

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

УТВЕРЖДАЮ
Первый заместитель министра

_____ Р.А. Часнойть
18 декабря 2009 г.
Регистрационный № 112-1109

**ТРАНСКРАНИАЛЬНАЯ МАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПРОВОДИМОСТИ СПИННОГО МОЗГА
ПРИ ПОВРЕЖДЕНИЯХ И ЗАБОЛЕВАНИЯХ ПОЗВОНОЧНИКА**

инструкция по применению

УЧРЕЖДЕНИЕ-РАЗРАБОТЧИК: ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии»

АВТОРЫ: д-р биол. наук И.А. Ильясевич, д-р мед. наук, проф. Л.А. Пашкевич, д-р мед. наук, проф. В.А. Кульчицкий, канд. биол. наук Е.В. Сошникова, канд. мед. наук Д.К. Тесаков

Минск 2009

Метод транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) является способом объективной оценки функционального состояния спинного мозга (СМ), который характеризуется такими свойствами, как неинвазивность, безболезненность и возможность бесконтактного воздействия на нервную ткань.

В инструкции представлена методология электрофизиологической диагностики с применением ТМС для оценки функционального состояния центральных и периферических отделов нервного двигательного пути при повреждениях и заболеваниях позвоночника.

ПЕРЕЧЕНЬ НЕОБХОДИМОГО ОБОРУДОВАНИЯ, РЕАКТИВОВ, ПРЕПАРАТОВ, ИЗДЕЛИЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

Комплексная электрофизиологическая установка, состоящая из электромиографа и магнитного стимулятора, работающих в синхронном режиме при запуске магнитного импульса.

Магнитный стимулятор состоит из двух основных частей — конденсатора и индуктора (стимуляционной катушки). В зависимости от целей диагностики используют два различных вида индуктора. Первый вид представлен кольцевой катушкой типа «Coil» с диаметром 90 (100) мм, который продуцирует сильные, глубоко проникающие импульсы со слабо фокусированным воздействием. Данный индуктор предназначен для стимуляции центральных отделов головного и спинного мозга.

Второй вид индуктора имеет форму сдвоенных колец меньшего размера — в форме цифры 8 (индуктор типа «бабочки»). Сдвоенный койл дает менее сильное, но более фокусированное воздействие. Его применение является целесообразным при локальной магнитной стимуляции корешков и периферических нервов.

ПОКАЗАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ

Показанием для ТМС при травматическом, деформационном и дегенеративно-дистрофическом поражении позвоночника являются признаки нарушения двигательной функции.

ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Противопоказаниями являются ситуации, предусматривающие прямое негативное воздействие магнитных полей и импульсов на организм человека. К таковым относятся:

- наличие имплантированного кардиостимулятора;
- наличие различных имплантированных металлоконструкций, активно реагирующих на магнитный раздражитель путем внутреннего нагревания, смещения или ухудшения стабильности;
- острые нарушения мозгового кровообращения (инфаркт мозга, судорожные пароксизмы, аневризма сосуда головного мозга);
- острый период после черепно-мозговой травмы;
- беременность.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПОСОБА

Исследование начинается с выяснения возраста и роста пациента, клинического диагноза, наличия сопутствующих заболеваний и противопоказаний к ТМС.

До начала обследования необходимо подготовить пациента: объяснить суть исследования, предупредить об эффектах воздействия магнитного поля (щелчок, вздрагивание при сокращении мышц лица, туловища, конечностей), проинструктировать о необходимости мышечного расслабления во время обследования.

Необходимо снять часы и убрать все имеющиеся магнитные носители (мобильный телефон, кредитная карточка и т. д.). ТМС можно производить через повязку или одежду, но для регистрации магнитного ответа (МО) следует освободить от одежды участки кожи в проекции выбранных скелетных мышц.

При выполнении ТМС основными мышечными мишенями на верхних конечностях являются *m. biceps brachii*, *mm. thenar*, *mm. hypothenar*; на нижних конечностях — *m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius* и *m. abductor hallucis longus*. Заземляющий электрод располагают между индуктором и регистрирующими электродами.

При регистрации МО с мышц верхних и нижних конечностей пациент находится в положении «сидя» (рис. 1) или в положении «лежа» на спине.

ТМС проводят в режиме одиночных посылок импульса. При этом максимальная индукция или ее верхняя пороговая величина не должна превышать 2 Тл с длительностью магнитного поля 1 мс и временем нарастания 100 мкс.

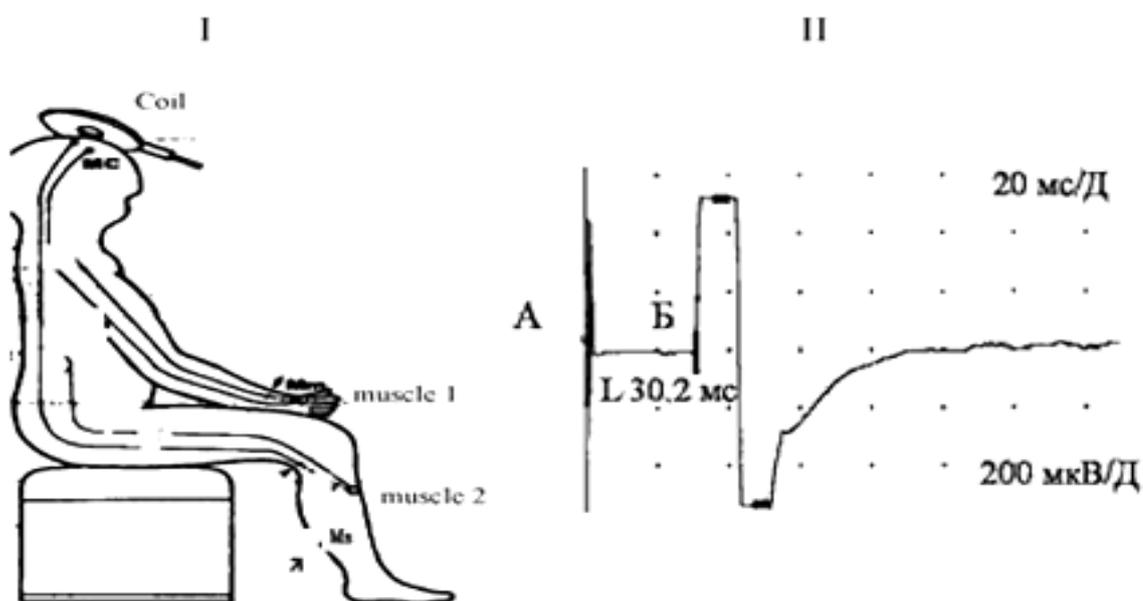


Рис. 1. Методика ТМС: I — схема проведения моторного импульса к мышцам верхних (1) и нижних (2) конечностей; II — моторный ответ *m. tibialis anterior*; А — артефакт стимуляции; Б — отметка начала моторного ответа (рис. модифицирован из С.W. Chang, 1996)

Саму процедуру обследования начинают, применяя интенсивность магнитного поля, составляющую не более 40% от верхней пороговой величины, с последующим постепенным увеличением и одновременным легким перемещением магнитного индуктора над выбранным полушарием головного мозга до появления у пациента ощущаемого мышечного сокращения и достижения стабильного МО с наименьшим по величине латентным периодом.

Билатеральную регистрацию МО в мышцах правой и левой сторон производят в последовательном режиме.

Для получения оптимального МО на мышцах верхних конечностей центр магнитного индуктора «Coil» размещают в области вертекса над точкой Cz по международной электроэнцефалографической системе «10–20%». Для получения ответа на мышцах нижних конечностей магнитный индуктор ориентируют над точками Fz и Pz. В ряде случаев возможно смещение центра индуктора типа «Coil» в ростральный отдел теменной области (на 2–3 см от темени) и контралатерально (на 3–4 см) относительно стороны регистрации МО (над точками F₃ и F₄).

При выполнении корешковой магнитной стимуляции (трансцервикальной — ТЦС или транслюмбальной — ТЛС) центр магнитного индуктора располагают в проекции выхода корешков шейного или поясничного утолщений СМ соответственно на уровне остистых отростков C₆–C₇ или L₁ позвонков.

После регистрации МО производят расстановку маркеров и осуществляют анализ полученных параметров: амплитуды негативной фазы (мкВ, от изолинии до негативного пика или от пика до пика), латентного периода (мс, от начала артефакта стимуляции до начала негативной фазы), порога (мА) и длительности (мс).

Для оценки проводимости двигательных нервных путей наиболее востребована методика измерения времени центрального моторного проведения (ВЦМП), характеризующая функциональное состояние кортикоспинального пути и определяемая как разность латентных периодов МО при транскраниальной и корешковой магнитной стимуляции. Данный показатель рассчитывают по формуле:

$$\text{ВЦМП} = \text{ЛП}_{\text{ТМС}} - \text{ЛП}_{\text{КМС}},$$

где ЛП_{ТМС} — латентный период МО при транскраниальной магнитной стимуляции;

ЛП_{КМС} — латентный период МО при корешковой магнитной стимуляции.

Величина ВЦМП указывает, за какой интервал времени импульс, индуцированный в коре головного мозга, достигает двигательного ядра СМ, находящегося на уровне шейного или поясничного утолщения.

Принцип проведения электрофизиологической диагностики по данным ТМС

Цель — электрофизиологическая оценка проводимости двигательных нервных путей центральной и периферической нервной системы.

В зависимости от клинического диагноза у пациентов с повреждением и заболеванием позвоночника задачами диагностики с использованием ТМС являются:

- определение степени нарушения моторной проводимости кортико-спинального тракта;
- дифференциальная диагностика спинальных и радикулярных расстройств;
- определение локализации доминирующего очага при полисегментарном поражении позвоночника и СМ.

Характеристика моторной проводимости нервных путей по данным ТМС

1. Критерии оценки проводимости спинного мозга в норме

У здоровых лиц МО скелетных мышц в ответ на магнитную стимуляцию двигательной коры головного мозга представляет двухфазную волну длительностью от 13 до 18 мс. Средние значения амплитуды и латентного периода МО, зарегистрированных в билатеральных мышцах верхних и нижних конечностей, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Средние параметры МО мышц у здоровых лиц

Параметры	ТМС	КМС	ВЦМП
<i>m. thenar</i>			
Латентный период, мс	21,2±0,5	13,2±0,5	8,0±0,5
Амплитуда, мВ	2,5±1,0	1,2±0,4	
<i>m. tibialis anterior</i>			
Латентный период, мс	29,1±0,6	13,6±0,4	15,5±0,4
Амплитуда, мВ	1,4±0,6	1,1±0,4	

Примечание. ТМС — транскраниальная магнитная стимуляция; КМС — корешковая магнитная стимуляция; ВЦМП — время центрального моторного проведения.

Особенностью МО при ТМС является феномен «фасилитации». Он выражается в том, что магнитная стимуляция, проводимая на фоне умеренного произвольного напряжения мышц (до 5–10% от максимального усилия) сопровождается увеличением амплитуды МО в сочетании со снижением его латентного периода по сравнению с собственными значениями, зарегистрированными в состоянии мышечного расслабления.

2. Критерии оценки проводимости эфферентных путей спинного мозга при травматическом повреждении позвоночника

При осложненной травме позвоночника основной задачей диагностики с применением ТМС является определение степени нарушения функций СМ.

При травме нижнегрудного или поясничного отдела позвоночника в ответ на ТМС производят регистрацию МО мышц нижних конечностей. При травме шейного отдела позвоночника и СМ ввиду высокой локализации очага повреждения требуется проведение более обширных исследований, включающих регистрацию МО мышц с иннервацией не только на уровне травмы СМ, но и ниже ее. В случае полной функциональной блокады СМ применение ТМС показывает отсутствие МО во всех мышцах верхних и нижних конечностей с иннервацией ниже уровня повреждения.

Информативность ТМС не зависит от срока посттравматического периода и может проводиться как в ранние (1–2 недели), так и в более поздние сроки после травмы позвоночника и СМ.

Осложненная травма позвоночника, сопровождающаяся полным нарушением проводимости СМ (согласно общепринятой шкале степени неврологических нарушений СМ по Н.Frankel, 1969), характеризуется отсутствием МО в мышцах с сегментарной иннервацией ниже уровня повреждения.

Среди пациентов с клиническими признаками полного нарушения двигательной функции по данным ТМС в 10–15% случаев выделяется подгруппа с электрофизиологическим неполным повреждением. Магнитная стимуляция коры головного мозга у таких пациентов сопровождается генерацией низкоамплитудных МО ($0,3 \pm 0,1$ мВ) в мышцах ниже уровня повреждения, латентный период которых аномально увеличен и может составлять от 35 до 80 мс (среднее значение $56,2 \pm 2,2$ мс).

Величина амплитуды и латентного периода МО, зарегистрированных в ранние сроки, имеет прогностическое значение. Снижение амплитуды МО до 80% по сравнению с контролем в сочетании с увеличением латентного периода более чем на 30% расценивается как признак необратимой потери функций СМ ниже уровня повреждения (рис. 2, I). Незначительное количество сохраненных кортикоспинальных связей на уровне повреждения СМ является недостаточным для восстановления двигательной функции, но имеет значение при разработке индивидуальных программ реабилитации.

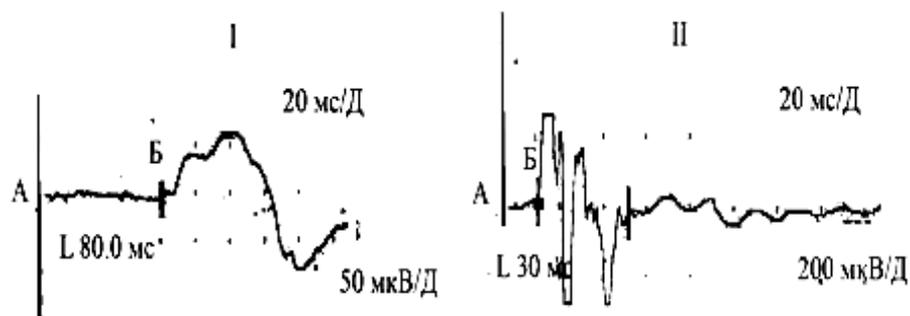


Рис. 2. Моторные ответы *m.tibialis anterior* у пациентов с частичным нарушением проводимости спинного мозга на уровне поясничных сегментов: I — МО у пациента с неврологической симптоматикой значительного частичного нарушения функций СМ; II — МО у пациента с признаками умеренного изменения функций СМ; L — латентный период МО; А — артефакт стимуляции; Б — отметка начала МО

Симптоматика умеренного нижнего парапареза (рис. 2, II) сопровождается появлением полифазного МО с амплитудой 0,6 мВ. Полифазная форма МО отражает развитие процессов временной дисперсии в проведении импульсов по разным нервным волокнам двигательного пути. Снижение амплитуды МО до 50% на фоне увеличения латентного периода ответов до 20% расценивается как признак положительного функционального прогноза.

Диагностическими критериями оценки состояния функций СМ при травматическом повреждении позвоночника являются:

- отсутствие МО в мышцах с сегментарной иннервацией ниже уровня повреждения СМ соответствует полному функциональному блоку проводимости кортикоспинального тракта;
- регистрация в мышцах с сегментарной иннервацией на уровне повреждения СМ редуцированных МО, характеризующихся снижением амплитуды ответа до 80% на фоне увеличения его латентного периода на 30%, расценивается у пациентов с отсутствием двигательной активности мышц как электрофизиологический признак неполного нарушения функций СМ, имеющий значение для реабилитации;
- регистрация в мышцах с иннервацией на уровне повреждения СМ сниженных по амплитуде МО (до 30–50%) в сочетании с увеличением латентного периода на 10% соответствует признаку частичного нарушения проводимости СМ, который имеет положительный функциональный прогноз.

3. Критерии оценки проводимости эфферентных путей спинного мозга при дегенеративно-дистрофическом заболевании позвоночника Дегенеративно-дистрофические поражения позвоночника в отличие от

травмы сопровождаются не мгновенным, а постепенным изменением вертебротеллерных взаимоотношений.

Задача электрофизиологической диагностики при дегенеративно-дистрофическом заболевании позвоночника — определение не только степени, но и уточнение локализации очага поражения СМ.

Отличительными характеристиками МО у пациентов с радикулопатией является увеличение времени моторного проведения импульса по корешку, которое рассчитывается по величине латентного периода МО при корешковой магнитной стимуляции.

Рефлекторно-тоническая стадия корешкового синдрома характеризуется изменением амплитуды МО до 20% в сочетании с увеличением латентности 10%. Указанная электрофизиологическая картина соответствует снижению возбудимости нервных проводников без признаков компрессии.

Наличие выраженной клинко-неврологической симптоматики корешкового синдрома (нарушения двигательной и чувствительной функции) сопровождается более выраженными изменениями амплитуды (40-50%) и латентного периода МО (до 20%).

У пациентов со стенозом нижнегрудного отдела позвоночного канала и сдавлением СМ амплитуда МО снижается от $1,4 \pm 0,6$ до $0,4 \pm 0,07$ мВ, при этом величина латентного периода может увеличиваться до $62,2 \pm 2,2$ мс (норма $29,0 \pm 0,5$ мс). Полученные результаты показывают значительное увеличение ВЦМП.

Для выполнения дифференциальной диагностики спинального и радикулярного нарушения проводимости нервных путей магнитную стимуляцию проводят на нескольких уровнях — транскраниально и трансцервикально или транслюмбально. Сравнительный анализ величины ВЦМП и времени проведения импульса по корешкам спинномозговых нервов соответствующего сегментарного уровня позволяет уточнить локализацию доминирующего очага.

У пациентов с цервикальной миелопатией оценка функций по данным ТМС проводится не только на уровне сдавления СМ в шейном отделе, но и ниже — на протяжении грудных и поясничных сегментов (табл. 2).

Таблица 2

Показатели моторных ответов мышц у пациентов (n = 18) со стенозом позвоночного канала шейного отдела позвоночника

Название мышц	Латентный период, мс		ВЦМП, мс	Амплитуда, мВ	
	ТМС	КМС		ТМС	КМС
<i>m. thenar</i>	$26,9 \pm 4,1^*$	$15,0 \pm 1,0$	$11,9 \pm 2,1$	$0,7 \pm 0,2^*$	$1,0 \pm 0,2$
<i>m. tibialis anterior</i>	$36,4 \pm 5,4^*$	$15,3 \pm 2,4$	$21,1 \pm 1,3^*$	$0,5 \pm 0,2^*$	$0,8 \pm 0,1$

*Достоверные изменения параметров вызванных ответов по сравнению с контрольной группой при $p < 0,05$ по t -критерию Стьюдента; обозначения те же, что и в табл. 1.

повышением амплитуды МО и, наоборот, увеличение латентного периода МО на фоне снижения его амплитуды по сравнению с исходными значениями является критерием отрицательной динамики МО.

4. ТМС в диагностике нарушений проводимости спинного мозга при сколиотической деформации позвоночника

Задачей ТМС при сколиозе является определение количественных показателей проводимости СМ на уровне основного и компенсаторных искривлений позвоночника.

У пациентов со сколиотической деформацией позвоночника IV степени выявлены два типа изменения моторной проводимости СМ по данным ТМС. В группе (А) с углом искривления до 90° электрофизиологические на фоне снижения амплитуды МО величина латентного периода и ВЦМП на участках шейных, грудных и поясничных сегментов СМ остаются в пределах нормальных значений или отклоняются незначительно (5%). Указанные изменения параметров МО свидетельствуют об отсутствии нарушений функций СМ (табл. 3).

У пациентов с углом искривления от 90 до 150° (группа В) несмотря на отсутствие МРТ-признаков структуры СМ отклонения параметров МО мышц кисти и голени характеризуются более выраженными изменениями параметров МО. Особое значение имеет факт повышения ВЦМП у больных со сколиозом на уровне шейных сегментов СМ, отражающий признаки надочаговой (по отношению к зоне основного искривления позвоночника) пирамидной недостаточности.

Таблица 3

Величина ВЦМП у пациентов с правосторонней грудной сколиотической деформацией IV степени тяжести

Группа	ВЦМП, мс	
	справа	слева
	<i>m.thenar</i>	<i>m.thenar</i>
Группа А	9,5±1,0	9,2±1,0
Группа В	11,4±1,4*	10,9±1,1*
	<i>m.tibialis anterior</i>	<i>m.tibialis anterior</i>
Группа А	15,9±1,7	15,1±1,9
Группа В	17,8±2,2*	16,6±1,6

*Достоверные различия при $p < 0.05$ по t -критерию Стьюдента по сравнению с нормой.

По данным корешковой магнитной стимуляции у 70% пациентов с IV степенью тяжести сколиотической деформации (правосторонняя грудная, левосторонняя поясничная) определяется значимое увеличение латентного времени МО мышц голени, что указывает на снижение моторной

проводимости соответствующих поясничных корешков.

Результаты электрофизиологической диагностики при сколиозе используют для уточнения тактики и объема хирургического вмешательства, а также определения контингента больных, у которых повышена вероятность интраоперационных неврологических осложнений.

Диагностическими критериями оценки проводимости СМ при сколиозе являются:

- значимое увеличение (более 10%) ВЦМП на участке шейных или поясничных сегментов СМ соответствует признакам нарушения проводимости кортикоспинального тракта;
- увеличение (более 10%) латентного периода МО мышц голени в сочетании со снижением его амплитуды (20%) при транслюмбальной магнитной стимуляции является признаком корешкового синдрома.