



# ИЗМЕНЕНИЯ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА БОЛЬНЫХ С ТРАВМАТИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СПИННОГО МОЗГА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Г.П. Котельников<sup>1</sup>, Л.П. Богданова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный медицинский университет

<sup>2</sup>Самарская областная клиническая больница

С целью совершенствования методики лечения с использованием биологической обратной связи (БОС) и выяснения механизма его действия проведено клинко-электромиографическое исследование по общепринятым методикам. Обследованы 68 больных в возрасте от 18 до 39 лет с травмами нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника с повреждением спинного мозга в период развернутой клинической картины травматической болезни спинного мозга и в период реабилитации. В процессе лечения за счет использования БОС отмечено увеличение амплитуды активности мышц в среднем на 60,2 % за счет увеличения суммарной возбудимости спинальных альфа-мотонейронов (10 %), преимущественно малых (64,8 %), уменьшения возбудимости больших и тормозного влияния центральной нервной системы (112,5 %).

**Ключевые слова:** травматическая болезнь спинного мозга, биологическая обратная связь, стимуляционная электромиография.

NEUROMUSCULAR CHANGES IN PATIENTS WITH TRAUMATIC DISEASE OF THE SPINAL CORD ON APPLICATION OF A BIOLOGICAL FEEDBACK

G.P. Kotelnikov, L.P. Bogdanova

Common clinical electromyography was performed to perfect treatment technique with biological feedback (BF) and to determine the mechanism of its action. Sixty eight patients at the age of 18 to 39 years with lower thoracic and lumbar spine and spinal cord injuries were examined at a period of a full-scale picture of spinal cord disease and a period of rehabilitation. The application of BF provided the average 60.2 % growth of muscular activity amplitude due to increase in total excitability of spinal alpha-motoneurons (10 %) (of mainly small (64.8 %) and reduction of excitability of big ones) and braking influence of the central nervous system (112.5 %).

**Key words:** traumatic disease of the spinal cord, biological feedback, stimulation electromyography.

Hir. Pozvonoc. 2005;(1):21–24.

Травматическая болезнь спинного мозга является одним из самых тяжелых заболеваний человеческого организма [2, 5]. Это обусловлено как сложностью патофизиологических механизмов травматической болезни, так и недостаточной эффективностью существующих методов лечения [3–5].

В последние годы возрос интерес к использованию в клинике биологической обратной связи (БОС). Это вызвано тем, что она повышает роль сознательного управления в реабилитации больного, позволяет осуществлять произвольную регуляцию функ-

ций или состояний, ранее не поддававшихся контролю пациента [6, 7]. Первые данные об успешном применении методов БОС при спинальной травме относятся к семидесятым годам XX века, когда были описаны случаи достижения некоторого клинического эффекта у больного с повреждением шейного отдела позвоночника и спинного мозга [7]. Однако прошло более тридцати лет, а метод применяется в клинике еще недостаточно широко из-за неотрабатанности методики и неясности механизмов лечебного действия.

С целью совершенствования методики лечения с использованием БОС и выяснения механизма его действия проведено клинко-электромиографическое исследование 68 больных (45 мужчин и 23 женщины) с двигательными нарушениями при травме нижнегрудного (36 человек) и поясничного (32 человека) отделов позвоночника с повреждением спинного мозга. Возраст больных – от 18 до 39 лет (в среднем  $26,9 \pm 1,2$ ). Исследование проведено в период развернутой клинической картины травматической болезни

спинного мозга и в период реабилитации.

У трех больных констатирован анатомический перерыв спинного мозга и корешков конского хвоста, у 15 – значительное частичное повреждение спинного мозга, у 23 – умеренное частичное и у 27 – незначительное частичное. Для устранения костных и других видов компрессии спинного мозга 42 больным выполнены декомпрессирующие операции с последующей стабилизацией позвоночника аутокостной пластикой.

Электрическую активность мышц изучали с помощью глобальной и стимуляционной электромиографии с вызыванием Н-рефлекса по общепринятым методикам [3, 8, 9] на аппарате фирмы «Медикор» в одних и тех же микроклиматических условиях с 10 до 13 ч до и после проведенного занятия с использованием БОС на фоне отмены лекарственных препаратов. Электромиограммы отводили накожными электродами.

Для сравнительной оценки результатов, получаемых в разные дни исследований у одного и того же больного, особое внимание уделяли постоянству расположения электродов. В качестве индикаторов использовали зрительный (амплитуда электромиограммы на экране визуализатора) и звуковой (сила и высота звука) сигналы.

На основании данных стимуляционной электромиографии вычисляли процентное отношение максимальных амплитуд Н- (Н) и М-ответа (М) камбаловидной мышцы. Степень депрессии Н-рефлекса при стимуляции с частотой 5 импульсов в секунду определяли по формуле:  $(Н-Н^*)/Н$ , где  $Н^*$  – среднее значение рефлекторного ответа, полученного в интервале от шестого до десятого стимула. Чувствительность первичных окончаний мышечных веретен оценивали по показателю Т/М, где Т – среднее значение амплитуды мышечного потенциала при вызывании ахиллова рефлекса в покое и при использовании приема Ендраассика. Наряду с этим определяли состав мотонейронов, вовле-

каемых в рефлекторный ответ.

По существующим представлениям, формирование Н-рефлекса происходит через вовлечение в рефлекторный ответ низкочастотных тонических малых альфа-мотонейронов (ММН) с последующим вовлечением фазических больших альфа-мотонейронов (БМН). Угасание Н-рефлекса идет в обратном порядке, начиная с БМН, поскольку они первыми антидромно блокируются вследствие более высокой чувствительности их аксонов. С учетом того, что ММН составляют в пуле камбаловидной мышцы не менее половины, определяют величину рефлекторного ответа при моторном, равном 0,5 М, когда БМН оказываются в основном антидромно блокированными, а оставшаяся часть Н-рефлекса формируется преимущественно ММН. В связи с этим степень вовлечения ММН вычисляли по формуле:  $(Н-н)/Н$ , где  $н$  – величина Н-ответа при 0,5 М.

При изложении материала данные представлены в виде  $X \pm \sigma$ , где  $X$  – среднее арифметическое,  $\sigma$  – ошибка средней. Уровень значимости при определении доверительного интервала принимался 0,01.

Контролем служили 130 практически здоровых людей (67 мужчин и 63 женщины) в возрасте от 21 до 38 лет. Средние значения показателей для всей группы обследованных составили:  
 $Н/М = 57,0 \pm 4,3 \%$ ;  
 $БМН = 69,2 \pm 3,6 \%$ ;  
 $ММН = 53,0 \pm 3,4 \%$ ;  
 $Т/М = 22,0 \pm 3,6 \%$ ;  
 $СД = 0,36 \pm 0,06$ .

Больных сначала знакомили с задачами применения БОС, затем демонстрировали им возникновение и исчезновение звукового и зрительного образа суммарной интерференционной электромиограммы при сильном напряжении и расслаблении здоровой и паретичной мышц. Определяли факторы и приемы, способствующие увеличению амплитуды паретичной мышцы, это были пощипывания кожи, наложение холода или движения, которые были освоены

до травмы на уровне двигательного стереотипа. Выбирали 1–2 приема, которые наилучшим образом способствовали увеличению амплитуды и частоты электрической активности. Затем предлагали выполнить один из них с фиксацией внимания на мышечном чувстве и запоминанием его. Каждый прием в серии повторяли 5–7 раз по 5–6 с на одно повторение. Выполняли три серии подряд с перерывом на 2–4 мин. После этого больному давали такое задание: не выполняя приема, в этом же исходном положении воспроизвести мышечное ощущение, способствующее увеличению амплитуды и частоты электрической активности. Общая продолжительность занятий составляла 30 мин. Процедуры проводили ежедневно в течение 5–16 дней.

Каждый сеанс включал следующие этапы: запись электромиограммы при попытке произвольного сокращения мышцы (максимальное время сокращения 30 с), три серии повторений при активном поддержании порогового уровня в условиях аутоконтроля с БОС, повторение активных фиксированных движений в отсутствии БОС.

Если больной успешно демонстрировал управление электрической активностью, то переходили к более сложным заданиям. При этом избирали соответствующую чувствительность усилительного блока и по амплитуде электромиограммы проводили количественную оценку в условных единицах электрической активности максимального мышечного усилия, достигаемого в отсутствии БОС.

Процедуру прекращали при нарастающем снижении (от пробы к пробе) амплитуды биоэлектрической активности мышцы, так как это указывало на развитие утомления. Оценивали взаимоотношения между мышцами-антагонистами. Закрепление двигательных навыков, сформированных с помощью БОС, продолжалось на занятиях лечебной гимнастикой.

В процессе занятий с использова-

нием БОС выделили следующие стадии: поиск, оптимальный уровень, утомление. В стадии поиска наблюдали синхронизацию осцилляций. Вначале преобладали асинхронные полиморфные потенциалы действия с небольшим числом гиперсинхронных колебаний. Число их постепенно увеличивалось до максимума в стадии оптимального уровня электрогенеза, что сопровождалось заметным уменьшением частоты следования. В стадии утомления отмечали повторное повышение частоты и снижение гиперсинхронных колебаний потенциала, что сочеталось с увеличением числа низковольтных полифазных разрядов.

При проведении занятий с использованием БОС было отмечено, что на одном занятии за счет использования БОС удавалось увеличить амплитуду электрической активности мышц в среднем на 60,2 %. Одним больным (22 наблюдения) для того, чтобы научиться управлять электрической активностью, понадобилось 1–2 занятия, другим (7 наблюдений) – 5–6, а некоторым (3 наблюдения) это так и не удалось, хотя у двух больных с очень глубокими парезами (на грани плеггии) и едва уловимой биоэлектрической активностью мышц (при максимальной чувствительности усилителя) повторные процедуры с попыткой изометрического сокращения мышцы сопровождались достоверными изменениями величины

суммарной электромиограммы, но на величину развиваемого у них мышечного усилия обратная связь не влияла. Отсутствие эффекта отмечалось также у одного больного с сопутствующей травматической и алкогольной энцефалопатией, у него было выражено снижение интеллектуально-мнестических функций в сочетании с постоянной подавленностью настроения. В поведении таких больных обращала на себя внимание малая личная заинтересованность в лечебном действии процедуры.

В отличие от этих трех больных, у остальных при тренировках с БОС была выявлена определенная закономерность. Средняя амплитуда биоэлектрической активности мышц во время первой процедуры без использования БОС составила  $2634 \pm 472$  условные единицы. При использовании БОС амплитуда биоэлектрической активности повышалась в среднем на 60,2 и была равна  $4214 \pm 568$  условные единицы. Больные, как правило, предпочитали использовать в качестве индикатора визуальную картину электромиограммы, а не звуковой сигнал. Мы объясняем это тем, что зрительно опосредованная деятельность включает постоянную трансформацию поступающих зрительных стимулов в двигательную систему благодаря моторным командам [1, 8], потому что зрение не только служит для построения внутреннего образа внешнего мира,

но ему присущи и моторные функции. Цикл «узнавание – деятельность» одновременно вовлекает различные уровни организации центральной нервной системы, которые удовлетворяют многообразным требованиям, связанным с целенаправленной деятельностью [1, 6, 9].

В результате ежедневных неоднократных тренировок уже к третьей процедуре отмечалось четкое нарастание силы паретичных мышц. Величина амплитуды биоэлектрической активности мышц во время поддержания напряжения на этой процедуре составляла  $4143 \pm 588$  условных единиц. Наличие БОС продолжало оказывать положительное влияние, приводя к повышению биоэлектрической активности до  $5203 \pm 553$  условных единиц. Этот эффект хотя и был менее выражен (нарастание лишь на 23 %), чем во время первого занятия, но оказался при статистической обработке достоверным.

В отличие от первых процедур, при пятой величина максимального мышечного усилия оставалась одинаковой независимо от того, отсутствовала или использовалась БОС. Амплитуда суммарной биоэлектрической активности мышцы была равна соответственно  $6775 \pm 1027$  и  $6734 \pm 960$  условным единицам. Сравнение величин биоэлектрической активности паретичных мышц при их изометрическом сокращении

Таблица 1

Стимуляционная электромиография больных в период развернутой клинической картины травматической болезни спинного мозга с использованием БОС

Показатели	До процедуры, %	После процедуры, %
Н/М*	$30,0 \pm 1,6$	$57,5 \pm 2,9$
Большие мотонейроны	$17,0 \pm 0,4$	$43,0 \pm 2,1$
Малые мотонейроны	$43,0 \pm 0,6$	$72,0 \pm 1,8$
Степень депрессии	$64,0 \pm 5,2$	$60,0 \pm 4,2$
Н/Т**	$28,1 \pm 3,9$	$46,4 \pm 2,1$

\* соотношение амплитуд Н-рефлекса и М-ответа;

\*\* соотношение амплитуд Н-рефлекса и ахиллова рефлекса.

Таблица 2

Стимуляционная электромиография больных в период реабилитации травматической болезни спинного мозга с использованием БОС

Показатели	До процедуры, %	После процедуры, %
Н/М*	$66,0 \pm 3,4$	$71,7 \pm 1,5$
Большие мотонейроны	$88,0 \pm 4,1$	$71,0 \pm 1,9$
Малые мотонейроны	$44,0 \pm 4,2$	$72,5 \pm 1,7$
Степень депрессии	$85,0 \pm 6,1$	$40,0 \pm 2,1$
Н/Т**	$98,8 \pm 7,4$	$50,2 \pm 5,0$

в условиях самоконтроля во время первой и пятой процедур показало нарастание ее в среднем на 10,2 %.

Результаты стимуляционной электромиографии до и после процедуры с использованием БОС представлены в табл. 1, 2. После занятия с использованием БОС в период развернутой клинической картины травматической болезни спинного мозга улучшение электромиографической картины сопровождалось увеличением суммарной возбудимости спинальных мотонейронов (в 1,9 раза) за счет фазических БМН (в 2,5 раза), тонических ММН (в 1,7 раза), чувствительности первичных окончаний мышечных веретен (в 1,6 раза). Уровень активности тормозных процессов центральной нервной системы практически не менялся.

Улучшение двигательной активности у больных под влиянием БОС в период реабилитации травматичес-

кой болезни спинного мозга сопровождалось увеличением (в 1,6 раза) амплитуды электрической активности при произвольном сокращении мышц. Данные стимуляционной электромиографии подтвердили, что это произошло за счет увеличения активности тонических ММН (в 1,6 раза), снижения чувствительности первичных окончаний мышечных веретен (в 2,0 раза), восстановления до уровня контроля показателя тормозных процессов центральной нервной системы, суммарной возбудимости спинальных мотонейронов, в том числе и фазических БМН.

Афферентный восходящий поток от проприорецепторов, образующийся при выполнении заданного движения и усиленный сигналами БОС, адресуется непосредственно в те центральные структуры мозга, которые ответственны за его реализацию [1, 9]. Он имеет высокую степень целевой

направленности, поскольку при этом двигательная активность четко контролируется сигналами внешней обратной связи и подразделяется по правильности выполнения [1, 6, 9]. Это важно для перестройки координационных механизмов в заданном направлении, так как полезный результат (по теории П.К. Анохина), являясь системообразующим фактором, преобразует и закрепляет прежде всего центральные звенья регуляции в соответствии с требованиями, предъявляемыми результатом [1, 8, 9].

Применение БОС позволило в короткий срок увеличить уровень двигательной активности больных за счет увеличения силы сокращения мышц, суммарной возбудимости спинальных мотонейронов, восстановления чувствительности первичных окончаний мышечных веретен и тормозных процессов центральной нервной системы.

## Литература

1. Байкова Р.В., Доронин Н.В. Роль сенсорных систем в управлении движениями // Здоровье и образование в XXI веке: Тез. докл. межрегион. научно-практ. конф. Майкоп, 2000. С. 12–14.
2. Гордиевский Н.И., Коваленко П.И., Сазонова Г.Д. и др. Восстановление функций поврежденного спинного мозга и гемодинамических показателей // Актуальные вопросы и перспективы развития многопрофильного лечебного учреждения: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 15-летию 16 Центрального специализированного военного госпиталя Министерства обороны России. Шиханы, 2001. С. 188.
3. Команцев В.Н., Заболотных Н.И. Методологические основы клинической электромиографии. СПб., 2001.
4. Кондаков Е.Н., Симонова И.А., Поляков И.В. Эпидемиология травм позвоночника и спинного мозга в Санкт-Петербурге // Вопросы нейрохирургии. 2002. № 2. С. 50–53.
5. Котельников Г.П. Наша концепция травматической болезни // Панорама Самарской ортопедии: Тез. докл. юбилейной научно-практ. конф. СамГМУ. Самара, 2003. С. 90–95.
6. Штарк М.Б., Павленко С.С., Сжок А.Б. и др. Биоуправление в клинической практике // Неврологический журнал. 2000. № 4. С. 52–56.
7. Baker N., Ronsky J. Muscle force quantification by partition using surface EMG // Arch. Physiol. Biochem. 2000. Vol. 108. P. 55.
8. Duncan A., McDonagh M. Human soleus muscle H-reflex is reduced both by compression of the supine horizontal subject and by changing to stabilized standing // Sci. Meet. Physiol. Soc. 2000. N 20. P. 523–533.
9. Sosa H.M. La fractura vertebral: Una entidad en busca de definicion // Med. Clin. (Barc). 2000. Vol. 115. P. 661–662.

### Адрес для переписки:

Богданова Лариса Петровна  
443091, Самара, пр. Кирова, 273, кв. 28,  
pvs@ssau.ru