

УДК 616-009/612.81

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНЕЙРОМИОГРАФИИ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО НЕРВА

Иванов А.С.

Аспирант кафедры физиологии и химии

ФГБОУ ВО Курская ГАУ имени И.И Иванова, г. Курск, Россия

Наумов М. М.

Доктор ветеринарных наук, профессор кафедры физиологии и химии

ФГБОУ ВО Курская ГАУ имени И.И Иванова, г. Курск, Россия

e-mail: naumovmm@rambler.ru

Аннотация. Среди заболеваний, приводящих к развитию стойкой инвалидизации трудоспособного населения, первое место занимает травма периферических нервов. Величина неврологического дефицита зависит от скорости оказания помощи, также значимым фактором является соответствие типа травмы и назначенного лечения. В данной работе рассмотрено использование изолированное использование электронейромиографии для выполнения дифференциальной диагностики типа травмы нерва по классификациям Sunderlands и Seddon. Представлены варианты аномалий иннервации верхней и нижних конечностей и электрофизиологическая картина при выполнении исследования в этом случае.

Ключевые слова: электронейромиография (ЭНМГ), периферическая нервная система, М-ответ, F-волна, H-рефлекс, повреждение нервов

USING ELECTRONEUROMYOGRAPHY IN THE DIFFERENTIAL DIAGNOSIS OF PERIPHERAL NERVE INJURY

Ivanov A.S.

Postgraduate Student, Department of Physiology and Chemistry

I.I. Ivanov Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

Naumov M.M.

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Physiology and Chemistry

I.I. Ivanov Kursk State Agrarian University, Kursk, Russia

Abstract. Peripheral nerve injury ranks first among diseases leading to the development of persistent disability in the working-age population. The magnitude of neurological deficit depends on the speed of medical care, and the appropriateness of the injury type and the prescribed treatment is also a significant factor. This paper examines the use of isolated electroneuromyography for the differential diagnosis of nerve injury types according to the Sunderlands and Seddon classifications. The article presents variants of innervation anomalies in the upper and lower extremities and the electrophysiological findings observed during the study.

Keywords: electroneuromyography (ENMG), peripheral nervous system, M-response, F-wave, H-reflex, nerve injury

ВВЕДЕНИЕ. Дифференциальная диагностика травмы периферических нервов является ключевым мероприятием в процессе её лечения. 45% случаев травматического повреждения нервов приходится на наиболее трудоспособную возрастную группу 20-40 лет. С последующей стойкой инвалидацией 65% больных, что ставит этот тип травмы на 1 место по утрате работоспособности населения Российской Федерации [7].

Диагностика типа повреждения периферического нерва играет ключевую роль в последующем лечении, которое может различаться от применения консервативной, медикаментозной терапии до применения оперативных техник путем наложения шва нерва, или выполнения его пластики [2, 4, 5, 20].

Также необходимо отметить вклад электронейромиографии (ЭНМГ) при исследовании модулируемых патологий в таких дисциплинах как физиология, патофизиология, биохимия, неврология позволяющих сделать заключение о правильности выбранной методики без применения гистологических методов или дополняя их.

При оценке степени повреждения нервных стволов необходимо учитывать особенности клинических проявлений и морфологии травмы с этой целью наиболее часто применяют классификации по H.Seddon (1943) и по Sunderland (1951). Классификация Seddon включает 3 степени и отражает невральные повреждения со стороны сочетания функционального состояния нерва и гистологических признаков. Классификация Sunderland расширяет уже существующую с помощью дополнительных гистологических данных до 5 степеней позволяя более точно определить тактику лечения и прогнозировать исход болезни [4, 8, 16 33, 34, 35, 42].

Нейропраксия соответствует 1 степени по Sunderland, Нейротмезис 2, 3, 4, а Аксонотмезис 5. Повреждения такого типа обычно вызваны ишемией связанной с компрессией ствола нерва [34, 35, 42].

Нейропраксия (I степень по Sunderland) - эта степень характеризуется перерывом проведения по аксону (или дендриту) в месте травмы. Непрерывность нервного проводника от тела клетки до органа или эффектора сохранена. Однако поврежденный сегмент подвержен локальной демиелинизации. Дегенерация нерва не наблюдается, и при устраниении причины, вызвавшей блок проведения, функция полностью восстанавливается. Этот тип повреждения впервые описал Erb в 1876 году как промежуточную форму «частичного повреждения», а Seddon в 1943 году как нейропраксию [33, 34, 35, 44]. Расстройства симпатической иннервации, поверхностной и болевой чувствительности, временны. Восстановление происходит раньше, чем в случае с проприоцепцией и движением. Обычно восстановление болевой чувствительности опережает восстановление тактильной и может происходить в течение минут. Парестезии сохраняются на период до нескольких дней. Начало восстановления движений парализованных мышц колеблется в интервале от 24-48 часов до 3-6 месяцев. При 1-й степени повреждения симптом Тинеля отрицателен, так как нет дегенерации нервных проводников [4, 16].

В классическом варианте 1-я степень повреждения не требует выполнения оперативного вмешательства так как восстановление протекает спонтанно. Необходимость внешнего невролиза может возникнуть в случаях, когда повреждающий агент не устранен (компрессирующий рубец), о чем свидетельствует длительное отсутствие признаков восстановления чувствительности и функции мышц [36].

Нейротмезис (II-IV степени по Sunderland) - обусловлен вовлечением не только нервных проводников и их миелиновых оболочек, но и внутри пучковых структур. Затрагивается непрерывность эндоневральных трубок. Наблюдается формирование внутриствольных рубцов, разрыв внутриствольных сосудов и образование гематом. Обычно это существенно не блокируют процесс регенераторного спруtinga. Однако восстановление в этом случае как правило протекает более длительно и может формироваться дефицит функции, как при I степени повреждения.

О динамике восстановления можно судить по симптуму Тинеля, Повреждение сопровождается разрушением периневральной оболочки с сохранностью эпиневрия. Пучки разобщаются, но непрерывность нервного ствола сохранена. Наблюдаются выраженная дезинтеграция и запутывание проводников. Результатом этой степени повреждения является внутриствольная неврома. Малый процент от общего количества проводников достигает своих мишней, что выражается в крайне неудовлетворительном восстановлении функции [36]. Механизм травмы в этом случае обусловлен растяжением, значительной компрессией и ишемией, раздавлением, рассечением нерва либо их сочетанием [8,

36]. Тактикой лечения повреждение будет являться иссечение невромы и хирургическое восстановления нерва [4, 8, 28, 29, 30, 38].

Аксонотмезис (V степень по Sunderland) - при V степени повреждения нарушается непрерывность нерва. Это приводит к полному выпадению моторной, чувствительной и вегетативной функций в зоне его иннервации [8, 33, 34, 35, 42]. Дистанция между концами поврежденного нерва варьирует в пределах нескольких сантиметров в зависимости от характера воздействующего агента, степени мобильности близлежащих тканей, положения суставов, времени, прошедшего с момента травмы.

На проксимальном отрезке нерва образуется булавовидная неврома. Дистальный отрезок подвергается дегенерации, и спонтанная регенерация нерва невозможна [35, 36].

В редких случаях ничтожная часть регенерирующих нервных волокон достигает дистальной культи и продвигается по ней, иногда реиннервируя периферию. Но столь малое число проводников не может обеспечить значимого восстановления функции. Симптом Тинеля будет определяться в зоне повреждения (над областью проксимальной культи) [38].

В 1989 году S. MacKinnon и A. Dallon предложили дополнить классификацию S.Sunderland VI степенью, при которой в различных пучках нерва представлены различные степени повреждений, и, несмотря на наличие признаков спонтанной регенерации, необходимо выполнение оперативного лечения [40, 42].

Целью данной исследовательской работы является анализ возможностей применения электронейромиографии в дифференциальной диагностике типа повреждения периферического нервного ствола, выявление преимуществ данного метода по сравнению с другими применяемыми в клинических исследованиях и его недостатки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ. Для получения данных использовались поисковые системы и базы данных: googlescholar, goodleacademic, cyberleninka, researchgate, pubmed.

Поисковые запросы в русскоязычных базах данных формировались при помощи таких ключевых терминов как: электронейромиография; повреждение периферических нервов; травма нерва; нервная проводимость; M-ответ; F-волна; H-рефлекс.

При поиске в архивах и базах данных, где основным языком площадки и публикаций был английский язык использовались следующие терминологические формулировки: electromyography; peripheral nerve injury; nerve injury; nerve conduction; M-response; F-wave; H-reflex.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ. Электронейромиография является критериальным стандартом (золотой стандарт) при диагностике патологии

периферической нервной системы, однако наиболее полная, а следствии и наиболее значимая картина течения болезни достигается только при использовании дополнительных методов диагностики таких как магнитно-резонансная томография (МРТ) и ультразвуковое исследование (УЗИ).

Исследовательский коллектив заинтересовалась возможность использования ЭНМГ в качестве неинвазивного метода оценки степени повреждения периферического нерва изолированно от остальных методов диагностики, период в котором его использование является наиболее информативным и явления или процессы, которые могут затруднить дифференциальную диагностику травмы.

Использование ЭНМГ позволяет получить сведения о следующих характеристиках: время и скорость проведения сигнала; длительность потенциала действия; амплитуда; H-рефлекс; M-ответ; F-волна [38, 47, 48].

Время и скорость проведения импульса - измеряется в метрах, пройденных за секунду (м/с). Состоит в измерении разности латентных периодов полученных на стимуляцию потенциалов при электрическом раздражении, отстоящих на определенное расстояние двух точек нерва. Скорость определяют делением этого расстояния на разность соответствующих латентных периодов. Стимуляция пороговыми величинами и стимуляция при супрамаксимальной величине тока имеет статистически достоверную разность латентных периодов [47, 48].

Длительность потенциала действия - величина времени, за которую в двигательной единице возникает и распространяется возбуждение [47, 48].

M-ответ - суммарный потенциал мышечных волокон, регистрируемый с мышцы при стимуляции иннервирующего ее нерва одиночным стимулом. На рисунке 1 схематично изображены M-ответ и H-рефлекс [47, 48].

F-волна - потенциал действия, регистрируемый при супрамаксимальной стимуляции смешанного нерва имеющий больший латентный период чем M-ответ [18, 47, 48].

H-рефлекс - рефлекторный спинальный ответ мышцы на раздражение чувствительных волокон смешанного нерва иннервирующего данную мышцу [47, 48].

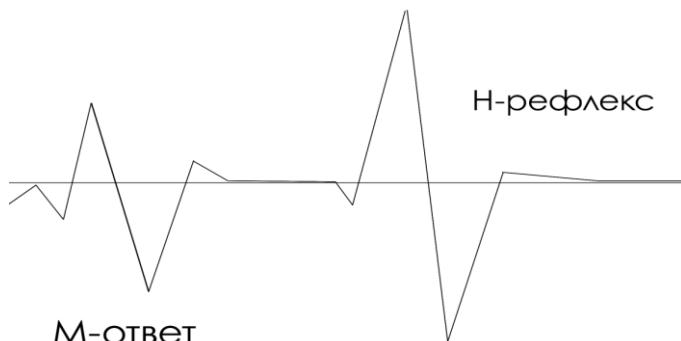


Рис. 1. М-ответ и H-рефлекс

Выраженная подкожная жировая клетчатка влияет на показатели ЭНМГ, так как жировая ткань содержит обладает высоким сопротивлением и, следовательно, распространение тока от стимулирующего электрода к нерву затрудняется. В итоге разница между силой стимула которая подается на электрод и получаемой исследуемой структурой является значимой, что должно учитываться при проведении исследования [21, 38].

Электровозбудимость мышц при частичном повреждении периферического нерва в первое время может отсутствовать, но затем в той или иной степени восстанавливается, а выявляющиеся биопотенциалы действия мышц регистрируются за счёт функции сохранившихся аксонов нервного ствола или анастомозов нервов. При полном анатомическом перерыве нерва М-ответ сниженной амплитуды может сохраняться в течение 5-7 дней при дистальной стимуляции. Амплитуда М-ответа резко падает при нарушении проведения по нерву (до полного отсутствия М-ответа), это приводит к невозможности определения скорости распространения волн по двигательным нервам стандартным методом. Возможно применение игольчатой электромиографии для определения уровня поражения нервного ствола основываясь на степени денервационных процессов в мышцах [46, 47].

Начиная с I степени повреждения нерва происходит полный блок проведения возбуждения по нервному стволу в остром периоде, что может приводить к ошибочной диагностике полного перерыва нерва [21, 38].

Таким образом сделать заключение о степени нарушения функции травмированного нерва в остром периоде невозможно, информативность ЭНМГ возрастает, начиная с раннего периода травмы, то есть свыше 21 дня.

При диагностике повреждения по типу невротмезис или I степени по Sunderland наблюдается блок проведения - снижение амплитуды М ответа; дисперсия М-ответа - увеличение времени за которое возбуждение распространяется в двигательной единице, что на электронейромиограмме будет выражаться в увеличении ширины потенциала; увеличение времени латенции М-ответа - падение скорости проведения по эfferентным волокнам; разница между величиной М-ответа в дистальном и проксимальном участках исследуемого нерва; увеличение времени латенции F-волны падение скорости проведения по афферентным и эфферентным волокнам; Н-волна - регистрируется, но латенция и амплитуда снижены [20, 28, 31].

Аксонотмезис или II-IV степени по Sunderland выражаются следующими значениями: амплитуда М-ответа резко снижена (до полного отсутствия М-ответа); проведение по нерву нарушено, снижена скорость проведения (при полном отсутствии ответа измерение скорости не представляется возможным; резко

выражены увеличение времени латенции или полное отсутствие М-ответа, Н-рефлекса и F-волны [5, 20, 28].

При невропраксии проведение нервного импульса не регистрируется в результате полного перерыва нервного ствола, в первые 5 дней после травмы возможно получения ответа при стимуляции дистального конца нерва, это связано с тем, что процесс Валлеровской дегенерации идет постепенно и в периферическом отрезке, отделенном от сомы еще остаются запасы нейромедиаторов [27, 31, 37].

Электровозбудимость мышц при частичном повреждении периферического нерва в первое время может отсутствовать, но затем в той или иной степени восстанавливается, в раннем и последующих периодах это связано с коллатеральным спротингом или наличием нервных анастомозов [30].

Рассматривая VI степень по Sunderland следует упомянуть, что наиболее часто наблюдаемым вариантом является сочетание невропраксии и аксонотмезиса. По данным ЭНМГ в зависимости от преобладания того или иного типа травмы отсутствие или снижение М-ответа, Н-рефлекса и F-волны. Как правило амплитуда сильно снижена, а время проведения повышенено [5, 28, 31].

Аномалии иннервации или межневральные соединения вносят дополнительную сложность при диагностике патологий периферической нервной системы ставя ещё более сложную задачу перед исследователем. При подозрении на наличие аномалии необходимо дифференцировать вариант нормы от патологического процесса. К аномалиям иннервации верхних конечностей относят: Мартина-Грубера анастомоз (МГА); Мариаччи анастомоз (МА); Рише-Канью анастомоз (РКА); ветвь Берриттини (ВБ) [1].

МГА представляет собой межневральное соединение между срединным и локтевым нервом на уровне предплечья. В ветви коммуниканте по составу волокон часто преобладают двигательные, но она может являться смешанной. Источником коммуниканта является срединный нерв [1, 23]. Данное межневральное соединение представлено на рисунке 2.

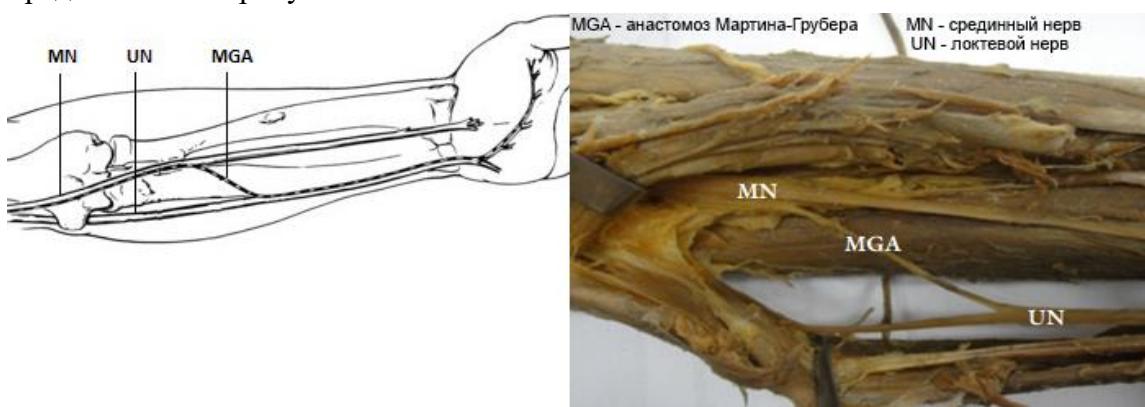


Рис. 2. Мартина-Грубера анастомоз (<https://laesus-deliro.livejournal.com/250455.html>)

Во время исследования локтевого нерва с мышцы отводящей отводящей мизинец или с 1-й дорсальной межкостной мышцы в точке на 3 см выше медиального надмыщелка локтевого сустава регистрируется М-ответ со сниженной на 25% амплитудой М-ответа по сравнению с результатами более дистальной стимуляции. При исследовании срединного нерва с мышцы отводящей большой пальца в точке стимуляции на уровне локтевого сгиба регистрируется М-ответ амплитуда которого на 25% выше полученных ответов при стимуляции дистальн [1, 23].

МА еще один вариант соединения между срединным и локтевым на уровне предплечья. Источником коммуникантной ветви в данном случае является локтевой нерв. Мышцы тенара получают двойную иннервацию. По данным частота встречаемости от 1,3 до 16.7% [1]. Схематичное расположение анастомоза представлено на рисунке 3.



Рис. 3. Мариаччи анастомоз

Признаком МА является фиксация М-ответ сниженнной на 20% амплитуды при исследовании с короткой мышцы, отводящей большой палец и стимуляции на уровне локтевого сгиба по сравнению со стимуляцией в районе запястья. Исследование локтевого нерва с короткой мышцы отводящей большой палец при стимуляции на 3 см ниже медиального надмыщелка локтевого сустава регистрируется М-ответ с повышенной на 20% амплитудой по сравнению с дистальными показателями [1].

РКА локализуется на уровне кисти и является двигательной ветвью между локтевым и срединного нерва. По данным встречаемость достигает 83%. При исследовании в этом случае регистрируется М-ответ сниженной амплитуды во время исследования срединного нерва с отведением от короткой мышцы отводящей большой палец. Исследование локтевого нерва при отведении с мышцы отводящей большой палец и с первой дорсальной межкостной мышцы во всех

точках стимуляции регистрируют М-ответ в пределах нормальных значений [1]. РКА представлен на рисунке 4 в виде схемы.

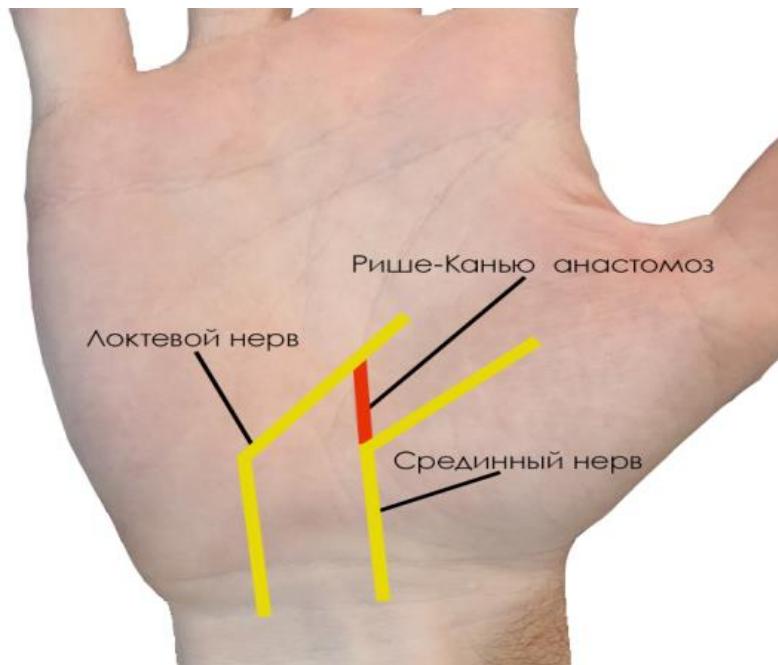


Рис. 4. Рише-Канью анастомоз

ВБ анастомоз между поверхностными ветвями срединного и локтевого нервов на уровне кисти, его источником является локтевой нерв. По составу фасцикул ВБ чувствительная. Встречаемость аномалии иннервации от 81% до 85% [1]. Изображен схематично на рисунке 5.



Рис. 5. Берритини ветвь

Среди аномалий иннервации нижних конечностей выделяют: добавочный малоберцовый нерв (ДГМН) - ветвь поверхностного малоберцового совместно с глубокой двигательной ветвью общего малоберцового нерва, иннервирующего короткий разгибатель пальцев стопы. ДГМН показан на рисунке 6. При наличии ДГМН в норме у пациента во время исследования глубокой ветви общего малоберцового нерва с короткого разгибателя пальцев стопы во время стимуляции на уровне голеностопного сустава регистрируется сниженный по амплитуде на 20% по сравнению с полученным ответом при стимуляции на уровне головки малоберцовой кости [1].

Таким образом ЭНМГ позволяет получить данные о целостности проводящих путей, типе повреждения периферического нерва, однако наличие аномалий иннерваций может сильно затруднить интерпретацию полученных результатов в случае дифференциальной диагностики между нормой и патологией, а также ее типом.



Рис. 6. Добавочный глубокий малоберцовый нерв

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ЭНМГ позволяет получить данные о целостности проводящих путей, типе травмы, однако применение этого метода становиться информативным только в раннем периоде травмы, то есть после 21 дня с момента травмы. В острый период возможности ЭНМГ ограничены и точно возможно определить только факт травмы периферического нерва.

Дифференциальная диагностика в этот период возможна с помощью других

методов, однако количественную оценку возможностей проводимости нервного ствола на данный момент возможно оценить только методами электрофизиологии.

В свою очередь изолированное от других методов диагностики применение ЭНМГ снижает ценность полученных данных, делая прогноз и, соответственно, выбор лечебной тактики затруднительным, о чем свидетельствуют ряд иностранных и отечественных публикаций. Данный метод не даёт представления о точной синтопии ствола периферического нерва и изображения его контуров, гомогенности и структуры, а также не даёт представление о наличии инородных предметов и факте образования невромы, что весьма ценно для оперирующего хирурга.

Следовательно, изолированное применение ЭНМГ для диагностики повреждения ствола резко ограничено, тогда как применение метода в сочетание с УЗИ, МРТ, компьютерной томографией полностью раскрывает возможности дифференциальной диагностики.

Таким образом ЭНМГ действительно является критериальным стандартом в оценке и выявления повреждения и периферических нервных стволов, однако в клинической практике несмотря на эффективность метода следует использовать дополнительные методы инструментальной диагностики несмотря на увеличение затрат при диагностике пациента.

Список использованных источников

1. Гришина Д.А., Супонева Н.А., Павлов Э.В., Савицкая Н.Г. Аномалии иннервации: варианты и типичные электронейромиографические признаки // Нервно-мышечные болезни. 2016. №2.
2. Морозов А. М., Сороковикова Т. В., Минакова Ю. Е., Беляк М. А. Электронейромиография: современный взгляд на возможности применения (обзор литературы) // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. 2022. №3 (57).
3. Somensi DN, Teixeira RKC, Feijó DH, Loureiro KD, Valente AL, Carvalho LTF, Calvo FC, Santos DRD, Barros RSM. Does the type of electrode affect the electromyoneurographic parameters in rats?1. Acta Cir Bras. 2019 Mar 18;34(3):e201900304. doi: 10.1590/s0102-865020190030000004. PMID: 30892390; PMCID: PMC6585890.
4. Бехтерев А.В., Ткаченко С.А., Машталов В.Д. Тактика при повреждении периферических нервов верхней конечности // Главврач Юга России. 2017. №4 (57).
5. Айтемиров Ш.М., Нинель В.Г., Коршунова Г.А. Интраоперационная нейровизуализация в хирургическом лечении пациентов с повреждениями

- периферических нервов конечностей // Саратовский научно-медицинский журнал. 2015. №2.
6. Цымбалюк В. И., Чеботарёва Л. Л., Сапон Н. А., Ивахненко Д. С. Динамика электронейромиографических показателей после операции сшивания периферических нервов у больных пожилого и старческого возраста // УНЖ. 2000. №2. С.126-129.
 7. Вылугина И.Э. Комплексная оценка функционального состояния конечности после повреждения нервного ствола в эксперименте // Innova. 2020. №4 (21). С.6-7.
 8. Арсаханова Гайна Абдулловна Клинико-инструментальная диагностика повреждений периферических нервов у больных с травмой конечностей // StudNet. 2020. №10. DOI: 10.24411/2658-4964-2020-10255.
 9. Новиков М. Л., Дружинин Д. С., Буланова В. А., Торно Т. Э. Роль электронейромиографии в оценке прогноза восстановления у детей с акушерским повреждением плечевого сплетения в практике специализированного центра // Невро-мышечные болезни. 2014. №4. С.20-31.
 10. Гришина Д.А., Супонева Н.А., Павлов Э.В., Савицкая Н.Г. Аномалии иннервации: варианты и типичные электронейромиографические признаки // Невро-мышечные болезни. 2016. №2. С.10-19. DOI: 10.17650/2222-8721-2016-6-2-10-19.
 11. Dive D, Giffroy X. Intérêt des potentiels évoqués somesthésiques dans l'exploration des neuropathies périphériques [Somatosensory evoked potentials: clinical applications in peripheral neuropathies]. Rev Med Liege. 2004;59 Suppl 1:157-69. French. PMID: 15244172.
 12. Zeynal M, Kadioğlu HH. All aspects of sciatic nerve injection injury: an experiment with 78 rats. Turk J Med Sci. 2022 Oct;52(5):1591-1599. doi: 10.55730/1300-0144.5499. Epub 2022 Oct 19. PMID: 36422486.
 13. Daley P, Pomares G, Gross R, Menu P, Dauty M, Fouasson-Chailloux A. Use of Electroneuromyography in the Diagnosis of Neurogenic Thoracic Outlet Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Clin Med. 2022 Sep 2;11(17):5206. doi: 10.3390/jcm11175206. PMID: 36079135; PMCID: PMC9457272.
 14. Bouchal S, Midaoui AE, Berrada K, Zahra AF, Aradoini N, Harzy T, Belahsen MF. Comparaison des données de l'échographie par rapport à l'électroneuromyogramme dans le diagnostic de syndrome de canal carpien [Comparing data from ultrasound with electroneuromyography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome]. Pan Afr Med J. 2019 Sep 25;34:50. French. doi: 10.11604/pamj.2019.34.50.7772. PMID: 31762916; PMCID: PMC6859048.
 15. Tepeli B, Karataş M, Coşkun M, Yemişçi OÜ. A Comparison of Magnetic Resonance Imaging and Electroneuromyography for Denervated Muscle Diagnosis.

- J Clin Neurophysiol. 2017 May;34(3):248-253. doi: 10.1097/WNP.0000000000000364. PMID: 27893494.
16. Leite MA, Orsini M, de Freitas MR, Pereira JS, Gobbi FH, Bastos VH, de Castro Machado D, Machado S, Arrias-Carrion O, de Souza JA, Oliveira AB. Another Perspective on Fasciculations: When is it not Caused by the Classic form of Amyotrophic Lateral Sclerosis or Progressive Spinal Atrophy? Neurol Int. 2014 Aug 8;6(3):5208. doi: 10.4081/ni.2014.5208. PMID: 25309711; PMCID: PMC4192433.
17. Fediakov AG, Dubrovina ON, Dreval' ON, Gorozhanin AV, Plastunenko EN. The use of intraoperative electrophysiological monitoring in patients with decompression of the ulnar nerve near the elbow joint. Zh Vopr Neirokhir Im N N Burdenko. 2014;78(6):43-49. English, Russian. doi: 10.17116/neiro201478643-49. PMID: 25809168.
18. Kkhir Bek M, Goncharov NG, Golubev VG, Iulov VV, Sekirin AB. [The electroneuromyography in diagnostics of the radial nerve injuries]. Khirurgiiia (Mosk). 2011;(10):66-73. Russian. PMID: 22334908.
19. Wang FC, Massart N, Kaux JF, Bouquiaux O. L'onde F dans tous ses états [F-waves]. Rev Neurol (Paris). 2011 Dec;167(12):938-44. French. doi: 10.1016/j.neurol.2011.06.001. Epub 2011 Nov 21. PMID: 22100326.
20. Mansukhani KA, Doshi BH. Interpretation of electroneuromyographic studies in diseases of neuromuscular junction and myopathies. Neurol India. 2008 Jul-Sep;56(3):339-47. doi: 10.4103/0028-3886.43453. PMID: 18974561.
21. Partanen, Juhani & Partanen, K & Oikarinen, H & Niemitukia, Lea & Hernesniemi, Juha. (1991). Preoperative electroneuromyography and myelography in cervical root compression. Electromyography and clinical neurophysiology. 31. 21-6.
22. Kim, V.E. & Shtok, A.V. & Saltykova, V.G. (2022). Diagnosis and treatment of paralysis following intrafascicular peripheral nerve torsion: two clinical observations and a literature review. Voprosy neirokhirurgii imeni N.N. Burdenko. 86. 74. 10.17116/neiro20228601174.
23. Morozov, Artem & Sorokovikova, T. & Minakova, Yu & Belyak, M. (2022). Electroneuromyography: a modern view on the possibilities of application (literature review). 12. 10.20340/vmi-rvz.2022.3.CLIN.6.
24. Михайлюк И.Г. Анастомоз Мартина-Грубера и его клиническое значение // Клиницист. 2015. №1. С.50-55.
25. Paiva Filho HR, Elias BAB, Salomão Junior MSB, Paiva VGN, Oliveira EF, Rocha MA. Is there an association between electroneuromyography and ultrasound in the diagnosis of carpal tunnel syndrome? Rev Bras Ortop (Sao Paulo). 2021 Feb;56(1):69-73. doi: 10.1055/s-0040-1713390. Epub 2020 Oct 9. PMID: 33627902; PMCID: PMC7895613.

26. Ratasvuori M, Sormala M, Kinnunen A, Lindfors N. Ultrasonography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: correlation of clinical symptoms, cross-sectional areas and electroneuromyography. *J Hand Surg Eur Vol.* 2022 Apr;47(4):369-374. doi: 10.1177/17531934211059808. Epub 2021 Nov 23. PMID: 34812067.
27. Paiva Filho HR, Costa AC, Paiva VGN, Severino NR. Diagnostic Contradictions in Carpal Tunnel Syndrome. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo).* 2022 Feb 4;58(2):290-294. doi: 10.1055/s-0042-1742337. PMID: 37252314; PMCID: PMC10212623.
28. Pimentel VS, Artoni BB, Faloppa F, Bellotti JC, Tamaoki MJS, Pimentel BFR. Prevalence of Anatomical Variations in Patients with Carpal Tunnel Syndrome Undergoing Classical Open Carpal Tunnel Release. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo).* 2021 Oct 1;57(4):636-641. doi: 10.1055/s-0041-1731361. PMID: 35966418; PMCID: PMC9365476.
29. Kamble N, Shukla D, Bhat D. Peripheral Nerve Injuries: Electrophysiology for the Neurosurgeon. *Neurol India.* 2019 Nov-Dec;67(6):1419-1422. doi: 10.4103/0028-3886.273626. PMID: 31857526.
30. Lavorato A, Aruta G, De Marco R, Zeppa P, Titolo P, Colonna MR, Galeano M, Costa AL, Vincitorio F, Garbossa D, Battiston B. Traumatic peripheral nerve injuries: a classification proposal. *J Orthop Traumatol.* 2023 May 10;24(1):20. doi: 10.1186/s10195-023-00695-6. PMID: 37162617; PMCID: PMC10172513
31. Robinson LR. Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle Nerve.* 2022 Dec;66(6):661-670. doi: 10.1002/mus.27706. Epub 2022 Sep 7. PMID: 36070242.
32. Kouyoumdjian JA, Graça CR, Ferreira VFM. Peripheral nerve injuries: A retrospective survey of 1124 cases. *Neurol India.* 2017 May-Jun;65(3):551-555. doi: 10.4103/neuroindia.NI_987_16. PMID: 28488619.
33. Quan D, Bird SJ. Nerve conduction studies and electromyography in the evaluation of peripheral nerve injuries. *Univ Pennsylvania Ortho J* 1999;12:45-51.
34. Seddon HJ. A classification of nerve injuries. *Br Med J* 1942;2:237-9.
35. Sunderland S. Nerves and Nerve Injuries. 2nd ed. New York: Churchill Livingstone; 1978. p. 133-8.
36. Sunderland S. The anatomy and physiology of nerve injury. *Muscle Nerve* 1990;13:771-84.
37. Lee SK, Wolfe SW. Peripheral nerve injury and repair. *J Am Acad Orthop Surg* 2000;8:243-52.
38. Menorca RM, Fussell TS, Elfar JC. Nerve physiology: Mechanisms of injury and recovery. *Hand Clin* 2013;29:317-30.
39. Taylor CA, Braza D, Rice JB, Dillingham T. The incidence of peripheral nerve injury in extremity trauma. *Am J Phys Med Rehabil* 2008;87:381-5.

40. Aminoff MJ. Electrophysiologic testing for the diagnosis of peripheral nerve injuries. *Anesthesiology* 2004;100:1298-303
41. Shukla DP, Devi BI. Management of the lesion in continuity: How important is the intraoperative electrophysiology? Treatment of peripheral nerve lesions. *WFNS* 2011;85-92.
42. Ferrante MA. The assessment and management of peripheral nerve trauma. *Curr Treat Options Neurol.* 2018;20(7):25. doi: 10.1007/s11940-018-0507-4. PubMed
43. Sunderland S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain.* 1951;74(4):491–516. doi: 10.1093/brain/74.4.491. - DOI - PubMed
44. Noble J, Munro CA, Prasad VS, Midha R. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *J Trauma.* 1998;45: 116-122.
45. Wang W L, Buterbaugh K, Kadow T R, Goitz R J, Fowler J R. A Prospective Comparison of Diagnostic Tools for the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome. *J Hand Surg Am.* 2018;43(09):833–83600. - PubMed
46. Simon N G, Talbott J, Chin C T, Kliot M. Peripheral nerve imaging. *Handb Clin Neurol.* 2016;136: 811–826. - PubMed
47. Иванов, А. С. Проведение электронейромиографии у лабораторных и домашних животных / А.С. Иванов, М.М. Наумов // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: материалы III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Курск, 15 ноября 2022 года. Том ч.2. – Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова, 2023. – С. 113-117. – EDN KKTIVB.
48. Иванов, А.С. Критерии оценки электромиографии у лабораторных и домашних животных / А.С. Иванов, М.М. Наумов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 1. – С. 102-105. – EDN SZTLOA.

© Иванов А.С., Наумов М.М., 2025