

А.П. Шейн, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева, П.В. Нецветов

ЭМГ-ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫРАЖЕННОСТИ АМИОТРОФИЙ В СИСТЕМЕ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У БОЛЬНЫХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ СПИННОГО МОЗГА**ФГУ Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова Росмедтехнологий (Курган)
Курганский филиал Южно-Уральского научного центра РАМН (Курган)**

Получены данные, подтверждающие гипотезу о существовании количественной взаимосвязи между степенью посттравматической деформации позвоночного канала и выраженностью электромиографических проявлений амиотрофий в системе нижних конечностей у больных с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы груднопоясничной локализации. Показано, что чувствительность сегментарных структур и корешков «конского хвоста» к компримирующим факторам декомпрессионного оперативного вмешательства выше у больных с исходно более выраженной степенью неврологического дефицита. Результаты исследования могут быть использованы для решения задач диагностики и прогнозирования функциональных исходов оперативного лечения указанной категории больных.

Ключевые слова: электромиография, спинной мозг, мышцы, спинальная травма

EMG-CHARACTERISTICS OF AMYOTROPHY EXPRESSIVENESS IN LOW EXTREMITIES SYSTEM IN PATIENTS WITH VARIOUS DEGREE OF THE POSTTRAUMATIC SPINAL CORD COMPRESSION

A.P. Shein, G.A. Krivoruchko, N.A. Chuhareva, P.V. Netsvetov

**State Federal Institution of Science Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan
Kurgan Branch of the South Urals Scientific Center of RAMS, Kurgan**

The data confirming a hypothesis about existence of quantitative interrelation between a degree of posttraumatic spine channel deformation and expressiveness electromyographical displays of amyotrophy in low extremities system in patients with consequences of a spinal trauma of thoracal-lumbar localization are received. It is shown, that sensitivity of segmentary structures and «horse tail» roots to decompression operation factors is higher in patients with initially more expressed degree of neurologic deficiency. Results of research can be used for the decision of diagnostic problems and forecasting of operative treatment functional outcomes of the specified category of patients.

Key words: electromyography, spinal cord, muscles, spinal cord injury

Большинство исследователей, чьи разработки касаются выяснения роли различных факторов в патогенезе последствий позвоночно-спинномозговой травмы, придают особое значение не только фактору одномоментной механической травматизации спинного мозга (СМ), но и степени последующей компрессии структур СМ и «конского хвоста» (КХ) фрагментами поврежденных позвонков [1, 2, 3, 6, 7]. Тем не менее, в доступной нам литературе мы не встретили результатов количественной оценки взаимосвязи выраженности посттравматического стеноза позвоночного канала и нейрофизиологических признаков развившегося в результате травмы сенсомоторного дефицита.

Цель настоящей работы состоит в анализе взаимосвязи ЭМГ-показателей выраженности амиотрофических изменений в мышцах нижних конечностей у больных с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы в грудном и поясничном отделах позвоночника и данных компьютерной томографии (КТ), количественно характеризующих степень посттравматической компрессии корешково-спинномозговых структур.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сопоставлены результаты комплексного нейрофизиологического тестирования [1, 4] с данными КТ у 32 пациентов в возрасте от 18 до 52 лет (21 мужчина и 11 женщин) с закрытыми компрессионно-оскольчатыми переломами в грудном и поясничном отделах позвоночника, прошедших курс оперативного лечения с применением аппарата наружной транспедикулярной фиксации (НТФ) в отделении вертебродологии и нейрохирургии РНЦ ВТО [3]. ЭМГ-обследование проводилось до лечения, через 1 месяц после декомпрессионного оперативного вмешательства, перед снятием аппарата наружной фиксации позвоночника и в ближайшие (6 месяцев) сроки после лечения.

Анализировалась амплитуда (от пика до пика) М-ответов *m. tibialis anterior*, *m. extensor digitorum brevis*, *m. gastrocnemius* (с. 1.), *m. soleus*, *m. flexor digitorum brevis*, *m. rectus femoris*, максимальных н-рефлексов *m. gastrocnemius* (с. 1.) и *m. soleus*, а также транскраниально-вызванных потенциалов *m. tibialis anterior* слева и справа. В качестве базового интегрального показателя функциональной

недостаточности корешково-сегментарных структур СМ количественно характеризующим степень развившегося после травмы СМ моторного дефицита (глубину амиотрофий), использовано значение M_{12} — усредненная по совокупности из 12 отведений (*m. tibialis anterior*, *m. extensor digitorum brevis*, *m. gastrocnemius* с. 1., *m. soleus*, *m. flexor digitorum brevis*, *m. rectus femoris* слева и справа) амплитуда М-ответов, выраженная в процентах от данных контрольной выборки, которые сопоставлялись с рассчитанной по дооперационным данным КТ степенью деформации (СД) позвоночного канала. В качестве контрольных величин ЭМГ-показателей использованы данные 32 неврологически здоровых испытуемых (17 мужчин и 15 женщин) в возрасте от 15 до 26 лет.

Количественный анализ томограмм (рис. 1) производился с помощью программы «Multiplanar reconstruction» (MPR). Для этого плоскость реконструкции проводили через остистые отростки и центральные отделы компримированных позвонков, затем измеряли критическое расстояние (КР) и сагиттальный размер позвоночного канала на уровне вышележащего позвонка (СРПК). Степень деформации (СД) позвоночного канала оценивали выраженным в процентах отношением разницы между сагиттальным размером позвоночного канала вышележащего позвонка и критическим расстоянием к сагиттальному размеру позвоночного канала вышележащего позвонка.

$$СД (\%) = ((СРПК - КР) / СРПК) \times 100 \%$$

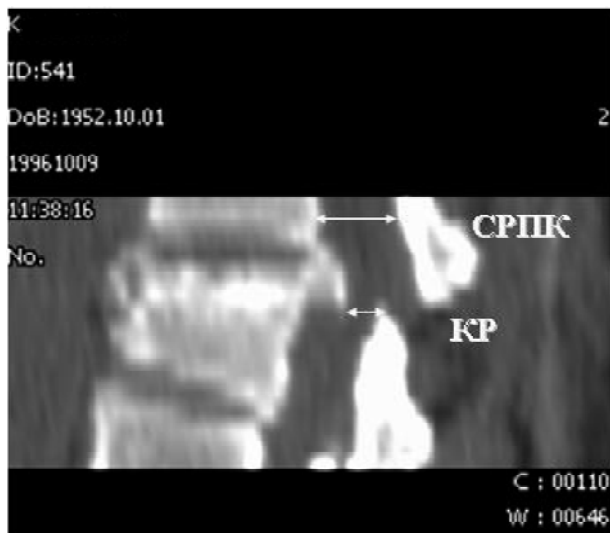


Рис. 1. Схема измерения СРПК и КР по мультипланарной реконструкции (компьютерная томограмма больного К., 45 лет, с компрессионно-оскольчатый переломом L₁ позвонка). Показаны критическое расстояние (КР) и сагиттальный размер позвоночного канала (СРПК) на уровне вышележащего позвонка.

Статистическая обработка данных производилась с помощью пакета анализа данных Microsoft Excel 2000, дополненного программами непараметрической статистики и оценки нормальности распределения выборок. Для оценки достоверности различия средних использованы t-критерий Стью-

дента и непараметрические критерии Манна-Уитни для независимых и сопряженных вариантов. Принятый уровень значимости — 0,05. Оценка степени взаимосвязи признаков оценивалась с помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке взаимосвязи между указанными показателями мы ориентировались прежде всего на остаточные необратимые (органические) изменения в двигательной иннервации мышц, проявляющиеся в устойчиво низких, по сравнению с контролем, значениях амплитуд М-ответов после устранения компрессии корешково-спинномозговых структур.

По выраженности клинико-нейрофизиологических проявлений развившегося после позвоночно-спинномозговой травмы моторного дефицита в системе нижних конечностей больные распределены на три группы: 1 группа (8 человек) — легкая степень поражения ($M_{12} = 49,4 \pm 2,4 \%$; СД = $65,8 \pm 5,6 \%$); 2 группа (21 человек) — средняя ($M_{12} = 28,4 \pm 3,7 \%$; СД = $36,7 \pm 4,5 \%$); 3 группа (3 человека) — тяжелая ($M_{12} = 6,9 \pm 1 \%$; СД = $26,7 \pm 8,0 \%$).

Графически, анализируемая взаимосвязь между СД и M_{12} у больных трех групп, характеризующихся различной резистентностью позвоночно-спинномозговых структур к травмирующему механическому воздействию [1], отражена на рисунке 2. Установлено, что коэффициент линейной корреляции (R) между значениями M_{12} , зарегистрированными в ближайшие сроки после лечения, и СД у больных 1 группы составил $-0,592$ ($P > 0,05$; $y = -0,27x + 69,32$), у больных второй группы $R = -0,636$ ($P < 0,01$; $y = -0,48x + 46,44$), а у больных третьей $R = -0,666$ ($P > 0,05$; $y = -0,28x + 11,38$).

Обнаружено также наличие соответствующих статистически значимых корреляций у больных второй и третьей групп, обследованных до оперативного вмешательства и через 1 месяц после операции. Характерно, что у больных первой группы данные электрофизиологического тестирования, проведенного в указанные сроки, с СД не коррелировали, что связывается нами со значительным вкладом функционального компонента (обратимых отклонений) в балансе посттравматических структурно-функциональных изменений в системе моторной иннервации мышц нижних конечностей.

Приведенные данные подтверждают взаимосвязь между посттравматической компрессией спинномозговых структур и выраженностью амиотрофий, развившихся в результате повреждения спинальных мотонейронов и их аксонов, а также дефицита нисходящих активирующих влияний на фракцию неповрежденных двигательных единиц. В последнем случае этот дефицит может быть связан с нарушением проводимости в кортикоспинальных трактах (у больных с грудной локализацией повреждения позвоночника), следовой пост-

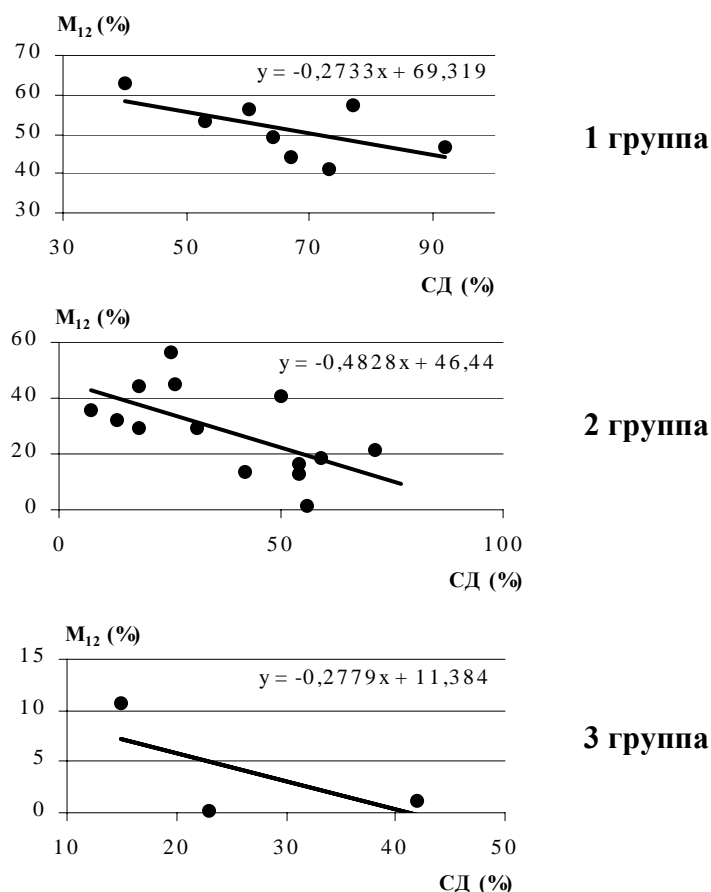


Рис. 2. Взаимосвязь между степенью деформации (СД) позвоночного канала и усредненными по 12 отведениям значениями амплитуд М-ответов (M_{12}), зарегистрированных у больных трех групп в ближайшие сроки после лечения.

травматической тормозной доминантой и ограничением функциональной нагрузки на мышцы нижних конечностей.

Из таблицы 1, в которой отражена динамика усредненных амплитуд М-ответов каждой из тестируемых пар мышц, следует, что до операции степень отклонения средней амплитуды от контрольной величины (здоровые испытуемые) в различных отведениях неодинакова. В частности, выявлено, что у больных всех трех групп наибольшей чувствительностью к одномоментным (травма) и пролонгированным (компрессионно-ишемический синдром) факторам позвоночно-спинномозговой травмы отличаются двигательные единицы мышц, обслуживающих преимущественно дистальные отделы нижних конечностей. Речь идет прежде всего о *m. extensor digitorum brevis*, средняя амплитуда М-ответов которых составила до операции у больных первой группы 64,6 %, у больных второй — 35,2 %, а у больных третьей — 7,9 % от контрольных (здоровые испытуемые) величин. В не менее значительной степени позвоночно-спинномозговая травма повлияла на двигательные единицы, входящие в состав *m. gastrocnemius* (с. l.). Средняя амплитуда М-ответов этой мышцы (в % от контрольных величин) у больных трех групп до

операции составила, соответственно, 75,5 %, 39,6 % и 4,5 %. Наименее выраженные дооперационные отклонения амплитуды М-ответа от контрольных величин отмечены в отведениях от *m. tibialis anterior* и *m. rectus femoris*.

Что касается прочих зарегистрированных до операции дополнительных характеристик М-ответов (латентность, длительность, число инверсий), то анализ степени и направленности их отклонений от контрольных величин в большинстве случаев не выявил каких либо закономерностей, связанных со степенью деформации позвоночного канала.

Данные моносинаптического тестирования (Н-рефлексы) спинальных мотонейронов, формирующих двигательные единицы *m. gastrocnemius* (с. l.) и *m. soleus*, свидетельствуют о заметно более высокой чувствительности амплитуды Н-рефлексов к развившемуся после травмы позвоночника компрессионно-ишемическому синдрому СМ, по сравнению с параметрами М-ответов тех же самых мышц (табл. 2). В частности, усредненная по двум отведениям (*m. gastrocnemius* (с. l.) и *m. soleus*) амплитуда Н-рефлекса, выраженная в процентах от контрольных величин, составила у больных 1 группы 86,2 %, 2 группы — 32,6 %, 3 группы — 2,0 %, ла-

Таблица 1

Динамика амплитуд М-ответов ($M \pm m$) у больных трех групп

Мышцы	Группы больных	Сроки обследования больных			
		До операции ($2n_1 = 16; 2n_2 = 42;$ $2n_3 = 6$)	Через 1 мес. после операции ($2n_1 = 16; 2n_2 = 42;$ $2n_3 = 6$)	Перед снятием аппарата ($2n_1 = 14; 2n_2 = 34;$ $2n_3 = 4$)	Через 6 мес. после лечения ($2n_1 = 16; 2n_2 = 28;$ $2n_3 = 6$)
<i>m. rectus femoris</i>	1	16,89 ± 1,42 к	15,38 ± 1,10 к	17,0 ± 1,34 к	18,34 ± 1,39 к
	2	10,80 ± 1,52 пк	9,46 ± 1,41 пк	12,50 ± 1,83 пк	13,76 ± 2,18 к
	3	8,08 ± 2,39 пк	6,40 ± 3,19 к	3,70 ± 3,00 пкв	11,41 ± 4,14 к
<i>m. tibialis anterior</i>	1	9,93 ± 0,98 к	9,66 ± 0,90 к	9,46 ± 1,03	10,95 ± 1,66
	2	5,46 ± 1,06 пк	5,01 ± 0,98 пк	4,18 ± 1,02 пк	4,18 ± 0,81 пк
	3	0,66 ± 0,39 пкв	0,39 ± 0,36 пкв	0,00 ± 0,00 пкв	0,57 ± 0,57 пкв
<i>m. gastrocnemius</i> (с. l.)	1	23,85 ± 1,68 к	25,22 ± 1,58 к	27,37 ± 2,41	27,10 ± 1,38 к
	2	12,50 ± 1,80 пк	13,01 ± 2,20 пк	13,38 ± 2,76 пк	13,69 ± 2,25 пк
	3	1,43 ± 0,98 пкв	2,65 ± 2,55 пкв	0,13 ± 0,13 пкв	0,03 ± 0,02 пкв
<i>m. soleus</i>	1	25,43 ± 2,47	21,69 ± 2,81	24,09 ± 3,13	26,51 ± 1,93
	2	12,80 ± 1,95 пк	10,85 ± 2,03 пк	11,94 ± 2,67 пк	14,00 ± 2,34 пк
	3	1,27 ± 0,96 пкв	2,18 ± 2,04 пкв	0,09 ± 0,09 пкв	0,07 ± 0,07 пкв
<i>m. extensor digitorum brevis</i>	1	6,87 ± 0,89 к	5,65 ± 0,53 к	7,24 ± 0,68 к	7,16 ± 0,99 к
	2	3,74 ± 0,93 пк	3,48 ± 1,10 пк	3,47 ± 0,96 пк	2,22 ± 0,65 к
	3	0,03 ± 0,03 пкв	0,02 ± 0,01 пкв	0,35 ± 0,35 пкв	1,05 ± 1,05 к
<i>m. flexor digitorum brevis</i>	1	17,74 ± 2,45	18,21 ± 2,10	18,65 ± 2,57	20,24 ± 2,26
	2	12,29 ± 1,79 пк	10,85 ± 1,94 пк	12,32 ± 2,43 к	11,88 ± 2,17 пк
	3	1,33 ± 1,33 пкв	0,08 ± 0,07 пкв	0,16 ± 0,16 пкв	0,00 ± 0,00 пкв

Примечание: $2n_1, 2n_2, 2n_3$ – количество обследованных мышц в 1, 2 и 3 группах больных; к, п, в – показатели, отличие которых от данных контрольных величин, а также от данных первой и второй групп больных, было статистически значимым ($P < 0,05$).

Таблица 2

Динамика амплитуд Н-рефлексов *m. gastrocnemius* (с. l.) и *m. soleus* ($M \pm m$) у больных трех групп

Мышцы	Группы больных	Сроки обследования больных			
		До операции ($2n_1 = 16; 2n_2 = 42;$ $2n_3 = 6$)	Через 1 месяц после операции ($2n_1 = 16; 2n_2 = 42;$ $2n_3 = 6$)	Перед снятием аппарата ($2n_1 = 14; 2n_2 = 34;$ $2n_3 = 4$)	Через 6 месяцев после лечения ($2n_1 = 16; 2n_2 = 28;$ $2n_3 = 6$)
<i>m. gastrocnemius</i> (с. l.)	1	5,90 ± 1,11	5,89 ± 1,14	5,87 ± 1,47	6,44 ± 1,34
	2	2,00 ± 0,46 пк	2,76 ± 0,68 пк	3,04 ± 0,80 к	3,00 ± 0,75 пк
	3	0,17 ± 0,17 пкв	0,08 ± 0,08 пкв	0,00 ± 0,00 пкв	0,00 ± 0,00 пкв
<i>m. soleus</i>	1	7,95 ± 1,67	7,01 ± 1,54	6,68 ± 1,77	8,22 ± 1,94
	2	3,30 ± 0,87 пк	3,99 ± 0,92 к	3,15 ± 0,93 к	3,75 ± 0,99 пк
	3	0,15 ± 0,15 пкв	0,00 ± 0,00 пкв	0,00 ± 0,00 пкв	0,00 ± 0,00 пкв

Примечание: $2n_1, 2n_2, 2n_3$ – количество обследованных мышц в 1, 2 и 3 группах больных; к, п, в – показатели, отличие которых от данных контрольных величин, а также от данных первой и второй групп больных, было статистически значимым ($P < 0,05$).

тентность – 93,7 %, 96,6 % и 108,2 % соответственно, длительность – 87,3 %, 101,1 % и 89,6 % соответственно, число инверсий – 99,8 %, 91,6 % и 84,1 %.

До операции транскраниально вызванный потенциал *m. tibialis anterior* у больных 1 группы существенно не отличался от контроля (101,0 %) и был снижен у больных 2 (48,4 %) и 3 (10,6 %) групп (табл. 3).

Среднее значения латентности ТКВП у больных 1 и 2 групп составили 93,1 % и 90,3 %, длительности – 119,2 % и 95,0 %, а числа фаз – 133,5 % и 135,5 % соответственно, что оказалось заметно выше контрольных величин.

Приведенные в таблицах 1 – 3 усредненные данные позволяют оценить реактивность ко-

Таблица 3

Динамика характеристик транскраниально вызванных потенциалов *m. tibialis anterior* ($M \pm m$) у больных трех групп

Мышцы	Группы больных	Сроки обследования больных			
		До операции ($2n_1 = 16; 2n_2 = 42; 2n_3 = 6$)	Через 1 месяц после операции ($2n_1 = 16; 2n_2 = 42; 2n_3 = 6$)	Перед снятием аппарата ($2n_1 = 14; 2n_2 = 34; 2n_3 = 4$)	Через 6 месяцев после лечения ($2n_1 = 16; 2n_2 = 28; 2n_3 = 6$)
<i>m. tibialis anterior</i>	1	$5,05 \pm 0,71$	$4,97 \pm 1,04$	$5,70 \pm 0,68$	$4,76 \pm 0,72$
	2	$2,42 \pm 0,74$ пк	$2,86 \pm 0,72$ к	$3,30 \pm 1,02$ пк	$2,29 \pm 0,71$ пк
	3	$0,53 \pm 0,53$ пкв	$0,00 \pm 0,00$ пкв	$0,00 \pm 0,00$ пкв	$0,40 \pm 0,40$ пкв

Примечание: $2n_1, 2n_2, 2n_3$ – количество обследованных мышц в 1, 2 и 3 группах больных; к, п, в – показатели, отличия которых от данных контрольных величин, а также от данных первой и второй групп больных, было статистически значимым ($P < 0,05$).

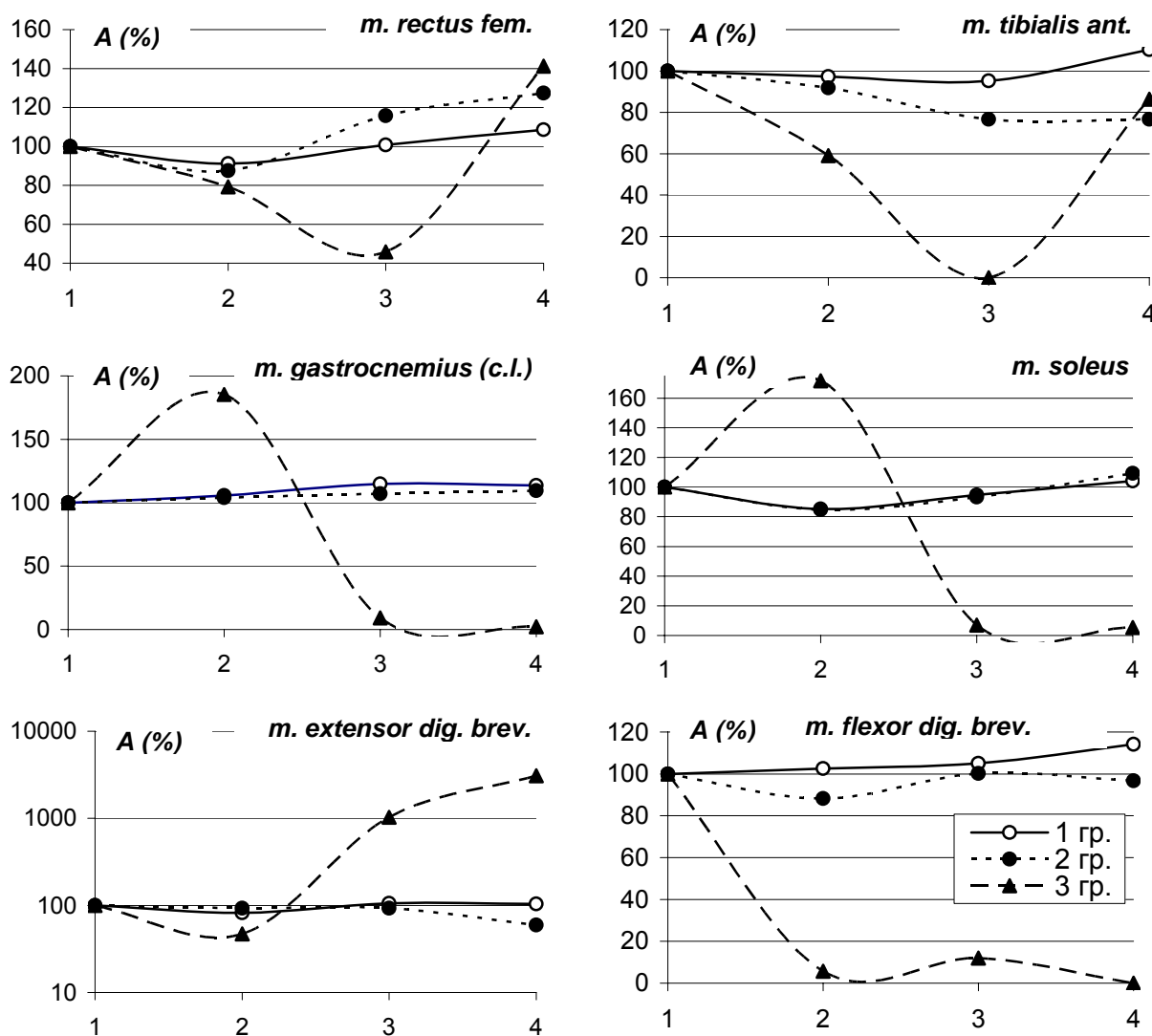


Рис. 3. Динамика характеристик М-ответов мышц нижних конечностей (в % от дооперационных величин) у больных трех групп: 1 – до операции; 2 – через 1 месяц после операции; 3 – перед снятием аппарата НТФ; 4 – через 6 месяцев после лечения.

решково-сегментарных структур СМ и облучиваемых ими периферических нейромоторных образований (макромодулей) в ответ на оперативное вмешательство, сопровождаемое

повторным нарушением целостности позвоночного канала.

В отличие от представленной картины, изменение амплитуды М-ответов в большинстве отве-

дений у больных 3-й группы в процессе лечения носило характер дальнейшего прогрессирующего снижения.

В частности, к моменту завершения лечения в стационаре М-ответы в отведениях от *m. rectus femoris*, *m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius* (с. 1.), *m. soleus* и *m. flexor digitorum brevis* уменьшились в среднем до 14,8 % дооперационных величин. Исключение составляет динамика М-ответа в отведении от *m. extensor digitorum brevis*, где М-ответ резко (в 10,3 раза) возрос, по сравнению с дооперационной величиной. Кроме того, у больных указанной группы на данном этапе обследований отмечено выпадение Н-рефлекса не только в отведении от *m. soleus*, но и в отведении от *m. gastrocnemius* (с. 1.). Транскраниально вызванные потенциалы *m. tibialis anterior* также отсутствовали.

Спустя шесть месяцев после снятия аппарата транспедикулярной фиксации позвоночника и завершения лечения больных в стационаре, у больных 1 и 2 групп практически во всех отведениях наблюдалась отчетливая тенденция к увеличению М-ответов, которые достигли в указанный срок в среднем 109,2 и 96,4 %. Положительная динамика амплитуды М-ответов отмечена и у больных 3-й группы. В частности, амплитуда М-ответа в отведениях от *m. rectus femoris* и *extensor digitorum brevis* возросла по сравнению с дооперационными величинами в среднем в 1,4 и 30,9 раза, в то время как в других отведениях (*m. tibialis anterior*, *m. gastrocnemius* (с. 1.), *m. soleus*, *m. flexor digitorum brevis*) этот показатель оставался сниженным. В ближайшие сроки после лечения у больных третьей группы отмечено отсутствие Н-рефлексов и восстановление амплитуды ТКВП до 75,5 % дооперационного уровня.

На рисунке 3 представлена динамика усредненных амплитуд М-ответов различных мышц, выраженных в процентах от дооперационных величин. Из рисунка 3 следует, что реактивность корешково-сегментарных структур к альтерирующим факторам оперативного вмешательства у больных 3 группы, характеризуемых исходно более выраженным посттравматическим сенсомоторным дефицитом, существенно выше, чем у больных 1 и 2 групп.

Таким образом, приведенные данные подтверждают гипотезу о влиянии степени деформации позвоночного канала на выраженность денервационных изменений в мышцах нижних конечностей. Иными словами, есть основание полагать, что чувствительность сегментарных структур и корешков «конского хвоста» к компрессии и связанной с ней ишемии [5, 6] у больных с повреждением позвоночника грудопоясничной локализации в значительной степени определяет глубину и устойчи-

вость развившегося после травмы сенсомоторного дефицита. Результаты исследования могут быть использованы в решении задач диагностики и прогнозирования функциональных исходов оперативного лечения указанной категории больных.

ВЫВОДЫ

1. Имеется количественная взаимосвязь между ЭМГ-показателями посттравматического моторного дефицита и количественными КТ-характеристиками локального компрессионного синдрома спинного мозга, зарегистрированного на уровне повреждения позвоночника.

2. Характер послеоперационной динамики ЭМГ-показателей функционального состояния мышц нижних конечностей у больных с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы определяется выраженностью ЭМГ-признаков дооперационных амиотрофий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейрофизиологические и клинические аспекты реактивности и резистентности спинномозговых структур у больных с закрытыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева и др. // Вестн. РАМН. — 2000. — № 2. — С. 35—41.
2. Несмеянова Т.Н. Электромиографические показатели повреждения спинного мозга после его травмы / Т.Н. Несмеянова // Бюлл. эксп. биол. и мед. — 1975. — № 10. — С. 25—29.
3. Шевцов В.И. Наружная транспедикулярная фиксация при лечении больных с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника / В.И. Шевцов, А.Т. Худяев, С.В. Люлин. — Курган, 2003. — 207 с.
4. Шеин А.П. Методы диагностики и электростимуляционной терапии в комплексной реабилитации больных со свежей и застарелой травмой позвоночника и спинного мозга / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева // Пособие для врачей МЗ РФ РНЦ «ВТО». — Курган, 2002. — 28 с.
5. Шеин А.П. Взаимосвязь показателей перимедуллярного кровотока и ЭМГ-характеристик мышц нижних конечностей у больных с позвоночно-спинномозговой травмой / А.П. Шеин, Е.Н. Щурова, Г.А. Криворучко // Бюлл. ВСНЦ СО РАМН. — 2005. — № 6. — С. 107—113.
6. Carlson G.D. Early time-dependent decompression for spinal cord injury: vascular mechanisms of recovery / G.D. Carlson // J. Neurotrauma. — 1997. — Vol. 14, N 12. — P. 951—962.
7. Spinal cord blood flow in response to focal compression / P.W. Hitchon et al. // J. Spinal Disord. — 1990. — Vol. 3, N 3. — P. 210—219.