этому служит вытекающий контраст, который «наплывает» на проекцию рядом расположенных спинномозговых нервов. Именно по этой причине, в настоящее время, рентгенографическая миелография утратила свою диагностическую значимость, уступив место более современным методикам: КТ- и МРТ-миелографии, которые позволяют визуализировать передние и задние корешки спинного мозга, дифференцировать их по сегментам, и определить их частичный отрыв.



Рис. 1. Добавочные шейные ребра. Рентгенограмма шейного отдела позвоночника, прямая проекция.

Fig. 1. Additional cervical edges. Radiograph of the cervical spine, direct projection.

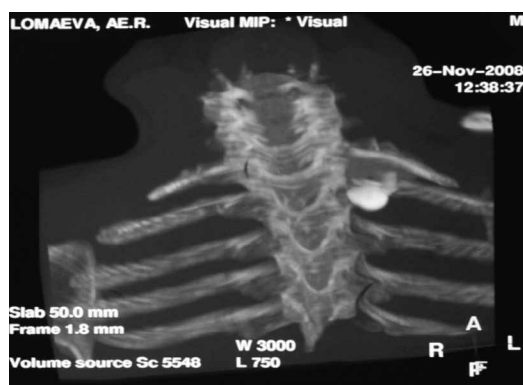


Рис. 2. Менингоцеле. КТ-миелография, коронарная проекция, MIP. Определяется контрастирование менингоцеле на уровне ТН1-ТН2 позвонков слева.

Fig. 2. Meningocele. CT myelography, coronary projection, MIP. Meningocele is determined at the level of TN 1-TN2 vertebrae on the left.

Сравнивая КТ- и МРТ-миелографию, стоит упомянуть, что обе методики имеют как достоинства, так и недостатки [17]. К примеру, КТ-миелография выполненная на обычном томографе дает четкое изображение корешков, что позволяет в 97 % случаев более точно установить верный диагноз. Одним из главных недостатков данной методики является инвазивность исследования, так как требуется пункции субаракноидального пространства с введением около 10 мл контрастного вещества, что повышает риск осложнений. Помимо этого, недостатком также является лучевая нагрузка и худшая визуализация сегментов С8 и Т1 из-за «фоновой наложения» плечевых суставов. Основное преимущество МРТ-миелографии — неинвазивность исследования и отсутствие лучевой нагрузки. Недостатки МРТ-миелографии более субъективны — мощность томографа должна быть не менее 1,5 Тл при соответствующем программном обеспечении, а также наличие квалифицированных специалистов. Главным объективным недостатком считается ограничение использования МРТ у пациентов с металлоконструкциями.

По данным литературы первые упоминается о применении ультразвукового исследования (УЗИ) для верификации периферических нервов в 1988 г. у В. D. Fornage. Позже, в 1991 г. появилось описание применения ультразвукового метода в диагностике повреждения периферического нерва [4]. Первые публикации отечественных ученых, посвященные УЗИ периферических нервов, появились лишь в начале в 2000-х годов [2]. На сегодняшний день диагностическая значимость ультразвукового метода в исследовании нервных стволов, в том числе при нейрогенном ТОС, очень высока [7, 8, 10]. В 2013г в работе S. M. Fried и соавторов подробно описан метод УЗИ плечевого сплетения с пробами, который показал свою эффективность в подтверждении нейрогенного ТОС [10].

УЗИ плечевого сплетения позволяет исключить сопутствующие повреждений магистральных сосудов, служит как вспомогательный метод визуализации, так как не отражает функциональное состояние

элементов плечевого сплетения, соответственно, не имеет прогностического значения [9].

Кроме простоты использования, относительной дешевизны, легкой доступности, возможности повторять его неограниченное количество раз, компактности и мобильности ультразвуковых аппаратов данный метод диагностики имеет еще одно очень важное преимущество — возможность его использования по ходу операции при оценке измененного участка нерва (внутриствольная неврома). Благодаря чему, хирург позволяет не только адекватно планировать предстоящее оперативное вмешательство, но во время операции определять радикальность удаления опухоли.

Наряду с достоинствами метода УЗ, следует отметить и его недостатки. Основным минусом ультразвукового метода является субъективность в оценке полученных данных, связанная с различными практическими навыками и опытом специалистов [4].

С момента появления магнитно-резонансного томографа (МРТ) в 1973 г. началась «новая эра» в области диагностики многих заболеваний, в том числе и заболеваний и повреждений периферических нервов, даже несмотря на низкие показатели индукции магнитного поля — 0,005 Тл. Оценка МРТ поврежденных плечевого сплетения в современном мире — надежный метод с высокой чувствительностью (93 %) и специфичностью (72 %), благодаря большой мощности томографов (1,5–3,0 Тл).

В современных протоколах МРТ, подходящих для пациентов с травмой периферических нервов, исследование выполняется последовательно в трех плоскостях [19]. Также это обследование дополняется еще проведением МРТ шейного отдела позвоночника для оценки интрадуральной части спинномозговых нервов. Однако единого мнения о выборе одного наиболее оптимального протокола проведения МРТ не существует [16].

Специфичность МРТ возрастает при ее выполнении с позиционными пробами и провокационными тестами [16]. При визуализации опухолей стволов плечевого сплетения, МРТ имеет преимущество

перед другими инструментальными методами диагностики, так как позволяет изучить топографо-анатомические особенности расположения объемного образования по отношению к окружающим тканям, оценить состояние нервных структур, вовлеченных в патологический процесс [6].

Заключение:

В последние десятилетия достигнут значительный прогресс, обусловленный разработкой и внедрением в клиническую практику новых высокоэффективных методов диагностики и приборов. Анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует об интенсивной работе, направленной на совершенствование методов лучевой диагностики, а также дифференциальной диагностики отдельных нозологических форм.

В настоящий момент алгоритм диагностики может выглядеть следующим образом:

1. Для решения диагностических вопросов по степени нарушения проводимости нервного ствола и определения электровозбудимости мышц применяется ЭНМГ.
2. Для визуализации патологических процессов в нервном стволе УЗИ, МРТ.
3. Выявления посттравматических изменений в сосудистой системе КТ ангиография.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики: Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. **Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study.

Сведения об авторах

Воеводкина Алина Юрьевна/

Voevodkina Alina Yurievna

ORCID 0000-0001-7449-7388

Олейник Екатерина Анатольевна/

Oleynik Ekaterina Anatolievna

ORCID 0000-0001-7559-1499

Александров Михаил Всеволодович/

Alexandrov Mikhail Vsevolodovich

ORCID 0000-0002-9935-3249

Потемкина Елена Геннадьевна/

Potemkina Elena Gennadievna

ORCID 0000-0003-0449-9163

Орлов Андрей Юрьевич/

Orlov Andrey Yurievich

ORCID 0000-0001-6597-3733

Литература/References

1. Берснев В. П. Классическая электродиагностика. Хирургия нервов. Под ред. К. А. Григоровича. Ленинград; 1969:92–96.
2. Берснев В. П., Кокин Г. С., Извекова Т. О. Практическое руководство по хирургии нервов: в 2 томах. СПб.; 2009:1(296).
3. Гринцов А. Г., Захарьян А. Л., Потапенков М. А., Леонтьев С. А., Изосимов В. В., Кособокова Е. В. Хирургическое лечение синдрома грудного выхода. Серце і судини. 2005;3:84–87.
4. Еськин Н. А., Голубев В. Г., Богдасhevский Д. Р. и др. Эхография нервов, сухожилий и связок. SonoAce International. 2005;13:82–94.
5. Колесов С. Н., Воловик М. Г., Прилучный М. А. Медицинское теплорадиовидение: современный методологический подход: монография. Нижний Новгород: ФГУ «ННИИТО Росмедтехнологий»; 2008.
6. Коновалов А. Н., Корниенко В. Н., Пронин И. Н. Магнитно-резонансная томография в нейрохирургии. М.: Видар; 1997.
7. Орлов А. Ю., Кокин Г. С., Даминов Р. Г., Комков Д. Ю., Беришвили К. Ш. Методы обследования больных с опухолями периферических нервов. Профилактическая и клиническая медицина. 2010;2(35):63–65. [Orlov A. Yu., Kokin G. S., Daminov R. G., Komkov D. Yu., Berishvili K. Sh. Methods for examining patients with peripheral nerve tumors. Preventive and clinical medicine. 2010;2(35):63–65. (In Russ.)]
8. Орлов А. Ю., Короткевич М. М., Каурова Т. А. Алгоритмизация диагностики основных конкурирующих заболеваний периферических нервов. Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова. 2012; Т. 1. № 1:36–40. [Orlov A. Yu., Korotkevich M. M., Kaurova T. A. Algorithmization of diagnostics of the main competing diseases of peripheral nerves. Russian Neurosurgical Journal named after Professor A. L. Polenova. 2012; T. 1. No. 1:36–40. (In Russ.)]
9. Doi, K., Otsuka, K., Okamoto, Y., Fujii, H., Hattori, Y., & Baliasing, A. S. (2002). Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography. In Journal of Neurosurgery: Spine (Vol. 96, Issue 3, pp. 277–284). Journal of Neurosurgery Publishing Group (JNSPG). <https://doi.org/10.3171/spi.2002.96.3.0277>
10. Fried, S. M., & Nazarian, L. N. (2013). Dynamic Neuromusculoskeletal Ultrasound Documentation of Brachial Plexus/Thoracic Outlet Compression during Elevated Arm Stress Testing. In HAND (Vol. 8, Issue 3, pp. 358–365). SAGE Publications. <https://doi.org/10.1007/s11552-013-9523-8>
11. Ganju, A., Roosen, N., Kline, D. G., & Tiel, R. L. (2001). Outcomes in a consecutive series of 111 surgically treated plexal tumors: a review of the experience at the Louisiana State University Health Sciences Center. In Journal of Neurosurgery (Vol. 95, Issue 1, pp. 51–60). Journal of Neurosurgery Publishing Group (JNSPG). <https://doi.org/10.3171/jns.2001.95.1.0051>
12. Gilbert, A. (Ed.). (2001). Brachial Plexus Injuries. CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9780203216408>
13. Kennedy, W. R., Selim, M. M., Wendelschafer-Crabb, G., Blaes, A. H., Suter, F., Nolano, M., & Provitera, V. (2013). A Device to Quantify Sweat in Single Sweat Glands to Diagnose Neuropathy. In Journal of Medical Devices (Vol. 7, Issue 3). ASME International. <https://doi.org/10.1115/1.4000000>

doi.org/10.1115/1.4024527

14. Laulan, J. (2016). Thoracic outlet syndromes. The so-called “neurogenic types.” In *Hand Surgery and Rehabilitation* (Vol. 35, Issue 3, pp. 155–164). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.hansur.2016.01.007>
15. Noble, J., Munro, C. A., Prasad, V. S. S. V., & Midha, R. (1998). Analysis of Upper and Lower Extremity Peripheral Nerve Injuries in a Population of Patients with Multiple Injuries. In *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* (Vol. 45, Issue 1, pp. 116–122). Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <https://doi.org/10.1097/00005373-199807000-00025>
16. Rehman, I., Chokshi, F. H., & Khosa, F. (2014). MR Imaging of the Brachial Plexus. In *Clinical Neuroradiology* (Vol. 24, Issue 3, pp. 207–216). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00062-014-0297-3>
17. Tagliafico, A., Succio, G., Emanuele Neumaier, C., Serafini, G., Ghidara, M., Calabrese, M., & Martinoli, C. (2010). MR imaging of the brachial plexus: comparison between 1.5-T and 3-T MR imaging: preliminary experience. In *Skeletal Radiology* (Vol. 40, Issue 6, pp. 717–724). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s00256-010-1050-x>
18. Veilleux, M., Stevens, J. C., & Campbell, J. K. (1988). Somatosensory evoked potentials: Lack of value for diagnosis of thoracic outlet syndrome. In *Muscle & Nerve* (Vol. 11, Issue 6, pp. 571–575). Wiley. <https://doi.org/10.1002/mus.880110608>
19. Yoshikawa, T., Hayashi, N., Yamamoto, S., Tajiri, Y., Yoshioka, N., Masumoto, T., Mori, H., Abe, O., Aoki, S., & Ohtomo, K. (2006). Brachial Plexus Injury: Clinical Manifestations, Conventional Imaging Findings, and the Latest Imaging Techniques. In *RadioGraphics* (Vol. 26, Issue suppl_1, pp. S 133–S 143). Radiological Society of North America (RSNA). <https://doi.org/10.1148/rg.26si065511>