

УДК 796.01:612

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ МОТОРНОЙ СИСТЕМЫ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ СПОРТА

Р.М. Городничев, А.Г. Беляев, Е.А. Михайлова, В.Ю. Ершов, В.Н. Шляхтов

ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»,

Великие Луки, Россия

Для связи с авторами: E-mail: gorodnichev@vlgafc.ru.

Аннотация:

Выявлены изменения параметров вызванных моторных ответов (ВМО) при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) у бегунов на короткие и средние дистанции в течение годового цикла тренировки. Установлена зависимость динамики порога и амплитуды ВМО мышц при ТМС от периода тренировки и значимости спортивных соревнований. Описан новый способ развития мышечной силы с помощью электромагнитной стимуляции (ЭМС) мышц на фоне их произвольного сокращения. У испытуемых экспериментальной группы (ЭГ) во время тренировочных упражнений (плантарная флексия стопы) *m.gastrocnemius* подвергалась ЭМС. Испытуемые контрольной группы (КГ) при выполнении аналогичных упражнений ЭМС не получали. Пятнадцатидневная тренировка привела к более значительному приросту силового вращательного момента у испытуемых ЭГ (на 19,4 %) в сравнении с КГ.

Ключевые слова: вызванные моторные ответы, электромагнитная стимуляция, вращательный момент, моторная система, электромиографическая активность.

ELECTROMAGNETIC STIMULATION OF MOTOR SYSTEM AS A RESEARCHING METHOD OF SPORT PROBLEMS

R.M. Gorodnichev, A.G. Belyaev, E.A. Mikhailova, V.Y. Ershov, V.N. Shlyakhtov
VelikiyeLuki State Academy of Physical Education and Sports, Velikiye Luki, Russia

Abstract:

The changing of Motor Evoked Potentials (MEP) parameters by transcranial magnetic stimulation (TMS) of short- and middle-distancerunners during the one year training cycle was revealed. The dependence of threshold and maximal amplitude of MEP by TMS from different periods of training and significance of the sport competitions was revealed. A new tool for muscular strength development by electromagnetic stimulation (EMS) of muscles during voluntary contraction has been described. *M. gastrocnemius* of subjects of experimental group (EG) was exposed to EMS during training exercises (plantar flexion). The subjects of control group (CG) did not receive the EMS during the same muscle training. The torque of plantar flexion of EG subjects increased significantly (19.4%) during 15 days training versus CG subjects.

Key words: motor evoked potentials, electromagnetic stimulation, torque, motor system, electromiographycal activity.

Использование высокоинтенсивной электромагнитной стимуляции (ЭМС) различных структур ЦНС началось в 1985 году после создания серии приборов, позволяющих активировать разные отделы головного и спинного мозга и вызывать сокращения скелетных мышц [1, 3]. В последние годы появились электромагнитные стимуляторы, способные генерировать переменное магнитное поле с мощностью до 4 Тесла (Т), что существенно расширило возможности использования этого метода в научных и прикладных клинических исследованиях. Сегодня ЭМС разных

отделов ЦНС и периферических нервов стала общедоступным методом и широко применяется в диагностике неврологических заболеваний, нейрохирургическом мониторинге, в педиатрии, психологии и других сферах. В ряде исследований методика ЭМС использовалась для изучения механизмов управления произвольными движениями и мышечного утомления [4, 5]. Имеющиеся сведения позволяли предполагать, что ЭМС может быть использована для оценки функционального состояния моторной системы и развития двигательных качеств. Исследования

с такими целевыми установками были развернуты в Великолукской государственной академии физической культуры и спорта в 2006 году.

На первом этапе исследований были изучены специфические изменения вызванных моторных ответов (ВМО) скелетных мышц при электромагнитной стимуляции. Установлено, что лица с высоким уровнем спортивного мастерства отличаются от менее квалифицированных спортсменов более значительной амплитудой моторных ответов, вызываемых электромагнитной стимуляцией [6]. Элитные спортсмены имели низкие пороги возбуждения при ЭМС моторной зоны коры головного мозга.

На следующем этапе исследований была предпринята попытка изучить изменения ВМО при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) в течение годичного цикла тренировки бегунов на короткие и средние дистанции. Известно, что физические нагрузки играют роль основного стимула, вызывая специфические перестройки в организме спортсмена. Направленность и величина изменений, происходящих в ответ на применяемые нагрузки, определяют тренировочный эффект, а значит, в свою очередь, влияют на совершенствование моторного контроля произвольных спортивных движений. Бессистемное использование нагрузок без учета последствий может негативно отражаться на процессе адаптации организма спортсменов в годичном цикле подготовки, что в итоге не позволяет им в полной степени реализовывать свои возможности в условиях соревнований [8]. Понимание физиологических механизмов адаптации различных уровней нейромоторной системы спортсменов к выполняемым нагрузкам может использоваться для прогнозирования и коррекции тренировочного процесса.

Число активных двигательных единиц определяется интенсивностью возбуждающих влияний на мотонейроны мышцы со стороны моторной коры, подкорковых моторных центров и внутриспинальных моторных путей и периферических рецепторов [7]. В связи с этим оценка функционального состояния нервно-мышечного аппарата спортсменов должна осуществляться на всех уровнях ЦНС. Особенно важное значение имеет диагностика состояния моторной коры головного мозга.

В специальной серии исследований у спортсменов-легкоатлетов ($n=16$) в состоянии покоя были зарегистрированы ВМО следующих мышц: soleus, gastrocnemius и tibialis anterior при ТМС. Легкоатлеты специализировались в беге на 100 и 200 м ($n=4$), в беге на 200 и 400 м ($n=6$) и 400 и 800 м ($n=6$).

При анализе ВМО у спортсменов, специализирующихся в беге на различные дистанции, выявлено, что максимальная амплитуда ВМО m. soleus и m.gastrocnemius при электрической стимуляции спинного мозга (СМ) превышала значения, вызываемые при магнитной стимуляции моторной коры (ТМС) у всех исследуемых групп. Амплитуда ВМО m. tibialis anterior при электрической стимуляции СМ была наименьшей среди всех тестируемых мышц, а при ТМС моторной коры – наибольшей (рис.1).

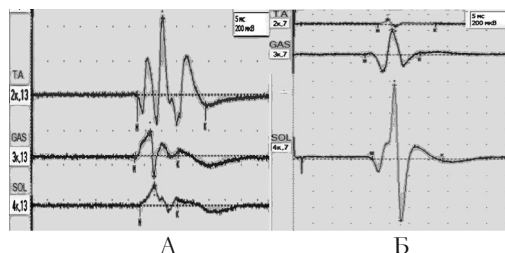


Рис. 1. Типичные записи ВМО при ТМС моторной коры (А) и электрической стимуляции спинного мозга (Б)

Амплитуда ВМО при ТМС m. tibialis anterior имела статистически значимые различия в группах бегунов на 100 и 200 м и 200 и 400 м ($p<0,01$). В группе короткого спринта амплитуда ВМО m. tibialis anterior равнялась 1,73 мВ, в группе длинного спринта – 0,24 мВ. В группе бегунов на 400 и 800 м амплитуда ВМО m. tibialis anterior (1,27 мВ) достоверно превышала данный показатель группы бегунов на 200 и 400 м ($p<0,05$). Амплитуда ВМО m. gastrocnemius в группе длинного спринта была достоверно ниже, чем у бегунов на средние дистанции (0,25 и 0,35 мВ соответственно). Амплитуда ВМО при ТМС m. soleus в исследуемых группах достоверно не различалась, но более высокие показатели были зарегистрированы у бегунов на средние дистанции.

Трансформация изменений, развивающихся в организме в процессе тренировки в кумулятивные сдвиги, собственно, и обеспечивает повышение подготовленности и спортивных ре-

зультатов [9]. Именно поэтому представляется важным не только определить сами показатели состояния функциональных систем, но и найти способы оценивать эти процессы трансформации. В течение осенне-зимнего цикла подготовки была исследована динамика ВМО при ТМС у спортсменов, специализирующихся в беге на дистанциях 200 и 400 м (n=6) и 400 и 800 м (n=6). Регистрация показателей осуществлялась в начале (фон) и середине подготовительного периода, а также в соревновательном периоде. На этапе зимних соревнований регистрация ВМО проводилась до (20.12.12) и после чемпионата области (24.12.12), а также до (17.01.13) и после чемпионата Северо-западного федерального округа (21.01.13).

Амплитуда ВМО при ТМС *m. tibialis anterior* у бегунов на 200-400 м в середине подготовительного периода достоверно увеличилась на 8,3%. Перед первыми соревнованиями произошло еще большее увеличение показателя, прирост составил 41,6% относительно фона (p<0,05). После соревнований произошло недостоверное снижение амплитуды и перед следующими соревнованиями показатель не изменился. После второго старта амплитуда достоверно увеличилась на 79,1% относительно фона (табл.1). Динамика амплитуды *m. gastrocnemius* у бегунов данной группы в подготовительном периоде, наоборот, была снижена, но изменения статистически не достоверны. Перед первыми соревнованиями произошло увеличение амплитуды на 32% (p<0,05), а после соревнований показатель снизился. Изменения амплитуды *m. soleus* в осенне-зимнем цикле идентичны изменениям *m. gastrocnemius*, достоверные изменения выявлены только перед первыми соревнованиями.

Амплитуда всех тестируемых мышц достоверно изменилась перед первыми соревнованиями, но наибольшие изменения характерны для *m. tibialis anterior*. После вторых соревнований более значимые изменения произошли в этой же мышце.

В группе бегунов, совмещающих бег на 400 и 800 м, выявлены более значимые изменения амплитуды ВМО *m. tibialis anterior* в подготовительном периоде, чем у спортсменов первой группы, снижение амплитуды составило 29,2% (p<0,05). Снижение амплитуды после первых стартов составляло 41% (p<0,05). Динамика изменений амплитуды ВМО *m. tibialis anterior* в соревновательном периоде у спортсменов обеих групп имела однонаправленный характер. Интересным является то, что после первых соревнований амплитуда ВМО *m. tibialis anterior* снижалась, а после вторых увеличивалась у спортсменов обеих групп (табл. 1).

Наибольший интерес представляет динамика амплитуды ВМО *m. gastrocnemius* во второй группе, т.к. изменения имеют противоположный характер относительно первой группы спортсменов. В подготовительном периоде в группе бегунов на 400 и 800 м произошло значимое увеличение амплитуды ВМО на 88,5%, перед первыми соревнованиями показатели амплитуды ВМО снизились относительно фона на 20%, а после соревнований произошло повышение на 11,4%. После вторых соревнований изменения амплитуды *m. gastrocnemius* у бегунов на 400 и 800 м имели характер, идентичный изменениям *m. tibialis anterior*. Произошло повышение данного показателя на 60% (p<0,05).

Наиболее значимые изменения амплитуды *m. soleus* у данной группы спортсменов произошли

Таблица 1 – Динамика амплитуды ВМО при ТМС в осенне-зимнем тренировочном цикле M±σ (мВ)

Мышцы	Фон	Середина подготовительного периода	Соревновательный период			
			Перед первыми соревнованиями 20.12.12	После первых соревнований 24.12.12.	Перед вторыми соревнованиями 17.01.13	После вторых соревнований 21.01.13.
Бегуны на 200 и 400м (n=6)						
Tibialis anterior	0,24±0,04	0,26±0,04*	0,34±0,03*	0,27±0,05	0,27±0,04	0,43±0,07*
Gastroc.	0,25±0,03	0,23±0,01	0,33±0,03*	0,27±0,02	0,28±0,02	0,18±0,03
Soleus	0,12±0,01	0,12±0,009	0,16±0,01*	0,11±0,01	0,14±0,02	0,13±0,01
Бегуны на 400 и 800м (n=6)						
Tibialis anterior	1,27±0,06	0,90±0,19*	0,99±0,11*	0,74±0,20*	0,79±0,14*	1,42±0,21
Gastroc.	0,35±0,07	0,66±0,08*	0,28±0,05	0,39±0,05	0,45±0,04	0,56±0,16*
Soleus	0,16±0,02	0,14±0,02	0,43±0,06*	0,16±0,04	0,19±0,02	0,17±0,02

Примечание: * - достоверность отличий p<0,05 относительно фона

ли перед первыми соревнованиями, прирост составил 168,7% ($P < 0,05$). В подготовительном периоде и во время вторых соревнований статистически значимых изменений в этой мышце не выявлено.

Таким образом, изменения параметров ВМО на разных уровнях моторной системы различны в исследуемых группах спортсменов, а также между тестируемыми мышцами внутри группы. Наиболее выраженные изменения перед соревнованиями в группе бегунов на 200 и 400 м выявлены в амплитуде *m. tibialis anterior*, а у бегунов на 400 и 800 м – *m. soleus*. Установленные различия параметров ВМО у бегунов на различные дистанции отражают специфику адаптивных процессов в состоянии электрической активности нервно-мышечного аппарата, что обусловлено направленностью тренировочных и соревновательных нагрузок легкоатлетов-бегунов.

По мнению ряда авторов, одним из наиболее важных двигательных качеств спортсмена, которое определяет результат во многих видах спорта, является мышечная сила [9, 10]. В проведенных ранее исследованиях, в которых электромагнитная стимуляция наносилась на различные структуры ЦНС и скелетные мышцы в состоянии покоя, продемонстрирована возможность увеличения силы мышц при электромагнитном воздействии [11]. Представлялось логичным выяснить возможность развития силы скелетных мышц при их электромагнитной стимуляции непосредственно во время выполнения произвольного двигательного действия.

В исследовании по развитию силовых возможностей приняли участие 18 здоровых, регулярно тренирующихся мужчин в возрасте 19-28 лет, которые дали письменное информированное согласие на участие в эксперименте. Все участники эксперимента были разделены на две группы: контрольную (КГ) и экспериментальную (ЭГ), по 9 человек в каждой. В течение пятнадцати тренировочных дней все испытуемые выполняли плантарную флексию стопы (концентрическое сокращение) с усилием 80% от максимального вращательного момента на мультисуставном лечебно-диагностическом комплексе «Biodex» (Biodex, USA, 2006). Каждая тренировка включала 10 мышечных сокращений с интервалом отдыха между ними в 50 секунд.

В процессе плантарной флексии испытуемым ЭГ наносились электромагнитные стимулы с помощью магнитного стимулятора «Magstim 200». Использовалась катушка диаметром 50 мм, которая располагалась на медиальной и латеральной головке *m. gastrocnemius*. Испытуемые КГ выполняли аналогичные тренировочные занятия с ЭГ, но их мышцы не подвергались электромагнитному воздействию.

У испытуемых обеих групп до начала тренировок и после 5, 10, 15 тренировочных занятий, а также на 3, 6, 13, 24, 35-й день после окончания тренировок регистрировались: Н-рефлексы и М-ответы мышц *gastrocnemius* (GM) и *soleus* (SOL); максимальный силовой момент. Н-рефлексы и М-ответы мышц голени вызывались по традиционной методике путем стимуляции *n. tibialis*. Во время выполнения произвольного максимального силового момента записывалась биоэлектрическая активность мышц голени.

Фоновые значения максимального вращательного момента у испытуемых контрольной и экспериментальной групп до начала эксперимента достоверно не отличались и составляли $119,3 \pm 5,3$ Н м и $124 \pm 8,8$ Н м соответственно (рис. 2). После пяти тренировочных дней максимальный вращательный момент в КГ в сравнении с фоновыми значениями увеличился в среднем на 9,5 %, а после десяти дней – на 28,2 % ($p < 0,05$). В ЭГ прирост силовых возможностей был более значительным: после пяти тренировочных дней вращательный момент увеличился на 24,9 %, а после десяти – на 52,2% ($p < 0,05$) по сравнению с исходными величинами. Через пятнадцать дней тренировки максимальный вращательный момент в КГ увеличился на 32,5 %, а в ЭГ прирост силовых возможностей увеличился на 51,9 % по сравнению с фоновыми величинами (рис. 2). Таким образом, прирост силовых возможностей в экспериментальной группе был больше на 19,4% ($p < 0,05$), чем в КГ. Следовательно, выполнение тренировочных упражнений, сопровождающихся электромагнитной стимулирующей мышца-агонистов, привело к более значительному развитию силы мышц голени.

В таблице 2 представлены сведения об изменении параметров ЭМГ - активности исследуемых мышц, зарегистрированной в процессе максимального силового вращательного момента, у

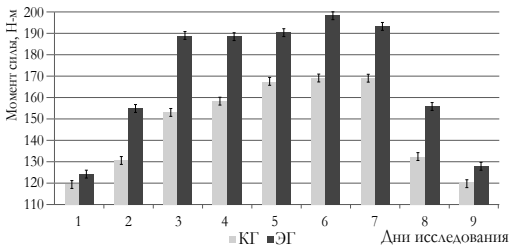


Рис. 2. Среднегрупповые показатели силового вращательного момента голеностопного сустава у контрольной и экспериментальной группы, М ± m

Примечание: 1 – фон, 2 – пятый тренировочный день, 3 – десятый тренировочный день, 4 – пятнадцатый день тренировок, 5 – третий день восстановления, 6 – шестой день восстановления, 7 – тринадцатый день восстановления, 8 – двадцать четвертый день восстановления, 9 – тридцать пятый день восстановления

испытуемых обеих групп под влиянием пятнадцатидневных тренировочных воздействий. Из анализа данных, приведенных в таблице, видно, что амплитуда и частота ЭМГ мышц-агонистов достоверно возрастают после пяти, десяти и пятнадцати тренировочных занятий по отношению к фоновым показателям в обеих группах. При этом амплитуда и частота электроактивности GM и SOL в ЭГ возросла в большей степени по сравнению с динамикой этих параметров у испытуемых КГ.

Так, прирост амплитуды ЭМГ SOL у испытуемых ЭГ был больше после пяти тренировочных занятий на 24,1%, а после десяти – на 37%, чем в КГ. Частота ЭМГ данной мышцы увеличилась на 14,3% и 45,4%, соответственно, по сравнению с приростом этого параметра в КГ (p<0,05). Из таблицы 2 видно, что амплитуда и частота ЭМГ мышц-агонистов увеличились после пят-

надцати тренировочных занятий в обеих группах. При этом амплитуда и частота электроактивности GM и SOL в ЭГ возросла в большей степени по сравнению с названными параметрами у испытуемых КГ.

Так, прирост амплитуды ЭМГ GM у испытуемых ЭГ после пятнадцати тренировочных занятий был больше на 65,8%, чем в КГ, частота ЭМГ - выше на 74,2% (p<0,05). На протяжении всех тренировочных занятий у испытуемых обеих групп амплитуда и частота электроактивности tibialis anterior (TA) достоверно не изменялись (табл. 2).

Как известно из литературных сведений, по амплитуде максимального Н-рефлекса возможно оценить функциональное состояние спинальных мотонейронов, поскольку она свидетельствует об их рефлекторной возбудимости. В таблице 3 приведены параметры амплитуды максимальных М-ответов и Н-рефлексов обеих групп, зарегистрированных в состоянии мышечного покоя и после проведения тренировочных занятий.

Как видно из таблицы 3, достоверные изменения исследуемых показателей наблюдались только в значениях амплитуды Н-рефлекса m.gastrocnemius у испытуемых ЭГ. В этом случае амплитуда выросла на 39% после пяти тренировочных дней и на 30,1% - после десяти тренировок по отношению к фоновому значению (p<0,05). При анализе полученных данных в течение всех тренировочных дней выявлено, что от начала к окончанию тренировочных занятий наблюдается тенденция к снижению параметра: после пятнадцати дней он составил 0,64±0,11

Таблица 2 – Параметры ЭМГ скелетных мышц голени во время проведения тренировки в экспериментальной и контрольной группах, М±m

Группа	Параметры ЭМГ	Мышцы	Исходные величины	После 5 дней тренировок	После 10 дней тренировок	После 15 дней тренировок
КГ	Амплитуда (мкВ)	GM	412,4±43,3	606,3±45,9*	645,3±57,9*	615,4±55*
		SOL	543,5±76,2	796,1±52,6*	734,3±55,1*	766,7±46,7*
		TA	254,2±62,7	211,6±15,4	207,1±12,8	174,1±10,9
	Частота (Гц)	GM	364,6±51,3	498,1±24,1*	493,0±21,6*	513,7±24,5*
		SOL	252,1±28,4	367,1±9,2*	377,1±15,9*	386,1±10,8*
		TA	127,9±37,6	146,2±10,7	129,8±15,3	105,2±12,7
ЭГ	Амплитуда (мкВ)	GM	319,4±35,6	546,5±65,5*	618,4±43,1*	687±56,9*
		SOL	343,5±34,5	504,2±30,5*	547,0±34,8*	507,2±48,7*
		TA	159,7±23,6	159,1±11,8	159,5±5,4	149,6±6,6
	Частота (Гц)	GM	285,9±39,6	431,7±47,6*	516,4±30,9*	513±20,4*
		SOL	251,5±31,7	330,9±20,4*	381,7±14,2*	373,4±10,2*
		TA	78,5±31,3	97,8±20,8	130,2±17,3	106,2±12,5

Примечание: * - p< 0,05 в сравнении с исходными значениями

мВ, что ниже на 10,7% по отношению к фону. Статистически значимых изменений амплитуды максимального М-ответа у испытуемых обеих групп не отмечалось.

После прекращения тренировок наблюдались некоторые особенности в изменениях параметров, характеризующих состояние моторной системы, у испытуемых КГ и ЭГ (табл. 4).

Из анализа результатов, приведенных в таблице 4, видно, что амплитуда и частота ЭМГ мышц-агонистов достоверно возросли на третий и шестой день после окончания тренировок в обеих группах. При этом амплитуда и частота электроактивности GM и SOL в ЭГ увеличились в большей степени по сравнению с этими параметрами у испытуемых КГ. Так, амплитуда ЭМГ GM у испытуемых ЭГ составила $582,5 \pm 64,9$ мкВ на третий и $609,6 \pm 61,7$ мкВ – на шестой день после окончания тренировок, что больше на 31,4% и на 40,8%, а у SOL – $552,0 \pm 54,5$ мкВ и $518,5 \pm 46,9$ мкВ, что на 31,3% и 18,3% выше, чем в КГ, соответственно. По сравнению с фоном частота

турнов ЭМГ GM в ЭГ выше на 14,7% на третий день восстановления и на 34,4% – на шестой день после окончания тренировок, чем в КГ. Интересен тот факт, что частота ЭМГ SOL в КГ к третьему дню была больше на 7,7%, а также на 16,8% на шестой день восстановления, чем данный показатель в ЭГ.

Амплитуда и частота электроактивности GM и SOL на тридцать пятый день после окончания тренировок практически вернулись к исходным значениям. Изменение амплитуды и частоты электроактивности tibialis anterior во время восстановительного периода у испытуемых обеих групп было статистически не значимо (табл. 4). Амплитуда М-ответа и Н-рефлекса в обеих группах на всем протяжении восстановления достоверно не отличалась.

Результаты наших исследований позволяют рассматривать электромагнитную стимуляцию как перспективную методику для развития физических качеств и оценки функционального состояния моторной системы спортсменов.

Таблица 3 – Амплитуда максимального М-ответа и Н-рефлекса (мВ) мышц голени в дни проведения тренировок в экспериментальной и контрольной группах, M ± m

Группа	Вызванные ответы	Мышцы	Исходные величины	После 5 дней тренировок	После 10 дней тренировок	После 15 дней тренировок
КГ	М-ответ	gastrocnemius	8,89±1,42	7,28±1,01	7,14±0,98	9,14±1,17
		soleus	7,57±1,22	7,95±1,14	7,55±0,92	8,87±1,58
	Н-рефлекс	gastrocnemius	1,32±0,2	1,10±0,16	1,41±0,33	1,18±0,19*
		soleus	1,56±0,29	1,18±0,21	1,25±0,24	1,20±0,31
ЭГ	М-ответ	gastrocnemius	7,13±0,41	7,44±0,86	7,05±0,85	7,13±0,94
		soleus	7,08±0,68	7,56±0,86	7,17±0,9	7,69±1,11
	Н-рефлекс	gastrocnemius	0,73±0,17	1,02±0,23*	0,95±0,2*	0,64±0,11*
		soleus	0,73±0,16	0,94±0,18*	0,84±0,14	0,61±0,14

Примечание: * - p < 0,05 в сравнении с исходными значениями

Таблица 4 – Параметры ЭМГ скелетных мышц голени во время восстановления в экспериментальной и контрольной группах, M ± m

Группа	Параметры ЭМГ	Мышцы	Исходные величины	3-й день восстановления	6-й день восстановления	13-й день восстановления	24-й день восстановления	35-й день восстановления
КГ	Амплитуда (мкВ)	GM	412,4±43,3	622,5±59,5*	618,8±46,3*	576,3±59,7	494,1±36,3	441,1±26,4
		SOL	543,5±76,2	703,7±70,1	720,7±61,3	807,1±57,0*	608,6±62,4	559,3±48,8
		TA	254,2±62,7	178,5±8,9	173,8±6,5	170,2±8,6	166,7±8,6	161,8±11,9
	Частота (Гц)	GM	364,6±51,3	556,5±28,0*	543,9±22,9*	493,6±31,8	514,0±22,4*	444,1±21,2
		SOL	252,1±28,4	384,6±15,6*	412,5±13,3*	374,4±11,3*	395,2±23,6*	351,9±19,8*
		TA	127,9±37,6	155,2±16,1	167,4±19,4	147,6±16,6	137,3±22,2	102,7±19,2
ЭГ	Амплитуда (мкВ)	GM	319,4±35,6	582,5±64,9*	609,6±61,7*	625,5±68,8*	470,2±39,7*	446,0±99,4
		SOL	343,5±34	552,0±54,5*	518,5±47*	628,5±57*	463,3±24*	455,4±42
		TA	159,7±23	156,9±5,5	159,5±8,4	154,3±4,9	166,4±21	165,2±23
	Частота (Гц)	GM	285,9±40	478,4±38*	524,6±35*	514,1±22*	472,3±41*	380,6±49
		SOL	251,5±32	364,2±12*	369,2±16*	382,5±10*	372,2±25*	309,5±21
		TA	78,5±31,3	105,3±12,2	127,3±16,1	121,9±13	90,5±19,4	66,9±15,4

Примечание: * - p < 0,05 в сравнении с исходными значениями

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Barker, A.T. Motor responses to non-invasive brain stimulation in clinical practice / A.T. Barker, I.L. Freeston, R. Jalinous, J.A. Jarratt // EEG Clin. Neurophysiol. – 1985. P. 70.
2. Barker, A.T. Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation / A.T. Barker, I.L. Freeston, R. Jalinous, J.A. Jarratt // Neurosurgery. – 1987. – Vol. 20. – P. 100-109.
3. Никитин, С.С. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей / С.С. Никитин, А.Л. Куренков. – М.: САН-КО, 2003. – 378 с.
4. Gandevia, S.C. Spinal and supra spinal factors in human muscle fatigue / S.C. Gandevia // Physiol. reviews. – 2001. – Vol. 81. – № 4. – P. 1725-1789.
5. Giesebrechr S. Facilitation and Inhibition of tibialis anterior responses to corticospinal stimulation after maximal voluntary cjntractions / S. Giesebrechr, P.G. Martin, S.C. Gandevia, J.L. Taylor // J Neurophysiol. – 2010. – № 103. – P. 1350-1356.

BIBLIOGRAPHY

1. Barker AT (1985) Motor responses to non-invasive brain stimulation in clinical practice. EEG Clin. Neurophysiol. a: S70.
2. Barker AT (1987) Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation. Neurosurgery. 20:100-109.
3. Nikitin SS, Kurenkov AL (2003) Magnetic stimulation in the diagnosis and treatment of diseases of the nervous system. Guide for Physicians. Sashkov, Moscow (in Russian).
4. Gandevia SC (2001) Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. Physiol. reviews. 81:1725-1789.
5. Giesebrechr S (2010) Facilitation and Inhibition of tibialis anterior responses to corticospinal stimulation after maximal voluntary cjntractions. J Neurophysiol. 103: 1350-1356

6. Влияние напряженной мышечной деятельности на моторные ответы при магнитной стимуляции головного и спинного мозга / Р.М. Гордничев и др. // Физиология человека, 2008. – Т. 34 – № 6. – С. 106-112.
7. Kudina, L. Repetitive doublet firing of motor units: evidence for plateau potentials in human motoneurons? Exp. Brain Res / L. Kudina, R. Andreeva. – 2010. – Vol. 204. – P. 79-90.
8. Фомин, Н.А. Адаптация: общебиологические и психофизиологические основы : монография / Н.А. Фомин. – М. : Теория и практика физической культуры, 2003. – 383 с.
9. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов. – Киев : Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
10. Foss, M.L. Physiological basic for exercise and sport / M.L. Foss. – Sixth edition. Singapore, 2008. – P. 620.
11. Применение магнитной стимуляции в спорте : учебное пособие / Р.М. Гордничев и др. – Великие Луки, 2007. – 95 с.

6. Gorodnichev RM, Petrov DA, Fomin RN, Ivanov SM, Rechetov DN (2008) The influence of strenuous muscular activity on motor responses at magnetic stimulation of cerebral and spinal cord. Human Physiology. 34:106-112 (in Russian).
7. Kudina L, Andreeva R (2010) Repetitive doublet firing of motor units: evidence for plateau potentials in human motoneurons? Exp. Brain Res. 204:79-90
8. Fomin NA (2003) Adaptation: general biological and physiological basis. The Theory and Practice of Physical Culture, Moscow (in Russian).
9. Platonov VN (2004) The system of training athletes in Olympic sports. General theory and its practical applications. Olympic Literature, Kiev (in Russian).
10. Foss ML (2008) Physiological basic for exercise and sport / Sixth edition. Singapore.
11. Gorodnichev RM, Petrov DA, Fomin RN, Fomina DK (2007) The use of magnetic stimulation in the sport. Velikiye Luki (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гордничев Руслан Михайлович – доктор биологических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе Великолукской государственной академии физической культуры и спорта.
 Беляев Андрей Геннадьевич – аспирант Великолукской государственной академии физической культуры и спорта
 Михайлова Екатерина Алексеевна – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры физиологии и спортивной медицины Великолукской государственной академии физической культуры и спорта.
 Ершов Валерий Юрьевич – старший преподаватель теории и методики легкой атлетики Великолукской государственной академии физической культуры и спорта.
 Шляхтов Вячеслав Николаевич – кандидат педагогических наук, ректор Великолукской государственной академии физической культуры и спорта.