doi: 10.17116/kardio20169661-67

Реабилитация в отделениях интенсивной терапии и реанимации: электростимуляция скелетных мышц

А.В. БЕЗДЕНЕЖНЫХ, А.Н. СУМИН

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Россия

Ключевые слова: электростимуляция, скелетные мышцы, интенсивная терапия, мышечная слабость.

Rehabilitation in the intensive care unit: electrical stimulation of skeletal muscles

A.V. BEZDENEZHNYKH, A.N. SUMIN

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

Keywords: electrical stimulation, skeletal muscles, intensive care unit.

Внедрение современных подходов к лечению в отделениях реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) привело к существенному увеличению выживаемости пациентов, находящихся в критическом состоянии. В то же время появилось понимание того, что тяжесть и отдаленный прогноз зависят не только от выраженности основной патологии. Дополнительным фактором, отягощающим состояние пациента в ОРИТ, является мышечная слабость (МС) — intensive care unit-acquired weakness [1]. Она является одной из наиболее частых проблем, наблюдаемых у пациентов, госпитализированных в ОРИТ, и характеризуется симметричным двусторонним снижением мышечной силы, не связанным с предшествующим нервно-мышечным заболеванием. Как правило, это осложнение критического состояния является следствием аксональной полинейропатии (полинейропатия критических состояний), миопатии (миопатия критических состояний) или их комбинацией [2, 3]. Клиническая картина мышечной атрофии характеризуется тотальной МС, приводящей в тяжелых случаях к тетраплегии, угнетением сухожильных рефлексов и затрудненным отлучением от искусственной вентиляции легких (ИВЛ). [4]. Основными факторами, помимо иммобилизации, приводящими к утрате мышечной массы, являются расстройства микроциркуляции с поражением периферических нервов и мускулатуры, наличие синдрома системного воспалительного ответа, генерализованной инфекции, применение препаратов с действием, угнетающим нервно-мышечную передачу (кортикостероиды, аминогликозиды, миорелаксанты) [5].

Распространенность таких патологий, связанных с критическим состоянием, достигает 100% у пациентов с полиорганной недостаточностью, атрофия мышц развивается у 80% пациентов, находящихся на ИВЛ более 7 дней. В течение 4 дней ИВЛ утрачивается половина мышечной массы, в течение 3 дней — $^1/_3$ [6].

Для предотвращения или уменьшения выраженности МС и полинейромиопатии применяют различные методики, включающие по возможности раннюю активизацию пациентов [7, 8]. В течение последних лет все больше появляется информации о применении в качестве средства реабилитации пациентов ОРИТ электростимуляции скелетных мышц (ЭСМ). Эта методика хорошо зарекомендовала себя среди пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) и хронической сердечной недостаточностью (ХСН) [9, 10] и представляется весьма перспективной с точки зрения использования ее у пациентов в критическом состоянии. Это явилось предпосылкой для написания данного обзора, целью которого стало рассмотрение вопросов обоснованности применения ЭСМ у пациентов ОРИТ, ее эффективности и безопасности, а также научных и практических перспектив.

Обоснование применения методики

Мышечная атрофия у пациентов ОРИТ может развиться как вследствие применения лекарственных препаратов, расстройств микроциркуляции, так и непосредственно от длительного ограничения двигательной активности.

Длительный постельный режим, особенно при продолжительной ИВЛ, вызывает истощение и атрофию скелетных мышц, снижая их функциональные возможности. Такие изменения возникают уже на 4—8-й день отсутствия нагрузки на скелетные мышцы [11] и на 4—5% происходит утрата мускулатуры каждую неделю неподвижности [12], ведь мышечный белок обновляется через

© А.В. Бездженежных, А.Н. Сумин, 2016

[1]e-mail: bezdav@kemcardio.ru; [2]e-mail: sumian@kemcardio.ru

7—14 дней, при ограничении активности пациента отсутствует запрос на его синтез [13].

На более тонком уровне появляются расстройства микроциркуляции, приводящие к ухудшению кровотока в органах. И если эндотелиальные клетки могут справиться самостоятельно, выбрасывая в кровоток оксид азота и вызывая вазодилатацию, то сосуды периферических нервов такой возможностью не обладают. Это приводит к усугублению гипоксии и повреждению нервных волокон и полинейропатии [14]. Высвобождение цитокинов, гипергликемия, сопровождающие критическое состояние, дополнительно компрометируют микроциркуляцию [15, 16]. Таким образом, происходит повреждение мышц, нейрональная гипоксия и аксональная дегенерация, что проявляется полинейропатией критических состояний и мышечной атрофией.

Очевидно, что у пациентов в критическом состоянии, при взаимодействии неподвижности, инфекции, системного воспалительного ответа и полиорганной дисфункции утрата мускулатуры будет происходить стремительно, достигая 60% в течение первых 5 дней [17]. Именно в таких случаях ЭСМ может стать единственно возможным способом тренировок.

Также одной из предпосылок для использования ЭСМ в ОРИТ могут стать результаты исследования J. Segers и соавт. [18]. Данная работа посвящена выделению факторов, которые влияют на возможность вызвать мышечное сокращение при ЭСМ. У 50 пациентов с предполагаемой длительностью пребывания в ОРИТ более 6 дней стимулировали четырехглавую мышцу бедра, а затем в многофакторном анализе выявляли предикторы «несокращения» мускулатуры. В число потенциальных предикторов вошли исходный функциональный статус пациента (оценен по шкале Бартела), тяжесть по APACHE II, возможное влияние лекарственных агентов, характеристики стимуляции (интенсивность, количество сессий, наличие отеков). В результате вероятность появления сокращения стимулируемой мышцы уменьшалась при отеках нижних конечностей, сепсисе и терапии вазопрессорами. Также лучший ответ на ЭСМ давали пациенты, у которых пассивные тренировки начинались раньше, по сравнению с теми, у кого от момента поступления в ОРИТ до начала ЭСМ прошла неделя [18].

Наш собственный опыт применения пассивных тренировок у возрастных пациентов с инфарктом миокарда (ИМ) [19, 20] и предыдущий анализ литературы [21] также позволяют предполагать позитивное влияние ЭСМ на состояние пациентов ОРИТ.

Клинические данные использования ЭСМ в ОРИТ

Одной из достаточно ранних попыток использования ЭСМ в ОРИТ стало исследование P. Boulétreau и соавт. [22]. Имевшие после операции показания для госпитализации в ОРИТ 10 пациентов в течение 4 дней получали ЭСМ, после чего наблюдались еще в течение 4 дней. В результате во время периода стимуляции выявлено замедление катаболизма белков по сравнению с периодом покоя. Значительно позже к проблеме ЭСМ в ОРИТ вернулись итальянские ученые. У 24 пациентов с ХОБЛ, находящихся на длительной ИВЛ, предусматривали курс ЭСМ в течение 28 дней [23]. По сравнению с контрольной группой (т.е. при рутинной активизации) у получавших ЭСМ пациентов была достигнута большая сила мышц, снизилась частота дыхания. Дополнительным эффектом являлось уменьшение продолжительности постельного режима с 14,33±2,53 дня в контрольной группе и до 10,75±2,41 дня в основной (p=0,001). В другом исследовании в отделениях кардиореанимации у пациентов на ИВЛ проводили стимуляцию мышц бедра в течение недели. Непосредственно в ходе ЭСМ не отмечали динамики артериального давления (АД), частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты дыхания (ЧД) и сатурации крови, что подтверждает безопасность данного вида терапии. Через 7 дней в группе ЭСМ не выявлено уменьшения окружности бедра на 5 см выше надколенника, что наблюдали в контрольной группе. Однако на уровне проксимального отдела бедра отличий в поперечной площади мышц в основной и контрольной группах не отмечалось [24].

Исследования, упомянутые выше, включали категории пациентов, у которых эффективность ЭСМ была продемонстрирована ранее. Тем не менее, начиная с 2009 г., появляется информация о работах, в которых ЭСМ применяется у смешанных групп пациентов ОРИТ. Теперь в исследования включают не только больных с ХСН и ХОБЛ, но и пациентов с сепсисом, политравмой, неврологической, абдоминальной патологией и интоксикациями **(табл. 1)**.

Несколько исследований группы греческих авторов [25—27] проводились у пациентов многопрофильного ОРИТ со значением оценки по шкале APACHE II более 13 баллов. В первом оценивали толщину мышечного слоя мускулатуры бедра после курса ЭСМ, который начинали со 2-х суток пребывания в ОРИТ до момента перевода в профильное отделение. У всех пациентов развивалась мышечная атрофия, однако в группе ЭСМ ее выраженность была значительно меньше как в абсолютных цифрах (−0,11±0,06 см против −0,21±0,10 см; p=0,009), так и в относительных значениях (−8,0±3,9% против −13,9±6,4%; p=0,005) [25]. В работе C. Routsi и соавт. [26] внимание было уделено полинейромиопатии критических состояний. Курс пассивных тренировок снижал вероятность появления полинейромиопатии (ОШ 0,22; 95% ДИ 0,05—0,92; p=0,04). Положительное влияние ЭСМ сохранялось и после поправки на возраст и тяжесть пациента по шкале APACHE II. Также после стимуляции мускулатуры бедра и голени увеличивалась сила мышц, оцененная по шкале MRC (Medical Research Council) 58 (33—60) против 52 (2—60) (p=0,04). Кроме того, также в группе ЭСМ была меньше длительность ИВЛ 4 (0—16) дней против 6 (0—41) дней (p=0,003). Продолжением исследований в указанном направлении стала работа E. Angelopoulos и соавт. [27], в которой сопоставлялись эффекты низко- (47 Hz) и среднечастотной (75 Hz) ЭСМ. Оба протокола значимо увеличивали мышечную силу и улучшали показатели тканевой микроциркуляции, однако при сравнении эффектов между собой статистически значимой разницы не получено.

В исследование P. Rodriguez и соавт. [28] включены 16 пациентов с сепсисом различного происхождения, находящихся на ИВЛ, и с недостаточностью, по крайней мере, одного органа. Стимуляции подвергались двуглавая мышца плеча и четырехглавая мышца на одной из нижних конечностей пациента. Исследование было двойным слепым, плацебо-контролируемым, эффективность ЭСМ оценивали при динамометрии, а также при определении

Таблица 1. **Исследования по использованию ЭСМ в ОРИТ: нозологическая характеристика пациентов**

Исследование	Число участников	Характеристика пациентов и интервенций	Контроль
E. Zanotti [23]	24 (12 ЭСМ)	С дыхательной недостаточностью, вследствие ХОБЛ, находящиеся на ИВЛ	Рутинная реабилитация
V. Gerovasili [25]	35 (29 ЭСМ)	Сепсис, травма, ОНМК, сердечная недостаточность	Рутинная реабилитация
C. Routsi [26]	52 (28 ЭСМ)	Сепсис/септический шок, травма, послеоперационные пациенты повреждения головного мозга, дыхательная недостаточность	Рутинная реабилитация
E. Angelopoulos [27]	31	Пневмония Сепсис, обострение ХОБЛ, ЧМТ, политравма, геморрагическое ОНМК, панкреатит	Нет
P. Rodriguez [28]	16	Сепсис, недостаточность, по крайней мере одной из систем, кроме дыхательной	Противоположная конечность
T. Hirose [29]	15 (9 ЭСМ)	ОНМК, ЧМТ	Рутинная реабилитация
M. Kho [31]	34 (18 ЭСМ)	Сепсис, дыхательная недостаточность, патология ЖКТ	Рутинная реабилитация
J. Poulsen [32]	8	Септический шок	Противоположная конечность
K. Iwatsu [33]	61	После кардиохирургических вмешательств (КШ, клапанная хирургия, хирургия грудной аорты)	Нет
W. Gruther [39]	33 (16 ЭСМ)	Политравма, сердечно-сосудистые причины, пневмония, злокачественные новообразования	Рутинная реабилитация
V. Gerovasili [42]	26 (13 ЭСМ)	Сепсис, травма, ОНМК, сердечная недостаточность	Рутинная реабилитация

Примечание. ЭСМ — электростимуляция скелетных мышц, ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения, ЧМТ — черепно-мозговая травма, ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ЖКТ — желудочно-кишечный тракт.

площади поперечного сечения четырехглавой мышцы с помощью ультразвука. В результате курса, длительность которого в среднем составила 13 (от 2 до 30) дней, сила стимулировавшихся мышц возрастала по сравнению с мускулатурой противоположной конечности, причем выраженность этих изменений была тем больше, чем более «тяжелым» и ослабленным был пациент исходно.

В исследовании T. Hirose и соавт. [29] 9 пациентам, начиная с 7-го дня пребывания в ОРИТ, проводили ЭСМ в течение всего времени пребывания больного в отделении. На 7-е сутки от начала курса пассивных тренировок с помощью компьютерной томографии (КТ) измеряли площадь поперечного сечения стимулировавшейся четырехглавой мышцы. В результате в контрольной группе произошло значительное уменьшение количества мускулатуры бедра, в то время как в группе ЭСМ атрофия мышц не была отмечена.

M. Dirks и соавт. [30] обследовали пациентов в критическом состоянии со средним значением оценки по шкале APACHE II 29. Стимуляцию четырехглавой мышцы бедра проводили 6 пациентам, в качестве контроля выступала противоположная мышца. После курса ЭСМ в течение 7 дней выполняли биопсии четырехглавой мышцы: в контрольных мышцах площадь поперечного сечения волокон первого и второго типов уменьшилась в среднем на 16 и 24% соответственно, в стимулированных — осталась без изменений.

Исследование M. Kho и соавт. [31] было спланировано как двойное слепое, плацебо-контролируемое, в него включили пациентов многопрофильного ОРИТ, которым проводили стимуляцию четырехглавой мышцы бедра и мышц голени (средняя продолжительность курса ЭСМ — 9 дней). При сравнении групп ЭСМ и контроля выявлены различия на этапах пребывания пациента в стационаре. Значимо больше был прирост силы мышц нижних конечностей как на этапе от пробуждения до выписки из ОРИТ (5,3±5,9 против 0,8±3,8; p=0,047), так и от пробуждения до выписки из стационара (5,7±5,1 против 1,8±2,7; p=0,019). Абсолютные значения силы мышц на момент выписки из стационара не различались между пациентами, получавшими ЭСМ, и контролем (28±2 против 27±3; p=0,072), хотя и имелась четкая тенденция к большим значениям в группе пассивных тренировок — показатель статистической значимости достиг пограничного уровня. Также курс ЭСМ благоприятно сказался на переносимости физической нагрузки: пациенты после ЭСМ проходили большую дистанцию к моменту выписки (156,7±118,6 м против 76,6±65,1 м; p=0,050). J. Poulsen и соавт. [32] в 2011 г. в исследовании со схожим дизайном показали, что у 8 пациентов с септическим шоком 7-дневный курс ЭСМ не оказывает влияния на количество мышечной ткани. У пациентов произошла атрофия мышц как на стороне стимуляции, так и на противоположной.

Также имеются отдельные сообщения по использованию ЭСМ в кардиохирургических клиниках. Так, в исследовании K. Iwatsu и соавт. [33] пассивные тренировки выполняли пациентам, перенесшим коронарное шунтирование (КШ), клапанную хирургию или вмешательство на грудной аорте с 1-го по 5-й послеоперационный день. В результате значимые изменения АД не зарегистрированы, не менялась также функция временных ЭКС и не регистрировались устойчивые желудочковые нарушения ритма. В исследование R. Meesen и соавт. [34] в многопрофильном ОРИТ включали и пациентов после КШ. Контролем являлась противоположная конечность. В результате 30-дневного курса было отмечено статистически

значимое увеличение окружности бедра стимулированной конечности по сравнению с контрольной.

Можно отметить, что ранее только единичные работы были посвящены использованию ЭСМ в ОРИТ. В последние годы возросло число таких исследований [29—31] и стали появляться попытки систематизировать накопленный опыт [35—37].

Клинические и научные перспективы дальнейшего использования ЭСМ в ОРИТ

Основным ограничением работ большинство авторов признают немногочисленность выборок **(табл. 2)**. Однако корректный дизайн с ослеплением исследования, плацебо-контролем и правильной статистической обработкой результатов позволяет принимать их во внимание и пробуждает интерес к дальнейшему изучению проблемы. Темп включения пациентов зависит от того, насколько часто поступают пациенты, требующие длительного пребывания в отделении. На скорость набора пациентов в группы исследования влияет и тщательность отбора, обилие критериев исключения. Так, ряд исследований не включал в курс пассивных тренировок пациентов с кардиостимуляторами [25—27, 31], хотя безопасность ЭСМ у этой категории пациентов была продемонстрирована ранее [38]. В исследование M. Kho и соавт. [31] также не включали пациентов, срок пребывания которых в ОРИТ был более 7 дней. Видимо, данное ограничение было введено для того, чтобы исключить влияние уже развившейся к этому моменту мышечной атрофии. В этом аспекте интересно исследование W. Gruther и соавт. [39], в котором изучали эффекты ЭСМ, помимо групп пассивных тренировок и контроля, также и у пациентов, которые находились в ОРИТ в течение различного времени — менее 7 и более 14 дней. После курса ЭСМ у пациентов, находившихся на момент начала пассивных тренировок менее 7 дней, не было отличий в толщине мышечного слоя (p=0,457) по сравнению с группой контроля. У этой же категории пациентов существенно уменьшилось количество мускулатуры как в основной группе (p=0,002), так и в контрольной (p<0,001). Напротив, у пациентов, находившихся в ОРИТ более 2 нед, в результате ЭСМ мышечный слой был больше в группе пассивных тренировок по сравнению с группой контроля. Кроме того, отмечена значимая динамика толщины мышечного слоя до и после ЭСМ (p=0,036), в то время как в контрольной группе она осталась неизменной (p=0,162) [39]. K. Iwatsu и соавт. [33] не включали в курс пассивных тренировок пациентов с периферическим атеросклерозом, продленной ИВЛ и почечной недостаточностью. В то же время среди пациентов, перенесших кардиохирургическое вмешательство, больные с периферическим атеросклерозом могут составлять существенную долю (например, при реваскуляризации миокарда) [40, 41]. Несмотря на то что авторы такие критерии исключения объясняют необходимостью оценки результатов дальнейшего сравнительного анализа, больные с сочетанной патологией, которая влияет не только на мышечный статус, но и на прогноз пациента, заслуживают особого внимания в реабилитационных программах.

Несмотря на противоречивость данных о влиянии ЭСМ на мышечный статус пациентов ОРИТ, несомненной

Таблица 2. **Характеристика исследований, посвященных ЭСМ в ОРИТ: спорные критерии исключения и характеристики процедуры**

Исследование	Количество пациентов	Критерий исключения	Характеристика процедуры
E. Zanotti [23]	24 (12 ЭСМ)	Терапия системными ГКС, терапия препаратами, затрудняющими нервно-мышечную передачу более 5 дней, наличие сопутствующей патологии, которая могла бы потребовать терапию системными ГКС	Частота тока 35 Hz ЭСМ, 30 мин в день в течение 4 нед, 5 дней в неделю
V. Gerovasili [25]	26 (13 ЭСМ)	Имплантированный ЭКС	Частота тока 45 Hz, длительность сокращения 12 с, длительность расслабления 6 с, 55 мин в день в течение 7 дней
C. Routsi [26]	52 (28 ЭСМ)	Имплантированный ЭКС	Частота тока 45 Hz, длительность сокращения 12 с, длительность расслабления 6 с, 55 мин в день в течение 7 дней
E. Angelopoulos [27]	31	Состояния, ограничивающие движения нижними конечностями, имплантированный ЭКС	Частота тока 45 Hz, длительность сокращения 5 с, длительность расслабления 12 с, 30 мин в день
M. Kho [31]	34 (18 ЭСМ)	Пребывание в ОРИТ более 7 дней, ИВЛ более 4 дней до включения в исследование, известный внутричерепной процесс (например, ОНМК), незнание английского языка, имплантированный ЭКС, ИКД	Частота тока 50 Hz, длительность сокращения 5 с, длительность расслабления 10 с, 55 мин в день в течение в среднем 9,1±8,7 дня, 60 мин в день
W. Gruther [39]	33 (16 ЭСМ)	Пребывание в ОРИТ менее 7 дней Тренированные атлеты (толщина мышечного слоя более 10 см), имплантированный ЭКС, ИКД, тяжелая ишемия нижних конечностей	Частота тока 45 Hz, длительность сокращения 8 с, длительность расслабления 24 с, 60 мин в день в течение 7 дней

Примечание. ЭСМ — электростимуляция скелетных мышц, ОРИТ — отделение реанимации и интенсивной терапии, ГКС — глюкокортикостероиды, ЭКС — электрокардиостимулятор, ИКД — имплантируемый кардиовертер-дефибриллятор, ИВЛ — искусственная вентиляция легких, ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения.

Таблица 3. **Методы оценки эффективности ЭСМ у пациентов в критическом состоянии**

Исследование	МСКТ	Динамометрия	Шкалы оценки мышечной силы	УЗИ	Биопсия	Окружность конечности
E. Zanotti [23]	—	—		—	—	—
V. Gerovasili [25]	—	—	—		—	—
C. Routsi [26]	—	—		—	—	—
P. Rodriguez [28]	—	—			—	
T. Hirose [29]		—	—	—	—	—
M. Dirks [30]	—	—	—	—		—
W. Gruther [39]	—	—	—		—	—
M. Kho [31]	—			—	—	—
J. Poulsen [32]		—	—	—	—	—
R. Meesen [34]	—	—	—	—	—	

Примечание. ЭСМ — электростимуляция скелетных мышц¸ МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография, УЗИ — ультразвуковое исследование.

остается безопасность методики у данной категории больных. Каждое из приведенных выше исследований так или иначе затрагивало вопросы безопасности, поскольку группы пациентов были весьма разнородны, а такие состояния, как инфекция, тем более генерализованная или политравма, традиционно являются противопоказанием для пассивных тренировок. Безопасность была показана у пациентов многопрофильного ОРИТ: пассивные тренировки клинически значимо не влияли на системную гемодинамику и показатели газообмена [34, 42]. Очевидно также, что данные о безопасности ЭСМ, показанные в исследовании K. Iwatsu и соавт. [33], у такой сложной и тяжелой категории пациентов, как больные, перенесшие кардиохирургическое вмешательство. Кроме того, данные о возможности использования ЭСМ у пациентов с имплантированными кардиостимуляторами [38] должны способствовать уменьшению количества ограничений при наборе групп исследования, поскольку положительное влияние ЭСМ на состояние скелетной мускулатуры не вызывает сомнений.

Как отмечают авторы недавнего систематического обзора [36], исследовательские группы применения ЭСМ в ОРИТ используют гетерогенный набор тестов для оценки эффективности **(табл. 3)**. Различаются исследования и с точки зрения методики стимуляции (различные частота импульса, длительность сокращения и расслабления, а также длительность процедуры) **(см. табл. 2)**. Кроме того, в некоторых работах в качестве контроля выступает противоположная конечность, а ряд исследований имеют нерандомизированный дизайн или могут иметь ограничения вследствие недостаточного «ослепления». К схожим выводам пришли и авторы систематических обзоров, продемонстрировав, что об эффективности ЭСМ в ОРИТ говорить преждевременно, и основные препятствия заключаются в неоднородности методик стимуляции и методов оценки результатов [35—37]. Тем не менее каждая из приведенных методик оценки достаточно информативна и позволяет объективизировать полученный в результате ЭСМ эффект. Понятно, что КТ дает более точный результат при оценке площади поперечного сечения мышц, а прямая динамометрия — при измерении силы мускулатуры. Тем не менее ультразвуковая диагностика и шкалы оценки силы мышц, например MRC (Medical Research Council), могут быть более доступны для малотранспортабельных и неподвижных пациентов ОРИТ, что в свою очередь позволяет проводить оценку мышечного статуса у большего числа обследованных.

Очевидно, что практическая перспектива применения ЭСМ в ОРИТ заключается в широком внедрении пассивных тренировок в практику реабилитации пациентов. Но также не вызывает сомнений, что распространение этой методики реабилитации может произойти только после появления убедительных данных о влиянии методики на клинические показатели.

Заключение

ЭСМ представляется весьма перспективной методикой в составе комплексного подхода к реабилитации пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии. Гетерогенность методик и способов контроля приводит к необходимости статистического обобщения более грубыми методиками, а небольшое количество пациентов, включенных в исследования, снижает их статистическую мощность. Тем не менее полученные данные исследований демонстрируют способность курса пассивных тренировок предотвратить мышечную атрофию и положительно повлиять на силу и выносливость мышц, уменьшить длительность пребывания на ИВЛ и в отделениях интенсивной терапии.

Необходимо дальнейшее накопление данных о применении ЭСМ в ОРИТ с проведением многоцентровых исследований по унифицированным методикам воздействия и контроля. Кроме того, необходимо оценивать и выделять тех пациентов, которые будут иметь максимальную пользу от вмешательства. Будет она зависеть от длительности пребывания пациента в ОРИТ, остроты процесса или сопутствующей патологии — одна из задач дальнейших исследований.

Конфликт интересов отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nanas S, Kritikos K, Angelopoulos E, et al. Predisposing factors for critical illness polyneuromyopathy in a multidisciplinary intensive care unit. *Acta Neurol Scand*. 2008;118(3):175-181.
   doi: 10.1111/j.1600-0404.2008.00996.x
2. De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Durand MC, et al. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *Crit Care Med*. 2007;35(9):2007-2015.
   doi: 10.1097/01.ccm.0000281450.01881.d8
3. De Jonghe B, Sharshar T, Hopkinson N, et al. Paresis following mechanichal ventilation. *Curr Opin Crit Care*. 2004;10(1):47-52.
   doi: 10.1097/00075198-200402000-00008
4. Johnson KL. Neuromuscular complications in the intensive care unit. Critical illness polyneuromyopathy. *AACN Adv Crit Care*. 2007 Apr-Jun;18(2):167-180.
   doi: 10.1097/01.aacn.0000269260.99169.70
5. De Jonghe B, Lacherade JC, Sharshar T, et al. Intensive care unit-acquired weakness: Risk factors and prevention. *Critical Care Med*. 2009;37(10 suppl):309-315.
   doi: 10.1097/ccm.0b013e3181b6e64c
6. Van Mook WN, Hulsewe-Evers RP. Critical illness poluneuropathy. *Current Opinion in Critical Care*. 2002;8(4):302-310.
   doi: 10.1097/00075198-200208000-00006
7. Morris PE, Goad A, Thompson C, et al. Early intensive care unit mobility therapy in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med*. 2008;36(8):2238-2243.
   doi: 10.1097/ccm.0b013e318180b90e
8. Lipshutz AK, Gropper MA. Acquired neuromuscular weakness and early mobilization in the intensive care unit. *Anesthesiology*. 2013;118(1):202-215.
   doi: 10.1097/aln.0b013e31826be693
9. Labrunée M, Despas F, Marque P, et al. Acute electromyostimulation decreases muscle sympathetic nerve activity in patients with advanced chronic heart failure (EMSICA Study). *PLoS One*. 2013 Nov 12;8(11):e79438.
   doi: 10.1371/journal.pone.0079438
10. Karavidas A, Driva M, Parissis JT, et al. Functional electrical stimulation of peripheral muscles improves endothelial function and clinical and emotional status in heart failure patients with preserved left ventricular ejection fraction. *Am Heart J*. 2013 Oct;166(4):760-767.
    doi: 10.1016/j.ahj.2013.06.021
11. Vermaelen M, Marini JF, Chopard A, et al. Ubiquitin targeting of rat muscle proteins during short periods of unloading. *Acta Physiol Scand*. 2005;185:33-40.
    doi: 10.1111/j.1365-201x.2005.01446.x
12. Stein TP, Wade CE. Metabolic consequences of muscle disuse atrophy. *J Nutr*. 2005;135(7):1824-1828.
13. Jackman RW, Kandarian SC. The molecular basis of skeletal muscle atrophy. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2004;287:834-843.
    doi: 10.1152/ajpcell.00579.2003
14. De Seze M, Petit H, Wiart L, et al. Critical illness polyneuropathy: a 2-year follow-up in 19 severe cases. *Eur Neurol*. 2000;43(2):61-69.
    doi: 10.1159/000008137
15. De Letter MA, Schmitz PI, Visser LH, et al. Risk factors for the development of polyneuropathy and myopathy in critically ill patients. *Crit Care Med*. 2001;29(12):2281-2286.
    doi: 10.1097/00003246-200112000-00008
16. Морозов Ю.А., Гончарова А.В., Чарная М.А., и др. Роль гипергликемии в микроциркуляторных нарушениях после кардиохирургических операций. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2010;3:1:41-44.
17. Herridge MS, Cheung AM, Tabsey CM, et al. One year outcomes in survivors of the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2003;348(8):683-693.
    doi: 10.1056/nejmoa022450
18. Segers J, Hermans G, Bruyninckx F, et al. Feasibility of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients. *J Crit Care*. 2014 Dec;29(6):1082-1088.
    doi: 10.1016/j.jcrc.2014.06.024
19. Сумин А.Н., Безденежных А.В., Байдина О.М., и др. Пассивные тренировки при инфаркте миокарда у пожилых (исследование ПАТРИАРХ): влияние на внутрисердечную гемодинамику и аритмогенный статус. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2010;3:29-37.
20. Сумин А.Н., Безденежных А.В., Байдина О.М., и др. ПАссивные Тренировки при инфаРкте мИокАРда у пожилыХ (исследование ПАТРИАРХ). *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2011;1:22-30.
21. Сумин А.Н. Физические тренировки с использованием электростимуляции скелетных мышц в кардиологии. *Кардиология*. 2010;50:3:83-90.
22. Boulétreau P, Patricot MC, Saudin F, et al. Effects of intermittent electrical stimulations on muscle catabolism in intensive care patients. *J PEN J Parenter Enteral Nutr*. 1987 Nov-Dec;11(6):552-555.
    doi: 10.1177/0148607187011006552
23. Zanotti E, Felicetti G, Maini M, Fracchia C. Peripheral Muscle Strength Training in Bed-Bound Patients With COPD Receiving Mechanical Ventilation: Effect of Electrical Stimulation. *Chest*. 2003;124;292-296.
    doi: 10.1378/chest.124.1.292
24. Hermans A, Berger J, Dendale P, et al. The effect of selected functional electrical stimulation on thigh cross sectional area in anaesthetized and intubated cardiovascular patients. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*. 2008;Suppl. S108:477.
25. Gerovasili V, Stefanidis K, Vitzilaios K, et al. Electrical muscle stimulation preserves the muscle mass of critically ill patients: a randomized study. *Critical Care*. 2009;13:R161.
    doi: 10.1186/cc8123
26. Routsi C, Gerovasili V, Vasileiadis I, et al. Electrical muscle stimulation prevents critical illness polyneuromyopathy: a randomized parallel intervention trial. *Critical Care*. 2010;14:R74.
    doi: 10.1186/cc8987
27. Angelopoulos E, Karatzanos E, Dimopoulos S. Acute microcirculatory effects of medium frequency versus high frequency neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients — a pilot study. *Annals of Intensive Care*. 2013;3:39.
    doi: 10.1186/2110-5820-3-39
28. Rodriguez PO, Setten M, Maskin LP. Muscle weakness in septic patients requiring mechanical ventilation: protective effect of transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *J Crit Care*. 2012 Jun;27(3):319.e1-8.
    doi: 10.1016/j.jcrc.2011.04.010
29. Hirose T, Shiozaki T, Shimizu K. The effect of electrical muscle stimulation on the prevention of disuse muscle atrophy in patients

with consciousness disturbance in the intensive care unit. *J Crit Care*. 2013 Aug;28(4):536.e1-7.

doi: 10.1016/j.jcrc.2013.02.010

30. Dirks ML, Hansen D, Van Assche A, Dendale P, Van Loon LJ. Neuromuscular electrical stimulation prevents muscle wasting in critically ill comatose patients. *Clin Sci (Lond)*. 2015 Mar 1;128(6):357-365.

doi: 10.1042/CS20140447

31. Kho ME, Truong AD, Zanni JM, et al. Neuromuscular electrical stimulation in mechanically ventilated patients: A randomized, sham-controlled pilot trial with blinded outcome assessment. *Journal of Critical Care.* 2015;30:32-39.

doi: 10.1016/j.jcrc.2014.09.014

32. Poulsen JB, Moller K, Jensen CV, et al. Effect of transcutaneous electrical muscle stimulation on muscle volume in patients with septic shock. *Crit Care Med*. 2011 Mar;39(3):456-461.

doi: 10.1097/CCM.0b013e318205c7bc

33. Iwatsu K, Yamada S, Iida Y, et al. Feasibility of neuromuscular electrical stimulation immediately after cardiovascular surgery. *Arch Phys Med Rehabil*. 2015 Jan;96(1):63-68.

doi: 10.1016/j.apmr.2014.08.012

34. Meesen RL, Dendale P, Cuypers K, et al. Neuromuscular electrical stimulation as a possible means to prevent muscle tissue wasting in artificially ventilated and sedated patients in the intensive care unit: a pilot study. *Neuromodulation*. 2010 Oct;13(4):315-320; discussion 321.

doi: 10.1111/j.1525-1403.2010.00294.x

35. Parry SM, Berney S, Granger CL, et al. Electrical muscle stimulation in the intensive care setting: a systematic review. *Crit Care Med*. 2013 Oct;41(10):2406-2418.

doi: 10.1097/CCM.0b013e3182923642

36. Burke D, Gorman E, Stokes D. An evaluation of neuromuscular electrical stimulation in critical care using the ICF framework: a systematic review and metaanalysis. *Clin Respir J*. 2014 Oct 29.

doi: 10.1111/crj.12234

37. Williams N, Flynn M. A review of the efficacy of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients. *Physiother Theory Pract*. 2014 Jan;30(1):6-11.

doi: 10.3109/09593985.2013.811567

38. Crevenna R, Wolzt M, Fialka-Moser V, et al. Long-term transcutaneous neuromuscular electrical stimulation in patients with bipolar sensing implantable cardioverter defibrillators: a pilot safety study. *Artif Organs*. 2004;28(1):99-102.

doi: 10.1111/j.1525-1594.2004.40006.x

39. Gruther W, Kainberger F, Fialka-Moser V, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation on muscle layer thickness of knee extensor muscles in intensive care unit patients: a pilot study. *J Rehabil Med*. 2010;42:593-597.

doi: 10.2340/16501977-0564

40. Барбараш Л.С., Сумин А.Н., Безденежных А.В., и др. Распространенность мультифокального атеросклероза у больных ишемической болезнью сердца. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2013;3:4-11.

41. Иванов С.В., Сумин А.Н., Казачек Я.В., и др. Пути оптимизации результатов реваскуляризации у пациентов с мультифокальным атеросклерозом. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2013;3:26-35.

42. Gerovasili V, Tripodaki E, Karatzanos E, et al. Short-term systemic effect of electrical muscle stimulation in critically ill patients. *Chest*. 2009 Nov;136(5):1249-1256.

doi: 10.1378/chest.08-2888