

**Федеральное медико-биологическое агентство
(ФМБА России)**

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ МАГНИТНОЙ
СТИМУЛЯЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕЙРОМЫШЕЧНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ
СПОРТИВНЫХ СБОРНЫХ КОМАНД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Методические рекомендации

МР ООО «РАСМИРБИ» 91500.12.0008-2025/РАСМИРБИ

Москва

2025

Предисловие

1. Разработаны:

1.1. В Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России):

Директор – канд. мед. наук Жолинский А.В.

Заместитель директора по научной работе – д-р. мед. наук, профессор Парастаев С.А.

Начальник организационно-исследовательского отдела – канд. мед. наук Фещенко В.С.

1.2. В Федеральном государственном бюджетном учреждении «Северо-кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России):

Генеральный директор – канд. экон. наук. Тер-Акопов Г.Н.

2. Исполнители:

2.1. От ФГБУ ФНКЦСМ ФМБА России:

ведущий научный сотрудник организационно-исследовательского отдела – канд. мед. наук Митин И.Н.;

научный сотрудник организационно-исследовательского отдела – Назаров К.С.;

медицинский психолог отдела медико-психологического обеспечения спортивных сборных команд – Баршак С.И.;

медицинский психолог отдела медико-психологического обеспечения спортивных сборных команд – Суфиянова Л.Р.;

врач по спортивной медицине отдела медицинского обеспечения спортивных сборных команд и соревнований – Завьялов В.В.

2.2. От ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России:

Руководитель центра медико-биологических технологий – д-р биол. наук,

профессор Корягина Ю.В.

3. В настоящих методических рекомендациях реализованы требования Федеральных законов Российской Федерации:

- Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 4 декабря 2007 года № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации»;

- Федеральный закон от 05.12.2017 № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О физической культуре и спорте в Российской Федерации» и Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» по вопросам медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации».

4. Утверждены Ученым советом Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр спортивной медицины и реабилитации Федерального медико-биологического агентства» (протокол от 31 октября 2024 года № 53).

5. Введены впервые.

Содержание

Предисловие	1
Введение.....	5
1. Область применения	7
2. Нормативные ссылки.....	8
3. Определения и сокращения.....	10
4. Физиологические механизмы воздействия метода периферической магнитной стимуляции на организм человека	13
5. Возможности применения периферической магнитной стимуляции для восстановления нейромышечного аппарата спортсменов	18
6. Показания к применению	28
7. Противопоказания к применению	29
8. Методика применения периферической магнитной стимуляции у спортсменов различных специализаций для восстановления нейромышечного аппарата после физических нагрузок.....	30
9. Эффективность применения методики периферической магнитной стимуляции у спортсменов различных специализаций для восстановления нейромышечного аппарата после физических нагрузок.....	33
9.1. Организация и методы исследования	33
9.2. Результаты исследования	33
9.3. Выводы.....	35
Библиография	36
Библиографические данные	49

Введение

Одним из основных направлений медико-биологического обеспечения спорта высших достижений в Российской Федерации является разработка новых технологий восстановления и повышения физической работоспособности спортсменов. Магнитная стимуляция является высокоэффективным методом лечения, широко применяемым в клинической практике при терапии и реабилитации пациентов с патологией центральной и периферической нервной системы, опорно-двигательного аппарата (ОДА), урологическими заболеваниями [1–3]. В последние годы публикуется всё больше работ, посвященных изучению влияния транскраниального и периферического воздействия ритмического магнитного поля на функциональное состояние органов и систем спортсменов [4, 5].

Транскраниальная магнитная стимуляция в спортивной практике используется чаще как высокоинформативный метод диагностики функционального состояния нервно-мышечного аппарата, оценка которого проводится по параметрам вызванных моторных ответов [6]. Периферическая же магнитная стимуляция наиболее часто используется специалистами в восстановлении, реабилитации и стимуляции работоспособности атлетов [7–9]. Исследования показали высокую эффективность применения этого метода в послеоперационном периоде для повышения силы и гипертрофии мышечной ткани у спортсменов высокой квалификации [10]. Проведено исследование, в результатах которого отражено повышение силовых показателей мышц под воздействием курса, состоящего из 15 процедур периферической магнитной стимуляции [11]. Регулируя частотные характеристики магнитного поля, возможно не только увеличить силовые показатели, но и добиться повышения аэробных возможностей мышечного аппарата спортсменов [12]. Установлено, что высокочастотная ритмическая магнитная стимуляция периферических нервов может модулировать кортикомоторную возбудимость и вместе с тем способствовать развитию сложнокоординационных качеств у атлетов [13].

Анализируя эффекты воздействия магнитного поля, нельзя забывать о

возможности регулирования биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата путем снижения или повышения частотных параметров магнитной стимуляции. Так, низкочастотная магнитная стимуляция (5 Гц в минуту и ниже) способствует существенному уменьшению сухожильного рефлекса Гольджи, что может быть использовано для развития гибкости и увеличения суставной подвижности в реабилитации после травм и повреждений ОДА у спортсменов [14].

Таким образом, актуальным, во-первых, является анализ имеющихся отечественных и зарубежных разработок по направлениям и методикам применения периферической магнитной стимуляции, а во-вторых – разработка и научно-экспериментальное обоснование применения данного метода в системе медико-биологического обеспечения спорта высших достижений для восстановления функционального состояния нейромышечного аппарата спортсменов после интенсивных тренировочных нагрузок.

УТВЕРЖДАЮ
Президент РАСМИРБИ
Б.А. Поляев
«02» апрель 2025.



**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ МАГНИТНОЙ
СТИМУЛЯЦИИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕЙРОМЫШЕЧНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ
СПОРТИВНЫХ СБОРНЫХ КОМАНД РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Методические рекомендации
МР ООО «РАСМИРБИ» 91500.12.0008-2025/РАСМИРБИ

1. Область применения

1. Методические рекомендации предназначены для специалистов, участвующих в мероприятиях медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд.

2. Нормативные ссылки

Настоящий документ разработан на основании рекомендаций и требований, следующих нормативных правовых актов и нормативных документов.

Федеральный закон от 4 декабря 2007 года № 329-ФЗ «О физической культуре и спорте в Российской Федерации».

Федеральный закон от 21 ноября 2011 года № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Федеральный закон от 05.12.2017 № 373-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О физической культуре и спорте в Российской Федерации" и Федеральный закон "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации" по вопросам медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации и спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации».

Приказ Минздрава России от 23.10.2020 N 1144н «Об утверждении порядка организации оказания медицинской помощи лицам, занимающимся физической культурой и спортом (в том числе при подготовке и проведении физкультурных мероприятий и спортивных мероприятий), включая порядок медицинского осмотра лиц, желающих пройти спортивную подготовку, заниматься физической культурой и спортом в организациях и (или) выполнить нормативы испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса "Готов к труду и обороне" (ГТО)" и форм медицинских заключений о допуске к участию в физкультурных и спортивных мероприятиях» (Зарегистрировано в Минюсте России 03.12.2020 N 61238).

Приказ Федерального медико-биологического агентства от 8 сентября 2023 года № 178 «Об утверждении порядка организации медико-биологического обеспечения спортсменов спортивных сборных команд Российской Федерации».

Рекомендации Р ФМБА России 1-2023 от 28.06.2023 г. «Порядок разработки, изложения, представления на согласование и утверждение нормативных и

методических документов, разрабатываемых научными организациями по заказу ФМБА России, в Комиссию Федерального медико-биологического агентства по рассмотрению нормативных и методических документов, разработанных при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, осуществлении научно-технической и инновационной деятельности».

3. Обозначения и сокращения

В настоящих методических рекомендациях применяют следующие термины, сокращения и обозначения:

А	– энергоёмкость статокинезиограммы;
Ах	– энергоемкость фронтальной стабиллограммы (по оси Х);
Ау	– энергоемкость сагиттальной стабиллограммы (по оси Y);
Альфа	– время максимального систолического наполнения сосудов;
Альфа 2	– время медленного наполнения сосудов;
ВО	– показатель венозного оттока;
ДКИ	– дикротический индекс;
ДСИ	– диастолический индекс;
КГ	– контрольная группа;
КА	– коэффициент асимметрии;
Кэ	– коэффициент эффективности;
М-ответ	– суммарный потенциал действия, возникающий в мышце при электрическом раздражении её двигательного нерва;
МУ	– модуль упругости (показатель тонуса артерий);
НМА	– нервно-мышечный аппарат;
ОДА	– опорно-двигательный аппарат;
ОГ	– основная группа;
ПРМС	– периферическая ритмическая магнитная стимуляция;
РВГ	– реовазография;
РИ	– реографический индекс;
СРВ	– скорость распространения возбуждения;
ЭНМГ	– электронейромиография;
D X	– дисперсия центра давления во фронтальной плоскости (по оси Х);

D Y	– дисперсия центра давления в сагиттальной плоскости (по оси Y);
CovXY	– коэффициент ковариации;
FX	– основная частота колебаний во фронтальной плоскости (по оси X);
FY	– основная частота колебаний в сагиттальной плоскости (по оси Y);
L	– длина статокинезиограммы;
Le	– длина эллипса, построенного с 95 % уровнем доверительного интервала;
Le/We	– отношение длины эллипса к его ширине;
LFS	– отношение длины статокинезиограммы к ее площади;
Max X	– максимальная амплитуда колебаний во фронтальной плоскости (относительно X);
Max Y	– максимальная амплитуда колебаний в сагиттальной плоскости (относительно Y);
P	– мощность статокинезиограммы;
S (o)	– площадь статокинезиограммы при открытых глазах;
S (з)	– площадь статокинезиограммы при закрытых глазах;
SI	– индекс стабильности;
V	– средняя скорость общего центра давления;
We	– ширина эллипса, построенного с 95 % уровнем доверительного интервала;
Qa	– время распространения реографических волн;
X	– среднее положение общего центра давления во фронтальной плоскости;
x	– среднеквадратическое отклонение общего центра давления во фронтальной плоскости (координаты X);

- \bar{Y} – среднее положение общего центра давления в сагиттальной плоскости;
- σ_y – среднеквадратическое отклонение общего центра давления в сагиттальной плоскости (относительно \bar{Y});
- ΔX – отклонения среднего положения относительно идеального во фронтальной плоскости (по оси X);
- ΔY – отклонения среднего положения относительно идеального в сагиттальной плоскости (по оси Y).

4. Физиологические механизмы воздействия метода периферической магнитной стимуляции на организм человека

Первые исследования, посвященные изучению действия периферической магнитной стимуляции на нервно-мышечный аппарат, были проведены достаточно давно, в середине 20 века. А. Колин в 1959 г. в своей работе описал сокращение икроножной мышцы при стимуляции препарированного седалищного нерва лягушки [15]. Бикфорд и Фремминг в 1965 г. изучали возможность стимуляции периферического нерва и последующего мышечного сокращения уже на здоровых добровольцах [16].

В настоящее время метод периферической ритмической магнитной стимуляции достаточно широко используется в клинической практике врачей-неврологов и физиотерапевтов [17–21]. Исследователи отмечают, что физиологический базис действия периферической магнитной стимуляции релевантен действию транскраниальной магнитной стимуляции, в основе которого лежит магнитная индукция Фарадея и закон Био – Савара – Лапласа, когда стимуляция нервной ткани приводит к возникновению и распространению потенциала действия и сокращению в мышечной ткани [22–24].

Как уже говорилось в предыдущем разделе, изменяющийся во времени ток, проходящий через катушку, создает магнитное поле вокруг неё. Когда импульс магнитного поля проходит в тело, он вызывает возникновение градиента потенциала. Это создает электрическое поле внутри тела и заставляет течь электроны. Магнитное поле, возникающее при магнитной стимуляции, действует как средство, вызывающее поток электронов и ионов, и само по себе не стимулирует нервную ткань. Однако, поскольку речь идёт о потоке ионов, механизмы электрической и магнитной стимуляции на нервном уровне одинаковы. Основным механизмом действия и магнитной, и электрической стимуляции, выступает деполяризация аксонов и генерация потенциала действия. [25].

Л. Д. Белью и К. Шнайдер отмечают, что несмотря на то, что механизмы действия магнитной и электрической периферической стимуляции идентичны,

магнитная стимуляция имеет свои особенности. Из-за более высокого порога стимуляции тел нейронов периферическая магнитная стимуляция в первую очередь стимулирует аксоны, а не клеточные тела, а позже непосредственно сами клетки – нейроны, таким образом формируя вторичный потенциал действия [25].

Магнитное поле дает много преимуществ. Во-первых, магнитное поле может проходить через любую среду, даже вакуум, без ослабления. Это позволяет проникать глубоко в ткани и стимулировать корешки спинномозговых нервов или глубокие мышцы. С помощью магнитного поля можно осуществлять более сфокусированную и интенсивную стимуляцию, чем с помощью электрического. Магнитное поле уменьшается обратно пропорционально удалению от катушки генератора. Благодаря этой характеристике нет необходимости в механическом контакте, что делает его применимым для пациентов с крайней гиперчувствительностью к прикосновению к коже. Точно так же, поскольку магнитное поле может проходить через одежду, пациенту не нужно раздеваться. Кроме того, из-за того, что заряженные частицы не проникают в кожу и поверхностные ткани, магнитная стимуляция редко вызывает боль [26–28].

По механизму действия магнитный импульс формирует вторично индуцированный ток, который активизирует нервную ткань – как нервные волокна (аксоны), так и нервные клетки [29]. При этом стимулируются как сенсорные, так и моторные нервные волокна. Далее происходит непрямая стимуляция механорецепторов мышечных волокон, за счет чего происходит сокращение мышцы [30]. Ряд исследований показал, что на этом возникший потенциал действия не ограничивается и происходит воздействие на вышележащие структуры нервной системы, в частности на головной мозг. Так, происходит активация структур головного мозга, стимуляция механизмов нейропластичности (в виде ангиогенеза и синаптогенеза), усиление церебрального кровотока, активируются внутрикорковые интегративные процессы, происходит нормализация процессов возбудимости коры головного мозга [4, 5, 31]. Авторы отмечают, что эти процессы не так выражены, как при транскраниальном воздействии, однако важно понимать, что периферическая

магнитная стимуляция не действует изолированно на область стимуляции, а воздействует на структуры ЦНС за счет электрического импульса, который, протекая в ретроградном направлении, активирует вышележащие структуры [32].

Характер мышечного сокращения при действии пульсирующего магнитного поля зависит в первую очередь от частоты стимуляции и возникающих при этом потенциалов действия [33]. Исследования, проведенные в США и в Южной Корее, показали, что именно частотные характеристики стимуляции влияют на саркоплазматическую концентрацию ионов кальция, а следовательно, и на характер сокращения миофибрилл [34–35]. Физиологически известно, что при высокой частоте импульсации мотонейронов возникает устойчивое сокращение мышечных волокон – тетанус, в результате чего концентрация ионов кальция в цитоплазме резко повышается. Проведенные исследования показали, что аналогичные изменения в работе потенциалзависимых кальциевых каналов происходят и при высокочастотной стимуляции пульсирующим магнитным полем. Кроме того, было выявлено, что чем выше частота стимуляции, тем выше насыщение белка тропонина С в мышечном волокне ионами кальция [36–38].

Анализируя механизмы клеточной активации при электрической и магнитной стимуляции, Кэдиган с соавторами отметили, что, когда мышца искусственно активируется с помощью электрического импульса, заданный стимул меняет мембранный потенциал клеток и вызванный потенциал действия обеспечивает передачу сигнала в различных структурах, например, во внутримышечных терминалях аксона и кожных рецепторах. Таким образом, мышечная сила создается активацией двигательных аксонов, расположенных более поверхностно, а также рефлекторным привлечением спинномозговых мотонейронов [39].

Другой возможностью искусственно вызвать мышечную активацию является периферическая магнитная стимуляция [40]. Клеточный механизм стимуляции одинаков для обоих методов. В обоих случаях заряд поступает в возбудимую клеточную мембрану, вызывая изменение трансмембранного потенциала. Если применить адекватный стимул, это может вызвать деполяризацию мембраны и

инициирование потенциала действия [41]. При этом периферическая магнитная стимуляция воздействует на внутримышечные двигательные аксоны, которые вызывают сокращение мышц [42–43] и, в отличие от электростимуляции, характеризуется большой глубиной проникновения, отсутствием тока, протекающего через кожу [41]. Это позволяет избежать активации кожных рецепторов, таких как ноцицепторы и механорецепторы [44–46].

Проведенные исследования показали, что ритмическая периферическая магнитная стимуляция, применяемая к мышце, вызывает проприоцептивный приток в центральную нервную систему (ЦНС) двумя различными способами. Во-первых, это непрямо активация механорецепторов за счет стимуляции, вызывающей ритмическое сокращение и расслабление, а также за счет вибрации мышцы. Такой механизм включает в себя деполяризацию групп различных мышечных волокон (быстрых, медленных, промежуточных). Во-вторых, происходит прямая активация сенсомоторных нервных волокон с ортодромической и антидромной проводимостью [46–47].

Работа ученых из Японии показала, что применение ритмической периферической магнитной стимуляции непосредственно влияет на проприоцептивную чувствительность. Авторы отмечают, что сигналы, исходящие от проприорецепторов, расположенных в суставах, мышцах, сухожилиях и коже, под действием периферической ритмической магнитной стимуляции биомеханически кодируются, а затем передаются в центральную нервную систему, которая осуществляет мультисенсорную интеграцию полученных импульсов, в результате чего в процессе эфферентного синтеза возможно более точно регулировать положение конечностей в пространстве. Кроме того, по результатам проведенных исследований авторы отметили отсутствие статистически значимых различий при однократном воздействии магнитной стимуляции и при курсовом ее применении [48].

Электрическое поле, индуцируемое повторяющейся периферической магнитной стимуляцией, способно искусственно активировать мышцы за счет стимуляции глубоких внутримышечных двигательных аксонов. Частота стимула,

применяемая к мышце, индуцирует проприоцептивный сигнал в центральную нервную систему различными способами. Во-первых, непрягая активация механорецепторов и, во-вторых, прямая активация афферентных нервных волокон [49]. Ряд проведенных исследований показал, что низкоинтенсивная магнитная стимуляция икроножной и камбаловидной мышц способна активировать афференты терминальных нервов и, следовательно, способна индуцировать церебральные потенциалы [50]. Кроме того, было продемонстрировано, что периферическая магнитная стимуляция является потенциальным вариантом лечения спастичности [51, 52], преимущественно за счет нейропластичности и активации модулирующих процессов в ЦНС у пациентов в послеоперационный период при травмах спинного мозга [46, 52].

Физиологическое действие периферической ритмической магнитной стимуляции обусловлено сокращением мышечных волокон I и II типов, в результате чего в зоне воздействия улучшается кровоснабжение тканей за счет выталкивания крови из венозного русла при сокращении мышцы и увеличения притока крови в артериях и артериолах. Было установлено, что чрезмерно длительное сокращение мышечных волокон может привести к спаданию и окклюзии сосудов, следствием чего является развитие гипоксии [53–54].

Таким образом, анализируя научные литературные данные, можно заключить о наличии достаточно обширной теоретической базы данных о влиянии пульсирующего магнитного поля на структурные единицы нервно-мышечного аппарата и опорно-двигательную систему в целом.

5. Возможности применения периферической магнитной стимуляции для восстановления нейромышечного аппарата спортсменов

Известно, что магнитотерапия достаточно широко применяется как в клинической, так и в спортивной практике [55–57], однако терапевтическая эффективность напрямую зависит от вида воздействия (постоянное магнитное поле, переменное, пульсирующее) [58–60]. Анализ данных научной литературы показал, что большая часть работ посвящена изучению действия постоянного и переменного магнитного поля в разных аспектах восстановления и повышения работоспособности спортсменов [61–63]. В последнее время публикационная активность на тему применения периферической магнитной стимуляции неуклонно растет, однако необходимо отметить, что несмотря на то, что в основе этого метода также лежит магнитотерапия, здесь чаще используется иной вид магнитного поля – пульсирующий или импульсный. При этом интенсивность биологического или лечебного действия повышается в ряду от постоянного к переменному и пульсирующему воздействию магнитным полем [64–66]. Стимуляция возможна магнитным полем как небольшой интенсивности (20–100 мТл), так и высокой интенсивности (100–1400 мТл). Интенсивность магнитного поля по большей части зависит от характеристик магнитных индукторов или койлов, и в настоящее время опубликованы работы, где описано воздействие магнитным полем до 2 Тл [67–69].

Стимуляция периферических зон обычно проводится либо кольцевым (циркулярным) индуктором, либо 8-образным индуктором. Первый вариант чаще используется для периферической магнитной стимуляции, когда необходимо простимулировать большие по площади участки с небольшой глубиной проникновения. Второй вариант позволяет проводить более глубокую и точечную стимуляцию структур нервно-мышечного аппарата [70].

Анализ литературных данных показал отсутствие четко регламентированных параметров интенсивности, режима, количества стимулов при применении периферической магнитной стимуляции в отличие от транскраниальной [71–72]. Вероятнее всего, причиной этому служит отсутствие регистрации вызванных

моторных ответов, что, в свою очередь, позволяет более гибко подбирать параметры воздействия [73]. Ряд исследований, в которых применялся метод периферической магнитной стимуляции, показал, что часть исследователей подбирала интенсивность стимула, равного так называемому порогу, когда сокращение мышцы можно наблюдать визуально. Другая часть исследователей использовала в своих протоколах надпороговую стимуляцию [70, 74–75].

В работе В.Н. Блохиной с соавт. (2017), посвященной сравнительному анализу возбудимости корешковой и внутримышечной аксональной систем у здоровых добровольцев (34 человека) при периферической магнитной стимуляции, описано дозирование интенсивности магнитного стимула и выделено три порога активации нервно-мышечного аппарата:

- порог активации мышцы – минимальное ощущение, при котором возникал «толчок» при данном значении интенсивности (субъективный порог), и в среднем он равен 9,3 % от выходной мощности стимулятора;

- порог сокращения мышцы – визуальное сокращение, наблюдаемое исследователем, при дальнейшем увеличении интенсивности стимула – 12,5 % от выходной мощности стимулятора;

- порог активации корешков – появление стабильного минимального вызванного моторного ответа при регистрации биоэлектрической активности на электромиографе с мышцы-мишени – 18,1 % от выходной мощности стимулятора.

Авторы отметили, что порог активации мышцы всегда ниже, чем порог сокращения мышцы и порог активации корешков. При этом порог активации корешков равен порогу вызванного моторного ответа [76].

Данные проведенного исследования показали необходимость дальнейших клинических исследований для определения параметров периферической магнитной стимуляции, однако становится очевидным, что интенсивность магнитного стимула должна подбираться индивидуально для каждого пациента [70, 76].

Изучением характера изменения концентрации ионов кальция в клетках при различной частоте магнитной стимуляции занимались ученые-физиологи из Японии.

Во время сокращения мышечного волокна они измеряли концентрацию люминесцентного вещества индикатора, отражающего количественное содержание ионов кальция на изолированном участке скелетной мышцы. Исследователи выявили, что при частоте стимула магнитного индуктора 5 Гц транспозиция люминесцентного вещества, характеризующего высвобождение и возврат ионов кальция по потенциалзависимым каналам, совпадала с регистрацией на мониторе отдельно вызванных мышечных сокращений, тогда как стимуляция пульсирующим магнитным полем с частотой 10 Гц вызывала суммацию отдельных сокращений, в результате чего происходила накладка одного сокращения на другое. Ученые обозначили данный процесс как суперпозицию мышечного сокращения. Несмотря на то что мышечные сокращения при такой стимуляции суммировались, уровень ионов кальция в цитоплазме возвращался к исходным значениям, характерным для потенциала покоя, после каждого отдельно взятого сокращения миофибрилл на исследуемом участке скелетной мышцы. В то же время действие пульсирующего магнитного поля с частотой 20 Гц и выше привело к возникновению тетануса, когда промежутки между сокращениями составляли настолько малый период времени, что одиночные сокращения сначала частично наслаивались друг на друга, а затем полностью слились. Во время магнитной стимуляции такой частоты уровень ионов кальция в цитоплазме не опускался до состояния покоя на протяжении всего периода импульсации [77–78].

Проверка этой гипотезы, заключающейся в том, что магнитная стимуляция в разном частотном диапазоне, адекватном для разных типов двигательных единиц, способна повысить эффективность силовой тренировки, стала основной целью исследования, проведенного учеными из ФГБОУ ВПО «РГУФКСМиТ» (г. Москва). Гипотеза проверялась на спортсменах с разной направленностью тренировочного процесса (велосипедисты ВМХ, прыгуны в длину с разбега). Магнитная стимуляция четырехглавых мышц бедра проводилась ежедневно в течение 10 дней. По результатам итогового тестирования на роботизированном биомеханическом комплексе с биологической обратной связью (БОС) прирост крутящего момента у

велосипедистов составил до 90 %, а у прыгунов – до 34 %. Авторы отметили, что стимуляция мышечного аппарата пульсирующим магнитным полем с частотой 60–70 Гц приводит к активации преимущественно быстрых мышечных волокон, сокращение которых обеспечивает скоростно-силовые качества выполняемых движений [79].

Изучая действие магнитного поля при периферической стимуляции на мышечные волокна спортсменов, исследователи из Южной Кореи заключили, что частота стимуляции тем ниже, чем продолжительнее одиночное мышечное сокращение. Таким образом, у спортсменов, тренирующих выносливость с преобладанием медленных мышечных волокон, частота стимуляции для возникновения гладкого тетануса ниже, чем у спортсменов с преобладанием быстрых мышечных волокон, тренирующих скоростно-силовые качества. Однако авторы отметили, что для спортсменов, у которых преобладают промежуточные мышечные волокна, частота стимуляции также может быть небольшой, так как суперпозиция мышечного напряжения достигается за счет асинхронности процессов возбуждения мышечных волокон [80].

В более поздней своей работе авторы отметили, что минимальный отрезок времени между стимулами магнитного поля для поддержания тетанического сокращения должен быть больше, чем рефрактерный период, который примерно равен длительности потенциала действия, т. е. 2–3 мс [34].

Анализируя зависимость между частотой стимуляции и силой мышечного сокращения, исследователи из Италии выявили корреляционную связь, согласно которой чем выше частота стимуляции, тем выше сила мышечного сокращения. Так, увеличив частоту стимуляции с 5 до 50 Гц, авторы отметили повышение силы мышечного сокращения на исследуемом участке скелетной мышцы до 8 раз. Полученные авторами результаты закономерны и не вызывают сомнений, так как единичное сокращение мышечного волокна, возникающее при изменении вольтажа и открытии потенциалзависимых натриевых каналов, подчиняется закону «все или ничего» – мышечное волокно либо сокращается при возникновении потенциала

действия, либо нет при слабой стимуляции. Увеличивая частоту стимуляции, исследователи способствовали активации большего количества мышечных волокон и суммации мышечного напряжения [81].

Несмотря на отсутствие регламентированных режимов воздействия на нервно-мышечный аппарат спортсменов, в физиотерапевтической практике сложилось представление, согласно которому режим постоянной стимуляции оказывает эффект подавления биоэлектрической активности, в то время как прерывистая стимуляция оказывает стимулирующий эффект, имитируя физиологический цикл сокращения-расслабления мышцы [82–84].

Исследование безопасности применения периферической магнитной стимуляции показало ряд ключевых моментов по данным ряда работ отечественных и зарубежных авторов, которые необходимо выделить. Необходимо учитывать нагревание тканей и охлаждающую способность магнитного стимулятора. К абсолютным противопоказаниям для проведения периферической магнитной стимуляции относятся беременность (расстояние «койл – беременная женщина» должно быть не менее 70 см), детский возраст до 2 лет, металлические импланты, подверженные нагреву, и имплантированные электронные устройства [85-88].

Таким образом, механизмы физиологического действия пульсирующего магнитного поля при проведении периферической магнитной стимуляции на нервно-мышечный аппарат активно изучаются в настоящее время. Анализ данных научной литературы показал, что терапевтические эффекты могут носить весьма разнообразный характер и зависят от режима магнитной стимуляции, частоты, интенсивности, а также ее продолжительности.

В научной литературе широко описано применение периферической магнитной стимуляции в клинической практике у пациентов с миофасциальными болевыми синдромами, заболеваниями опорно-двигательной системы (тендинит ротаторной манжеты, спондилоартроз, гонартроз), плечевой плексопатией, периферической нейропатической болью, острой и хронической болью в спине, постинсультной спастичностью, парезами, плегиями и дисфагиями [29, 76, 89–91]. Широкий спектр

положительных терапевтических эффектов делает перспективным её применение и в спортивной практике. Для специалистов в области спортивной медицины периферическая ритмическая магнитная стимуляция является новым методом восстановления нервно-мышечного аппарата, однако целесообразность его применения, как отмечают многие исследователи, не вызывает сомнений [92–93].

В настоящее время актуальными являются направления исследований, посвященных изучению влияния периферической магнитной стимуляции на процессы восстановления, повышения работоспособности и увеличения силовых возможностей мышечного аппарата. Варианты применения разнообразны, так как возможно паравертебральное, сегментарное воздействие, а также изолированная стимуляция определенных мышц [11, 93, 94].

Анализируя восстановление биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата у атлетов после спортивных травм с помощью различных электромиографических (ЭМГ) методик (поверхностная ЭМГ, стимуляционная ЭНМГ), И. В. Сысоева отметила перспективность применения высокоинтенсивной импульсной магнитотерапии в арсенале реабилитационных средств и методик, используемых в практической деятельности реабилитологов и врачей спортивной медицины [7].

Сравнивая между собой методики применения транскраниальной и периферической магнитной стимуляции, необходимо отметить, что в спортивной практике транскраниальное воздействие магнитного поля чаще используется именно с диагностической целью для оценки вызванных моторных ответов, регистрируемых с мышц верхних и нижних конечностей, тогда как периферическая стимуляция по большей части является физиотерапевтическим методом лечения [75, 95].

Опубликован ряд работ, посвященных изучению влияния ритмической магнитной стимуляции на периферическую гемодинамику и тонус сосудистого русла спортсменов. Так, в работе ученых из НИИ Спорта (ФГБОУ ВПО «РГУФКСМиТ», г. Москва) была проведена оценка динамики показателей периферического и центрального кровотока после месяца стимуляции четырехглавой мышцы бедра у

спортсменов высокоинтенсивным магнитным полем. Авторы выявили снижение показателей частоты сердечных сокращений и минутного объема крови. Кроме того, было выявлено статистически значимое снижение эластического сопротивления артериальной системы [96].

Помимо вышеперечисленных исследований, необходимо отметить ряд работ, в которых освещается применение периферической терапии импульсным магнитным полем при различных повреждениях опорно-двигательного аппарата, ассоциированных с действием систематических однонаправленных физических нагрузок.

Опубликовано несколько работ, посвященных применению периферической магнитной стимуляции у спортсменов разных видов спорта с миофасциальным болевым синдромом. Необходимо отметить, что несмотря на полученную положительную динамику в результатах лечения, авторы использовали разные методики терапевтической стимуляции. Так, в работе итальянских ученых процедуры периферической магнитной стимуляции проводились 5 раз в неделю в течение 2 недель, продолжительность процедуры составляла 20 минут. Использовался циркулярный койл для лечения мышечных тяжей (центр койла размещался над наиболее болезненной областью) и койл «восьмерка» для триггерных точек. Частота стимуляции 20 Гц, 100 стимулов на трейн (5 секунд), всего 4000 стимулов на процедуру. Перерыв между трейнами 25 секунд. Интенсивность подбиралась индивидуально на каждой процедуре – начиная с 15 % до 20–25 %. Применяя протокол с вышеуказанными параметрами, авторы отметили уменьшение и нивелирование у испытуемых болевого синдрома, а также пришли к выводу, что эффективность периферической магнитной стимуляционной терапии сопоставима с чрескожной электронейростимуляцией. Однако, анализируя посттерапевтическое действие через 1 и 3 месяца, авторы отметили более длительную эффективность метода в отсроченном периоде в отличие от чрескожной электронейростимуляции [97].

В работе канадских ученых процедуры периферической магнитной

стимуляции у спортсменов с миофасциальным болевым синдромом проводились каждый день на протяжении 10 дней. Продолжительность процедуры составляла 15 минут. Использовался только циркулярный койл, который размещался над наиболее болезненными участками мышц. Частота стимуляции 25 Гц, 75 стимулов на трейн (8 секунд), всего 3000 стимулов на процедуру. Перерыв между трейнами 40 секунд. Интенсивность подбиралась индивидуально в каждой процедуре – начиная с 10 % до 20 %. В конце терапии авторы отметили полное нивелирование болевого синдрома у 87 % испытуемых [25].

Учеными из Египта опубликована работа, посвященная применению периферической магнитной стимуляции у теннисистов с диагнозом «плечевая травматическая плексопатия». Было проведено 10 процедур на протяжении 2 недель (5 дней в неделю). Зона воздействия – верхний край трапециевидной мышцы. Используемый койл – «восьмерка». Магнитная стимуляция проводилась в 2 этапа по разным протоколам:

- 1 протокол (анальгетический): частота 15 Гц, длительность трейна – 10 секунд, длительность перерыва – 20 секунд, всего 1050 стимулов (7 трейнов). Интенсивность стимуляции подбиралась индивидуально;

- 2 протокол (миостимулирующий): частота 3 Гц, длительность трейна – 10 секунд, длительность перерыва – 30 секунд, всего 1500 стимулов (50 трейнов). Интенсивность стимуляции составляла 70 %.

После курса процедур авторы отметили купирование болевого синдрома, восстановление мышечной силы, регрессирование пареза, положительную динамику электронейромиографических параметров (снижение латентности, повышение амплитуды моторного ответа, увеличение скорости распространения возбуждения по моторным волокнам подмышечного, срединного и кожно-мышечного нерва). Кроме того, было выявлено нарастание терапевтической эффективности в отсроченном периоде [98].

Исследование сочетанного применения периферической и транскраниальной магнитной стимуляции у прыгунов в воду с карпальным туннельным синдромом

было проведено в США. Авторы разработали методику, согласно которой применялось периферическое воздействие – 4 процедуры в течение 2 месяцев, далее поддерживающая терапия каждые 6–8 недель. Использовался койл «восьмерка», частота 0,5 Гц, 400 стимулов на процедуру. Параллельно проводились сеансы транскраниальной магнитной стимуляции. Результаты исследования показали значительное снижение болевого синдрома, уменьшение сенсомоторных нарушений по параметрам стимуляционной электронейромиографии (Н-рефлекс, М-ответ) [99].

В другом исследовании проведен анализ эффективности применения периферической магнитной стимуляции у боксеров с острой болью в спине. Зона воздействия – наиболее болезненная область спины. Курс состоял из 10 процедур (5 процедур в неделю). Процедуры проводились с помощью койла «восьмерка». Протокол стимуляции: частота 20 Гц, длительность трейна – 5 секунд, перерыв между трейнами – 25 секунд, всего 4000 стимулов. Продолжительность стимуляции – 20 минут. Интенсивность стимуляции составляла 20 % в начале процедуры, затем увеличивалась на 5 % до максимально переносимого сокращения параспинальных мышц. В результате исследования авторы отметили уменьшение боли непосредственно после процедуры и восстановление функциональных возможностей опорно-двигательного аппарата. Авторы заключили, что эффект сохранялся и в отсроченном периоде [100].

Британскими учеными проведено исследование влияния применения периферической магнитной стимуляции на спортсменов силовых видов спорта, имеющих жалобы на хронические боли в поясничном отделе позвоночника. Стимуляция проводилась в зоне L4–L5, использовался койл «восьмерка». Положение спортсмена во время процедуры – лежа на животе. Протокол стимуляции: частота 20 Гц, длительность трейна – 10 секунд, перерыв между трейнами – 30 секунд, всего 6000 стимулов. Длительность процедуры – 20 минут. Интенсивность стимуляции 35–40 %. Курс – 3 процедуры в течение 1 недели. Рекомендации к проведению методики: сочетание с электромиостимуляцией и лечебной гимнастикой. В результате исследования авторы отметили уменьшение болевого синдрома сразу после

процедуры и в отсроченном периоде, а также улучшение моторного контроля [10].

Аналогичное исследование было проведено у молодых спортсменов-футболистов с диагнозом «люмбагия» на базе ФГАУ НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко (г. Москва). Однако отечественные исследователи применяли в своей работе низкочастотный протокол стимуляции (1–3 %). Авторы отметили значительное снижение болевого синдрома практически у всех спортсменов, принявших участие в исследовании [75].

Учеными из США разработан протокол применения периферической магнитной стимуляции у футболистов после пластики передней крестообразной связки. Зона стимуляции – коленный сустав на 4–6 день после операции. Используемый койл – «восьмерка». Протокол стимуляции: частота 10 Гц, длительность трейна – 1,5 секунды, перерыв между трейнами – 6 секунд, всего 3000 стимулов. Длительность процедуры – 25 минут. Интенсивность стимуляции подбиралась индивидуально по движению в коленном суставе. Курс – 15 процедур в течение 3 недель (5 процедур в неделю). Результаты поверхностной ЭМГ показали нарастание параметров биоэлектрической активности нервно-мышечного аппарата в динамике [101].

6. Показания к применению

- Снижение функциональных возможностей нейромышечного аппарата, вызванное интенсивными физическими нагрузками;
- Восстановление после травм;
- Миофасциальный болевой синдром;
- Синдромы микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности.

7. Противопоказания к применению

- Наличие в организме пациента металлических элементов или предметов, изготовленных с применением ферромагнетиков;
- Судорожные приступы в анамнезе либо приём препаратов, которые способны спровоцировать судорожные приступы;
- Наличие имплантированных устройств, управляющих физиологическими функциями организма (кардиостимулятор, кохлеарный имплант и др.);
- Острые инфекционные заболевания;
- Онкологические заболевания в анамнезе;
- Нарушение свертывания крови;
- Беременность и период лактации.

8. Методика применения периферической магнитной стимуляции у спортсменов различных специализаций для восстановления нейромышечного аппарата после физических нагрузок

Периферическая ритмическая магнитная стимуляция (ПРМС) проводится с помощью системы высокоинтенсивной магнитотерапии BTL-6000 Super Inductive System, вариант исполнения BTL-6000 Super Inductive System Elite (BTL Industries Ltd., United Kingdom). Процедура проводится в положении лежа на животе, центр койла располагается на минимальном расстоянии от кожных покровов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Процедура проведения ПРМС

Область стимуляции – пояснично-крестцовый отдел позвоночника. Выбор области воздействия обусловлен несколькими причинами. Во-первых, анатомическим расположением нервного сплетения, из которого берут начало малоберцовый и большеберцовый нервы, регулирующие работу мышц нижних конечностей. Во-вторых, поясничный отдел позвоночника является одной из самых подвижных частей тела и на него приходится 3/5 всей нагрузки на ОДА. Колоссальные физические нагрузки приводят к нарушению кровотока в микроциркуляторном звене и перенапряжению мышц торса у спортсменов [118–119]. При стимуляции указанной области применяется предустановленный протокол «Миорелаксация» (номер 1001), режим «последовательность», состоящий из 7 секций с заданными типами амплитудной модуляции (постоянная – постоянная –

трапецеидальная – трапецеидальная – постоянная – синусоидальная – постоянная). Было установлено, что последовательная смена режимов амплитудной модуляции, а также допороговая интенсивность магнитного стимула приводит к снижению эластического сопротивления артериальной системы, а также к снижению сосудистой нагрузки сердца [103, 120].

Модуляция частоты составляет 1–150 Гц. Выбор частотного диапазона был обусловлен анализом ряда работ, в которых изучалось влияние частоты магнитной стимуляции на повышение функциональных возможностей и восстановление нервно-мышечного аппарата после нагрузок. При этом в более ранних работах зарубежных авторов отмечено, что изменение частоты магнитного стимула не влияет на скорость расслабления мышечных волокон. Однако в более поздних публикациях увеличение частоты магнитного стимула приводит к росту параметров расслабления и снижению коэффициента утомления нервно-мышечного аппарата [25, 121–123].

Интенсивность стимула подбирается индивидуально, до достижения порога моторного ответа [20 (± 5) %], так как установлено, что снижение мощности магнитной стимуляции (допороговые значения) позволяет повысить его частоту, до 100–150 Гц [124], в результате чего появляется возможность не только воздействовать на биоэлектрическую активность мышц, но и на периферическую гемодинамику, что особенно актуально для ускорения процессов восстановления спортсменов. Общая продолжительность процедуры – 10 минут, количество сеансов – 5.

Предполагается, что в результате высокой скорости и частоты сокращений мышечных волокон нормализуются параметры периферической гемодинамики за счет изменения тонуса сосудов разного калибра и перфузии, что, в свою очередь, способствует ускорению выведения продуктов энергетического распада, следовательно, более быстрому восстановлению функционального состояния спортсменов. Интенсивность стимула для восстановления НМА после физических нагрузок подбирается индивидуально до достижения порога моторного ответа [20 (± 5) %]. Таким образом проводится пассивная стимуляция нервно-мышечного аппарата, не приводящая к рекрутированию дополнительных двигательных единиц и

активному сокращению мышечных волокон для исключения перегрузки элементов ОДА и нивелирования развития процессов утомления и переутомления.

9. Эффективность применения методики периферической магнитной стимуляции у спортсменов различных специализаций для восстановления нейромышечного аппарата после физических нагрузок

9.1. Организация и методы исследования

Исследование эффективности применения методики периферической магнитной стимуляции у спортсменов различных специализаций для восстановления нейромышечного аппарата после физических нагрузок проводилось в г. Кисловодск в условиях учебно-тренировочных сборов в ФГБУ «Юг Спорт» в подготовительный период тренировочного процесса. Все участники дали информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects (2013), а также разрешение на обработку персональных данных. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом по экспертизе биомедицинских исследований ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, протокол № 2 от 30.06.2023.

Всего в исследовании приняло участие 79 спортсменов, из них 50 мужского – возраст 17 (15; 24,5) лет – и 29 женского пола – возраст 20 (18; 27) лет, высокой квалификации (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта, мастера спорта международного класса), которые были разделены на основную группу (ОГ) и контрольную группу (КГ). Мужчины ОГ – 15 чел. и КГ – 35 чел., женщины ОГ – 10 чел. и КГ – 19 чел. Виды спорта: альпинизм, бадминтон, подводный спорт, тхэквондо, триатлон, водное поло.

9.2. Результаты исследования

Была проведена апробация применения ПРМС пояснично-крестцового отдела спортсменов для восстановления ОДА нижних конечностей. По результатам проведенного исследования с использованием контрольной группы была установлена безопасность данного метода и были выявлены эффекты применения 1-го сеанса и курса из 5 процедур высокоинтенсивной ПРМС у высококвалифицированных

спортсменов мужского и женского пола. Для обоснования эффективности применяемого метода ПРМС применялись стимуляционная ЭНМГ малоберцового и большеберцового нервов, реовазография сегментов нижних конечностей – стопы и голени, а также стабилотография (проба Ромберга с открытыми и закрытыми глазами).

При применении ПРМС мышц торса (пояснично-крестцовой области) у спортсменов-мужчин выявлены эффекты, направленные на нормализацию параметров гемодинамики и локальное расслабление (снижение активности) в отдельных сегментах нижних конечностей (повышение латентности, снижение амплитуды и площади М-ответа). Показатели вестибулярной устойчивости как с открытыми, так и с закрытыми глазами значительно улучшились. У женщин-спортсменов эффекты ПРМС так же, как и у мужчин, проявлялись в нормализации гемодинамики и расслаблении мышц нижних конечностей. Однако в отличие от мужчин параметры стабилотрии у них ухудшились, и для удержания стандартной позы Ромберга им требовалось приложить больших усилий, чем до применения ПРМС. По-видимому, это связано с тем, что мужчины, в отличие от женщин, способны удерживать равновесие в условиях меньшего напряжения мышц. Из этого можно заключить, что у мужчин-спортсменов наблюдался эффект физиологической экономизации деятельности НМА, заключающийся в проявлении высоких функциональных свойств (координации по удержанию стабильной позы) в состоянии незначительного мышечного напряжения.

Эффекты ПРМС, заключающиеся в усилении гемодинамики и частичном расслаблении мышц как у мужчин, так и у женщин, способствуют ускорению процессов срочного восстановления после интенсивных физических нагрузок.

Выявление особенностей применения ПРМС для восстановления НМА после физических нагрузок у спортсменов различных специализаций выявило некоторые различия между исследованными группами. У мужчин, занимающихся единоборствами и игровыми видами спорта, отмечались большие по сравнению со спортсменами циклических видов спорта изменения параметров функционального состояния ОДА нижних конечностей, заключающиеся в нормализации гемодинамики

и снижении параметров нервно-мышечной передачи. При сравнении эффектов ПРМС у женщин-спортсменов, занимающихся единоборствами и циклическими видами спорта, большие изменения по показателям гемодинамики и постуральной устойчивости выявлены у спортсменок, занимающихся единоборствами. Применение ПРМС у них больше способствовало нормализации параметров гемодинамики, которые до ее применения были ниже, а после пришли в границы физиологической нормы. По параметрам стабิโลграммы у спортсменок, занимающихся единоборствами, наблюдается снижение координации, а увеличение энергоемкости стабิโลграммы свидетельствует о необходимости приложения больших усилий по поддержанию стандартной позы.

9.3. Выводы

Апробированная методика может применяться для нормализации гемодинамики и расслабления мышц нижних конечностей после интенсивных тренировочных нагрузок у спортсменов и рекомендована для применения в целях восстановления при завершении интенсивного дня в тренировочных микро- и мезоциклах подготовки.

Библиография

- [1] Barker A.T. An introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation//Journal of clinical neurophysiology. – 1991. – V. 8. – № 1. – P. 26–37.
- [2] Новикова, Е.С. Радиотерапия малыми дозами хронического болевого синдрома при специфических и неспецифических заболеваниях опорно-двигательного аппарата / Е.С. Новикова, И.Д. Розанов // Медицинский алфавит. – 2019. – Т. 1. – № 2. – С. 58–58.
- [3] Lefaucheur J.-P., André-Obadia N., Antal A., Ayache S.S., Baeken C., Benninger D.H., Cantello R.M., Cincotta M., Carvalho M. de, De Ridder D., Devanne H., Di Lazzaro V., Filipović S.R., Hummel F.C., Jääskeläinen S.K., Kimiskidis V.K., Koch G., Langguth B., Nyffeler T., Oliviero A., Padberg F., Poulet E., Rossi S., Rossini P.M., Rothwell J.C., Schönfeldt-Lecuona C., Siebner H.R., Slotema C.W., Stagg C.J., Valls-Sole J., Ziemann U., Paulus W., Garcia-Larrea L. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS)//Clinical Neurophysiology. – 2014. – V. 125. – № 11, P. 2150–2206.
- [4] Возможности применения метода транскраниальной магнитной стимуляции в лечении хронических болевых синдромов / Пospelова М.Л., Касумова А.А., Фионик О.В. и др. // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 2. – С. 195–195.
- [5] Куташов, В.А. Применение транскраниальной магнитной стимуляции при комплексном лечении пациентов с ишемическим инсультом в позднем восстановительном периоде с лечебно-реабилитационных позиций / В.А. Куташов, О.В. Ульянова // Вестник физиотерапии и курортологии. – 2018. – Т. 24. – № 3. – С. 73–80.
- [6] Влияние длительной электрической и кратковременной электромагнитной стимуляции спинного мозга на параметры вызванных мышечных ответов человека / Рощина Л.В., Маркевич В.В., Иванов С.М. и др. // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2018. – № 2. – С. 121–128.
- [7] Сысоева, И.В. Электромиография как способ изучения влияния

магнитных полей на скелетную мускулатуру / И.В. Сысоева // Ученые записки: сб. рецензируемых науч. тр. / М-во спорта и туризма Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т физ. культуры [гл. ред. М. Е. Кобринский]. – Минск, 2009. – Вып. 12. – С. 359–367.

[8] Городничев, Р.М. Влияние электромагнитной стимуляции на показатели мышечной силы / Р.М. Городничев // Физиология человека. – 2014. – Т. 40. – № 1. – С. 76–76.

[9] Abulhasan, J.F. Peripheral electrical and magnetic stimulation to augment resistance training / Abulhasan J. F., Rumble Y. L., Morgan E. R. et al. // Journal of Functional Morphology and Kinesiology. – 2016. – V. 1. – № 3. – P. 328–342.

[10] Беляев, А.Г. Влияние магнитной стимуляции на силовые возможности скелетных мышц: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.03.01 / А.Г. Беляев. – Смоленск, 2015. – 22 с.

[11] Влияние магнитной стимуляции на аэробные возможности мышц / Попов Г.И., Малхасян Э.А., Маркарян В.С. и др. // Вестник Московского университета. Серия 23. Антропология. – 2013. – № 2. – С. 106–113.

[12] Jia, Y. Modulation of the corticomotor excitability by repetitive peripheral magnetic stimulation on the median nerve in healthy subjects / Jia Y., Liu X., Wei J. et al. // Frontiers in Neural Circuits. – 2021. – V. 15:616084.

[13] Zschorlich, V. R. Repetitive peripheral magnetic nerve stimulation (rPMS) as adjuvant therapy reduces skeletal muscle reflex activity / Zschorlich V.R., Hillebrecht M., Tanjour T. et al. // Frontiers in neurology. – 2019. – V. 10. – P. 930.

[14] Deng Z.-D., Lisanby S.H., Peterchev A.V. Electric field depth–focality tradeoff in transcranial magnetic stimulation: simulation comparison of 50 coil designs//Brain stimulation, 2013. – V. 6. – N1. – P. 1–13.

[15] Kolin, A. Stimulation of irritable tissues by means of an alternating magnetic field / A. Kolin, N.Q. Brill, P.J. Broberg // Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine. – 1959. – V. 102. – № 1. – P. 251–253.

[16] Bickford, R.G. Neuronal stimulation by pulsed magnetic fields in animals and man / R.G. Bickford, B.D. Fremming // Dig. 6th Int. Conf. Med. Electr. Biol.

Eng. 1965 – Tokyo, Japan. – 1965. – V.112.

[17] Возможности нейромодуляции при нейрогенной дисфункции нижних мочевыводящих путей / Ярин Г.Ю., Крейдин Е.И., Салюков Р.В. и др. // Вестник урологии. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. 106–121.

[18] Сорокин, Ю.Н. Транскраниальная магнитная стимуляция при хронических болевых синдромах / Ю.Н. Сорокин // Университетская клиника. – 2021. – № 2 (39). – С. 127–133.

[19] Опыт применения ритмической периферической магнитной стимуляции при пояснично-крестцовой радикулопатии / Блохина В.Н., Копачка М.М., Трошина Е.М. и др. // Нервно-мышечные болезни. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 31–38.

[20] Экстракорпоральная магнитная стимуляция нервно-мышечного аппарата тазового дна в урологической практике / Пушкарь Д.Ю., Куликов А.Г., Касян Г.Р. и др. // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2019. – Т. 18. – № 4. – С. 264–276.

[21] Щербакова, И.Л. История развития отделения нейрофизиологии / И.Л. Щербакова // Вестник Челябинской областной клинической больницы. – 2017. – № 1. – С. 4–8.

[22] Физиотерапевтические методы лечения цереброваскулярной патологии (обзор) / Бровко М.А., Чехонацкий А.А., Ковалев Е.П. и др. // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 370–374.

[23] Исторические аспекты развития электрохирургии / А.Г. Дубко, Н.А. Чвертко, А.В. Лебедев, А.В. Дудан // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2021. – № 11. – С. 94–101.

[24] Сорокина, Н.Д. Нейробиологические механизмы транскраниальной магнитной стимуляции и ее сравнительная эффективность при головной боли напряжения и мигрени / Н.Д. Сорокина, С.С. Перцов, Г.В. Селицкий // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2018. – Т. 26. – №

3. – С. 417–429.

[25] Beaulieu, L.D. Repetitive peripheral magnetic stimulation to reduce pain or improve sensorimotor impairments: A literature review on parameters of application and afferents recruitment / L.D. Beaulieu, C. Schneider // *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. – 2015. – V. 45. – № 3. – P. 223–237.

[26] Repetitive peripheral magnetic stimulation to improve ankle function and gait in cerebral palsy at adulthood: An open-label case study / J. Provencher, É.M. Beaulieu-Guay, S.D. Loranger, C. Schneider // *Brain Research*. – 2022. – V. 1792:147999.

[27] Checklist on the quality of the repetitive peripheral magnetic stimulation (rPMS) methods in research: an international delphi study / Schneider C., Zangrandi A., Sollmann N. et al. // *Frontiers in neurology*. – 2022. – V. 13. DOI: 10.3389/fneur.2022.852848.

[28] Acute effects of repetitive peripheral magnetic stimulation following low-intensity isometric exercise on muscle swelling for selective muscle in healthy young men / T. Hirono, T. Ikezoe, M. Taniguchi, S. Nojiri // *Electromagnetic Biology and Medicine*. – 2021. – V. 40. – № 3. – P. 420–427.

[29] Ритмическая трансспинальная магнитная стимуляция в терапии хронической боли в нижней части спины. Метаанализ (Часть II) / Ю.А. Меркулов, А.Е. Гореликов, А.А. Пятков, Д.М. Меркулова // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. – 2021. – Т. 65. – № 4. – С. 97–108.

[30] Сорокина, Н.Д. Физиологические корреляты нейро- и магнитостимуляции в терапии эпилепсии / Н.Д. Сорокина, С.С. Перцов, Г.В. Селицкий // *Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова*. – 2020. – Т. 28. – № 1. – С. 88–98.

[31] Кузнецов, В.В. Нейрофизиологические основы восстановления после инсульта и корригирующее влияние транскраниальной магнитной стимуляции / В.В. Кузнецов, Н.А. Скачкова, О.Р. Пилипенко // *The Journal of Neuroscience*. – 2017. – Т. 5. – № 3–4. – С. 53–62.

[32] Kanjanapanang, N. Peripheral magnetic stimulation / N. Kanjanapanang,

K.V. Chang // Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. – 2018. – P. 104.

[33] Кузнецова, С.М. Полушарные особенности влияния комбинированной ритмической транскраниальной и периферической магнитной стимуляции на биоэлектрическую активность головного мозга пациентов, перенесших инсульт / С.М. Кузнецова, Н.А. Скачкова, Д.Ю. Тархов // Международный неврологический журнал. – 2014. – № 1 (63). – С. 168–174.

[34] Kim, H. A dynamic calcium-force relationship model for sag behavior in fast skeletal muscle / H. Kim, C.J. Heckman // PLOS Computational Biology. – 2023. – V. 19. – № 6. DOI: 10.1371/journal.pcbi.1011178.

[35] Noble, D. Review of historic article: Ebashi, S & Endo, M. 1968 Calcium Ion and Muscle Contraction. Progress in Biophysics and Molecular Biology, 18, 123–183 / D. Noble // Progress in Biophysics and Molecular Biology. – 2022. – V. 171. – P. 24–25.

[36] Gao, S. Structural basis of the modulation of the voltage-gated calcium ion channel $Ca_v1.1$ by dihydropyridine compounds / S. Gao, N. Yan // Angewandte Chemie. – 2021. – V. 133. – № 6. – P. 3168–3174.

[37] Yamaguchi, N. Molecular insights into calcium dependent regulation of ryanodine receptor calcium release channels / N. Yamaguchi // Calcium Signaling. – 2020. – P. 321–336.

[38] Yonei, Y. Calcium and anti-aging medicine / Y. Yonei, B.G. Hadzaejva // Glycative Stress Research. – 2019. – V. 6. – № 2. – P. 113–125.

[39] Maximal voluntary activation of the elbow flexors is under predicted by transcranial magnetic stimulation compared to motor point stimulation prior to and following muscle fatigue / E.W. Cadigan, B.W. Collins, D.T. Philpott, G. Kippenhuck // Frontiers in physiology. – 2017. – V. 8. – P. 707.

[40] Lotz, M.M. Cell adhesion to fibronectin and tenascin: quantitative measurements of initial binding and subsequent strengthening response / M. M. Lotz // The Journal of cell biology. – 1989. – V. 109. – № 4. – P. 1795–1805.

[41] Barker, A.T. Frequency dependent modelling of single motor unit surface potentials / A.T. Barker, B.H. Brown, D.R. Hose // Proceedings of the First Joint

BMES/EMBS Conference.– IEEE, 1999. – V. 1. – P. 579.

[42] Loewenbrück, K. F. Nerve ultrasound in the differentiation of multifocal motor neuropathy (MMN) and amyotrophic lateral sclerosis with predominant lower motor neuron disease (ALS/LMND) / K.F. Loewenbrück, J. Liesenberg, M. Dittrich // *Journal of neurology*. – 2016. – V. 263. – P. 35–44.

[43] Magnetically induced muscle contraction is caused by motor nerve stimulation and not by direct muscle activation / J. Machetanz, C. Bischoff, R. Pichlmeier, H. Riescher // *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*. – 1994. – V. 17. – № 10. – P. 1170–1175.

[44] Pan, J. X. Application of repetitive peripheral magnetic stimulation for recovery of motor function after stroke based on neuromodulation: a narrative review / J.X. Pan, Y.B. Jia, H. Liu // *Brain Network and Modulation*. – 2022. – V. 1. – № 1. – P. 13.

[45] El Nahas, N. Peripheral magnetic theta burst stimulation to muscles can effectively reduce spasticity: a randomized controlled trial / N. El Nahas, F.F. Kenawy, E.H. Abd Eldayem // *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. – 2022. – V. 19. – № 1. – P. 1–7.

[46] Struppler, A. Modulation of sensorimotor performances and cognition abilities induced by RPMS: clinical and experimental investigations / A. Struppler, B. Angerer, P. Havel // *Supplements to Clinical neurophysiology*. – 2003. – V. 56. – P. 358–367.

[47] Body representation underlies response of proprioceptive acuity to repetitive peripheral magnetic stimulation / Y. Xia, K. Tanaka, M. Yang, S. Izumi // *Frontiers in Human Neuroscience*. – 2022. – V. 16. DOI: 10.3389/fnhum.2022.924123.

[48] Asao, A. Time course changes in corticospinal excitability during repetitive peripheral magnetic stimulation combined with motor imagery / A. Asao, K. Wada, T. Nomura // *Neuroscience Letters*. – 2022. – V. 771:136427.

[49] Electroencephalography mu rhythm changes and decreased spasticity after repetitive peripheral magnetic stimulation in patients following stroke / S. Chen, Y. Li, X. Shu, C. Wang // *Frontiers in neurology*. – 2020. – V. 11:546599.

[50] Li, J. Evaluating the effects of 5-Hz repetitive transcranial magnetic stimulation with and without wrist-ankle acupuncture on improving spasticity and motor function in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial / J. Li, C. Chen, S. Zhu // *Frontiers in Neuroscience*. – 2021. – V.15:771064. DOI: 10.3389/fnins.2021.771064.

[51] Marz-Loose, H. Repetitive peripheral magnetic stimulation: Treatment option for spasticity? / H. Marz-Loose, H. Siemes // *Der Nervenarzt*. – 2009. – V.80(12):1489-95. DOI: 10.1007/s00115-009-2835-9.

[52] Krause, P. Effects of conditioning peripheral repetitive magnetic stimulation in patients with complex regional pain syndrome / P. Krause, S. Foerderreuther, A. Straube // *Neurological research*. – 2005. – V.27(4):412-7. DOI: 10.1179/016164105X17224.

[53] Юсупов, Ф.А. Роль физических факторов в лечении и реабилитации больных с острым нарушением мозгового кровообращения / Ф.А. Юсупов, А.А. Юлдашев, Г.М. Ормонова // *The Scientific Heritage*. – 2022. – № 86–2. – С. 21–29.

[54] Скачкова, Н.А. Полушарные особенности влияния комбинированной ритмической транскраниальной и периферической магнитной стимуляции на церебральную гемодинамику у пациентов, перенесших инсульт / Н.А. Скачкова // *Кровообращение и гемостаз*. – 2014. – № 1–2. – С. 52–58.

[55] Алексеева, Л.И. Инновационные технологии на основе магнитотерапии в комплексном лечении пациентов травматолого-ортопедического и ревматологического профиля / Л.И. Алексеева, Ю.Ю. Бяловский, Н.В. Загородний // IX Научно-практическая конференция с международным участием Приоровские чтения 2021 "Ортобиология" совместно с конференцией молодых ученых. – Воронеж. – 2022. – С. 122–149.

[56] Иванов, Д.В. Избранные вопросы магнитотерапии (краткий обзор литературы) / Д.В. Иванов, С.В. Токарева // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. – 2021. – Т. 15. – №. 4. – С. 94–102.

[57] Алексеева, Л. И. Применение магнитотерапии в комплексном лечении и реабилитации больных остеоартритом (по материалам консенсуса

специалистов для терапевтов и врачей общей практики поликлиник) / Л.И. Алексеева, А.М. Лиля, А.Л. Вёрткин // Медицинский алфавит. – 2021. – № 7. – С. 31–35.

[58] Водолазова, О.С. Физические основы магнитотерапии как метода реабилитации / О.С. Водолазова, Д.З. Закирова // Студент-Исследователь. Филлин: физкультура, личность, наука. – 2020. – С. 182–186.

[59] Щеглов, Г.А. Обзор исследований в области воздействия электромагнитных полей на живые организмы / Г.А. Щеглов // Сборник Региональной научно-практической конференции студенческой научной школы филиала МАГУ в г. Апатиты. Отв. ред. И.В. Вицентий. – Изд-во филиала МАГУ в г. Апатиты. – 2021. – С. 107–116.

[60] Корчажкина, Н.Б. Сочетанное применение транскраниальной магнитотерапии бегущим реверсивным магнитным полем и синхронизированной офтальмохромотерапии для улучшения когнитивных способностей у спортсменов боевых видов с периферическими дистрофиями сетчатки / Н.Б. Корчажкина, В.В. Кацнельсон, А.В. Дракон // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2018. – № 1. – С. 171–174.

[61] Михеев, А. А. Влияние вибрационной тренировки в сочетании с общей магнитотерапией на функциональное состояние спортсменов / А.А. Михеев, Н.А. Михеев, Г.В. Антонов // Научные труды НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь / М-во спорта и туризма Респ. Беларусь и др.; под общ. ред. Н. Г. Кручинского. – Минск, 2012. – Вып. 11. – С. 160–165. – Библиогр.: с. 165.

[62] Сафонов, Л.В. Комбинированное применение низкочастотной магнитотерапии и прессотерапии для повышения эффективности восстановления у высококвалифицированных спортсменов / Л.В. Сафонов // Вестник спортивной науки. – 2014. – № 1. – С. 47–50.

[63] Зубовский, Д. К. Использование магнитотерапии в восстановлении и повышении работоспособности спортсменов / Д.К. Зубовский // Современные проблемы реабилитации и спортивной медицины: материалы Республиканской научно-практической конференции, посвященной 50-летию кафедры медицинской

реабилитации УО «ГрГМУ», 31 октября 2012 г. – Гродно. – 2012. – С. 52–58.

[64] Актуальные вопросы применения магнитотерапии в педиатрии / Хан М.А., Иванов А.В., Рассулова М.А. и др. // Вестник восстановительной медицины. – 2015. – № 6. – С. 42–47.

[65] Магнитотерапия. Теоретические основы и практическое применение / В.С. Улащик, А.С. Плетнев, Н.В. Войченко, С.В. Плетнев. – Минск : Беларуская навука, 2015. – 379 с.

[66] Зубкова, С.М. Современные аспекты магнитотерапии / С.М. Зубкова // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2004. – № 2. – С. 3–10.

[67] Акылбекова, Т.К. Транскраниальная магнитная стимуляция при лечении эпилепсии / Т.К. Акылбекова // Школа Науки. – 2021. – № 5. – С. 24–29.

[68] Ухов, Ю.И. Исследование реакции регуляторных систем на магнитный стимул с изменяющимися параметрами у здоровых лиц 18–19 лет / Ю.И. Ухов, О.В. Крапивникова, Н.С. Косицын // Наука молодых–Eruditio Juvenium. – 2013. – № 1. – С. 12–19.

[69] Евстигнеев, В.В. Транскраниальная магнитная стимуляция в комплексной терапии эпилепсии / В.В. Евстигнеев, О.В. Кистень // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. – 2013. – Т. 7. – № 2. – С. 20–26.

[70] Блохина, В.Н. Применение ритмической периферической магнитной стимуляции (рПМС) / В.Н. Блохина, С.Г. Николаев, А.Н. Кузнецов, Э.Г. Меликян // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. – 2016. – Т. 11. – № 3. – С. 111–117.

[71] Безопасность и переносимость различных протоколов высокочастотной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции / Бакулин И.С., Пойдашева А.Г., Лагода Д.Ю. и др. // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2019. – № 1. – С. 26–37.

[72] Ритмическая транскраниальная магнитная стимуляция в терапии нейропатической боли, сопровождающейся коморбидной депрессией: обзор эффективных параметров лечебных протоколов / Астафьева Д.С., Власов Я.В.,

- Стрельник А.И. и др. // Нервно-мышечные болезни. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 20–30.
- [73] Безопасность транскраниальной магнитной стимуляции: обзор международных рекомендаций и новые данные / Н.А. Супонева, И.С. Бакулин, А.Г. Пойдашева, М.А. Пирадов // Нервно-мышечные болезни. – 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 21–36.
- [74] Опыт применения ритмической периферической магнитной стимуляции в лечении парезов на уровне стопы при нижнепоясничной радикулопатии. Обзор литературы / А.В. Кузюбердин, С.М. Карпов, А.А. Шатохин, И.А. Вышлова // Вестник восстановительной медицины. – 2022. – Т. 21. – № 1. – С. 70–78.
- [75] Оценка лечебного потенциала ритмической магнитной стимуляции на уровне пояснично-крестцовых сегментов позвоночника у молодых спортсменов с болевым синдромом / Копачка М.М., Пилчева А.В., Трошина Е.М. и др. // Российский кардиологический журнал. – 2022. – Т. 27. – № S5. – С. 12–13.
- [76] Сравнительный анализ возбудимости корешковой и внутримышечной аксональной систем у здоровых добровольцев при периферической магнитной стимуляции / Блохина В.Н., Кузнецов А.Н., Виноградов О. И. и др. // Нервно-мышечные болезни. – 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 48–53.
- [77] Ozawa, E. Reversible stimulation of muscle phosphorylase b kinase by low concentrations of calcium ions / E. Ozawa, K. Hosoi, S. Ebashi // The Journal of Biochemistry. – 1967. – V.61(4):531-3. DOI: 10.1093/oxfordjournals.jbchem.a128582.
- [78] Ozawa, E. Regulation of phosphorylase kinase by low concentrations of Ca ions upon muscle contraction: the connection between metabolism and muscle contraction and the connection between muscle physiology and Ca-dependent signal transduction / E. Ozawa // Proceedings of the Japan Academy, Series B. – 2011. – V.87(8):486–508. DOI: 10.2183/pjab.87.486.
- [79] Биомеханические следствия воздействия магнитной стимуляции на мышцы спортсменов / Э.А. Малхасян, А.Ю. Вагин, В.С. Маркарян, Г.И. Попов // Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте. – 2014.

– С. 54–59.

[80] Calcium-driven DNA artificial muscle inspired by natural muscle contraction / Kim E., Jang Y., Kim H. et al. // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2022. – V. 371:132556. DOI:10.1016/j.snb.2022.132556.

[81] Therapeutic effects of peripheral repetitive magnetic stimulation on myofascial pain syndrome / Smania N., Corato E., Fiaschi A. et al. // *Clinical neurophysiology*. – 2003. – V. 114(2):350–8. DOI: 10.1016/s1388-2457(02)00367-x.

[82] Bergstrom, M. Energy cost and fatigue during intermittent electrical stimulation of human skeletal muscle / M. Bergstrom, E. Hultman // *Journal of applied physiology*. – 1988. – V. 65(4):1500–5. DOI: 10.1152/jappl.1988.65.4.1500.

[83] Effect of functional continuous magnetic stimulation for urinary incontinence / T. Yamanishi, K. Yasuda, S. Suda, N. Ishikawa // *The Journal of urology*. – 2000. – V. 163(2):456–9.

[84] Turi, Z. Selecting stimulation intensity in repetitive transcranial magnetic stimulation studies: A systematic review between 1991 and 2020 / Z. Turi, M. Lenz, W. Paulus // *European Journal of Neuroscience*. – 2021. – V. 53(10):3404–3415. DOI: 10.1111/ejn.15195.

[85] A randomized controlled trial of repetitive peripheral magnetic stimulation applied in early subacute stroke: effects on severe upper-limb impairment / Y.F. Jiang, D. Zhang, J. Zhang et al. // *Clinical rehabilitation*. – 2022. – V.36(5):693–702. DOI: 10.1177/02692155211072189.

[86] Repetitive peripheral magnetic stimulation with intensive swallowing rehabilitation for poststroke dysphagia: an open-label case series / R. Momosaki, M. Abo, S. Watanabe, W. Kakuda // *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*. – 2015. – V. 18(7):630–4; discussion 634-5. DOI: 10.1111/ner.12308.

[87] Патент № 2012140656/14. Российская Федерация. Способ электромагнитной стимуляции центральной и периферической нервной системы: заявлено 21.09.2012; опубликовано 27.11.2013 / Бажанов С.П., Ульянов В.Ю., Нинель В.Г., Островский В.В.

[88] Возможности периферической магнитной нейромодуляции в лечении симптомов нижних мочевых путей у мужчин / Лабетов И.А., Ковалев Г.В., Шульгин А.С. и др. // Вестник урологии. – 2021. – Т. 9. – № 4. – С. 51–59.

[89] Анализ эффективности анальгезирующего действия физиотерапевтических и интервенционных методов лечения ряда наиболее часто встречаемых болевых синдромов в неврологической практике / Аношина Е.А., Михайленко А.А., Самарцев И.Н. и др. // Вестник Российской военно-медицинской академии. – 2019. – № S3. – С. 16–18.

[90] Живолупов, С.А. Медицинская реабилитация при заболеваниях и травмах нервной системы / С.А. Живолупов, И.Н. Самарцев, А.П. Коваленко // Victims in Emergency Situations. – 2014. – С. 430.

[91] Гореликов, А.Е. Магнитная стимуляция в лечении и реабилитации больных с заболеваниями нервной системы и позвоночника / А.Е. Гореликов, Е.А. Мельникова, И.М. Рудь // Доктор. Ру. – 2017. – № 11 (140). – С. 46–50.

[92] Clinical application of repetitive peripheral magnetic stimulation in rehabilitation / Ushio R., Tamura K., Fujikawa S. et al. // Neurorehabilitation and Physical Therapy. – 2022. DOI: 10.5772/intechopen.105787.

[93] Ланская, О.В. Особенности вызванных ответов скелетных мышц у представителей различных видов спорта при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических структур нервной системы / О.В. Ланская, Е.В. Ланская // Наука и спорт: современные тенденции. – 2017. – Т. 16. – № 3. – С. 39–46.

[94] Ковылин, М.М. Использование магнитной стимуляции для повышения силовых возможностей мышц опорно-двигательного аппарата велосипедистов / М.М. Ковылин, Э.А. Малхасян, В.С. Маркарян // Теория и практика физической культуры. – 2011. – № 11. – С.12–24.

[95] Городничев, Р.М. Магнитная стимуляция головного мозга как новый метод диагностики функционального состояния двигательной системы спортсменов / Р.М. Городничев, Р.Н. Фомин, Д.А. Петров // Теория и практика физической культуры. – 2007. – № 1. – С. 2–5.

[96] Гемодинамические и сосудистые эффекты при магнитной стимуляции мышц бедер / Орел В.Р., Попов Г.И., Малхасян Э.А. и др. // Научно-практический конгресс. – 2014. – С. 243.

[97] Орел, В.Р. Изменения сосудистой нагрузки сердца у спортсменов при магнитной стимуляции мышц бедер / В.Р. Орел, Г.И. Попов, В.С. Маркарян // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23. – № 2. – С. 114–119.

[98] Therapeutic effects of peripheral magnetic stimulation on traumatic brachial plexopathy: clinical and neurophysiological study / Khedr E.M., Ahmed M.A., Alkady E.A.M. et al. // Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology. – 2012. – V. 42(3):111–8. DOI: 10.1016/j.neucli.2011.11.003

[99] Krivickas, L.S. Peripheral nerve injuries in athletes: a case series of over 200 injuries / L.S. Krivickas, A.J. Wilbourn // Seminars in neurology. – 2000. V.20(2):225–32. DOI: 10.1055/s-2000-9832

[100] Understanding the consequences of repetitive subconcussive head impacts in sport: brain changes and dampened motor control are seen after boxing practice / Di Virgilio T. G., Ietswaart M., Wilson L., et al. // Frontiers in human neuroscience. – 2019. – V.13:294. DOI: 10.3389/fnhum.2019.00294

[101] Peripheral nerve injuries in sports-related surgery: presentation, evaluation, and management: AAOS exhibit selection / Maak T.G., Osei D., Delos D. et al. // JBJS. – 2012. – V. 94(16):e1211–10. DOI: 10.2106/JBJS.K.01448.

Библиографические данные

УДК 61:796/799

Ключевые слова: спортсмены, ритмическая магнитная стимуляция, периферическая магнитная стимуляция.