

А.П. Шейн, А.А. Скрипников, Г.А. Криворучко

## БИЛАТЕРАЛЬНЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭНМГ- И ЭЭГ-ХАРАКТЕРИСТИК ПИРАМИДНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У БОЛЬШИХ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ИНСУЛЬТА И ТРАВМЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития России (Курган)

С целью оценки степени выраженности межполушарного взаимодействия комплексное нейрофизиологическое (электронейромиография, электроэнцефалография) тестирование проведено у 163 человек в возрасте от 12 до 74 лет в резидуальном периоде ишемического (108 человек) и геморрагического (22 человека) полушарного инсульта в бассейне средней мозговой артерии, а также тяжелой черепно-мозговой травмы с ушибом головного мозга (33 человека). Полученные данные свидетельствуют о наличии отчетливого отрицательного влияния постинсультного/посттравматического церебрального дефекта на функциональные характеристики контралатерального («интактного») полушария головного мозга, отражающегося в пропорциональных изменениях всего спектра анализируемых нейрофизиологических признаков. Эти изменения затрагивают все тестируемые модули нейромоторного аппарата и прослеживаются в течение длительного периода после перенесенного инсульта или черепно-мозговой травмы.

**Ключевые слова:** инсульт, межполушарное взаимодействие, электронейромиография, электроэнцефалография

## BILATERAL INTERRELATIONS OF ENMG- AND EEG-CHARACTERISTICS OF PYRAMID INSUFFICIENCY IN PATIENTS WITH THE CONSEQUENCES OF STROKE AND OF BRAIN INJURY

A.P. Shein, A.A. Skripnikov, G.A. Krivoruchko

The Russian Ilizarov Scientific Center "Restorative Traumatology and Orthopaedics", Kurgan

The aim of the work was to estimate the degree of intensity of interhemispheric interaction with use of complex neurophysiological (electroneuromyography, electroencephalography) testing of 163 patients of 12–74 years in residual period of ischemic ( $n = 108$ ) and hemorrhagic ( $n = 22$ ) hemispheric stroke and severe craniocerebral injury with brain contusion ( $n = 33$ ). Obtained data testifies to the distinct negative influence of postinsult/posttraumatic cerebral defect on functional characteristics of counter-lateral ("intact") hemisphere that is reflected in proportional changes of all the spectrum of analyzed neurophysiological signs. These changes affects all the tested modules of neuromotor system and can be observed over a long period after the stroke or craniocerebral injury.

**Key words:** stroke, interhemispheric interaction, electroneuromyography, electroencephalography

Дишиз — трансинаптическая функциональная деактивация нейронных структур, возникающая на расстоянии от очага церебрального поражения. Данный феномен развивается вследствие дефицита возбуждающих импульсов после повреждения комиссуральных путей мозга или нарушения модулирующего влияния различных нейротрансмиттерных систем. Явления дишиза имеют наибольшую интенсивность в раннем восстановительном периоде инсульта [2], но при неблагоприятном течении заболевания имеют стойкий характер [3, 4], наблюдаются спустя годы после перенесенного инсульта [6] и сопровождаются вторичными морфологическими изменениями в церебральной ткани. Данная проблематика наиболее полно освещена при изучении ранних периодов заболевания [5, 7, 8], а информация о проявлениях дишиза в отдаленном периоде инсульта является в настоящее время фрагментарной и требующей уточнения.

Цель исследования состояла в оценке степени выраженности межполушарного взаимодействия у пациентов с последствиями церебрального ин-

сульта или травмы головного мозга в отдаленном периоде заболевания.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Комплексному нейрофизиологическому тестированию (ЭМГ, ЭЭГ) подвергнуто 163 человека (45 женщин, 118 мужчин) в возрасте от 12 до 74 лет (средний возраст —  $44,9 \pm 1,0$  лет) с последствиями ишемического (108 человек) и геморрагического (22 человека) полушарного инсульта в бассейне средней мозговой артерии, а также тяжелой черепно-мозговой травмы с ушибом головного мозга (33 человека). Пациенты обследовались в резидуальном периоде заболевания — спустя 0,5–3 года после инсульта или травмы головного мозга.

Методами глобальной ЭМГ (проба «максимальное произвольное напряжение») и стимуляционной ЭМГ (регистрация М-ответов) тестировались восемь мышц верхних конечностей (*m. deltoideus*, *m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*, *m. extensor digitorum*, *m. flexor carpi radialis*, *m. flexor carpi ulnaris*, *mm. Thenar*, *mm. Hypothenar*) и три мышцы — нижних (*m. tibialis anterior*, *m.*

*gastrocnemius (cap. lat.)*, *m. rectus femoris*). В качестве базового критерия пирамидного дефицита использовался предложенный нами цереброспинальный индекс (ЦСИ), рассчитываемый из соотношения средней амплитуды суммарной ЭМГ (проба «максимальное произвольное напряжение») и амплитуды М-ответов одноименных мышц. Указанный показатель обеспечивает возможность интегральной оценки состояния структурно-функционального «модуля» моторного аппарата «моторная кора – спинальные мотонейроны – мышца». Электроэнцефалографические исследования проводились по общепринятой схеме. Количественный анализ ЭЭГ-характеристик осуществлялся с расчетом абсолютной мощности (АМ) (параметра, характеризующего амплитуду колебаний) и относительной мощности (ОМ) (процентной представленности активности определенного частотного диапазона в структуре всех видов ритмики). Используемое оборудование – система ЭМГ и ВП «Viking-IV» (Nicolet, США), магнитоимпульсный стимулятор «Quadropuls-500» (Magstim, Великобритания) и ЭЭГ-система «Pegasus» (EMS, Австрия).

В качестве контроля использованы данные 32 здоровых испытуемых (студенты физкультурного факультета Курганского государственного университета) мужского пола 17 – 21 года.

Статистическая обработка данных производилась с помощью пакета анализа данных Microsoft Excel 2003, дополненного программой «Attestat». Достоверность различия сопоставляемых выборок показателей оценивалась с помощью критериев Смирнова и Вилкоксона [1]; взаимосвязь признаков – с помощью коэффициентов линейной

корреляции Пирсона (r). Принятый уровень статистической значимости выводов – 0,05.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки межполушарного взаимодействия проанализированы пакеты данных ЦСИ пораженных и «интактных» конечностей в трех подгруппах пациентов, сформированных по этиологии заболевания. Средние значения ЦСИ у больных указанных подгрупп сведены в таблице 1, уровень билатеральных взаимосвязей ЦСИ представлен в таблице 2.

**Таблица 2**  
Значения коэффициента линейной корреляции Пирсона (r), рассчитанные между цереброспинальными индексами мышц паретичных и контралатеральных конечностей у больных трех групп

Мышца	Ишемия	Геморрагия	Травма
<i>m. deltoideus (cap. med.)</i>	0,128	0,347	0,428*
<i>m. biceps brachii (cap. lon.)</i>	0,252*	0,316	0,254
<i>m. triceps brachii (cap. lon.)</i>	0,384*	0,898*	0,606*
<i>m. flexor carpi radialis</i>	0,084	0,131	0,129
<i>m. flexor carpi ulnaris</i>	0,430*	0,404	0,461*
<i>m. extensor digitorum</i>	0,479*	0,506*	0,276
<i>mm. Thenar</i>	0,047	0,210	0,327
<i>mm. Hypothenar</i>	0,215*	0,329	0,397*
<i>m. tibialis anterior</i>	0,422*	0,634*	0,555*
<i>m. gastrocnemius (cap. lat.)</i>	0,362*	0,315	0,478*
<i>m. rectus femoris</i>	0,403*	0,428*	0,450*

**Примечание:** \* – статистически значимые ( $p < 0,05$ ) коэффициенты корреляции.

**Таблица 1**  
Средние значения ( $M \pm m$ ) цереброспинальных индексов мышц паретичных и контралатеральных конечностей у больных трех групп

Мышца	Контралатеральная конечность			Паретичная конечность			Контроль
	Ишемия	Геморрагия	Травма	Ишемия	Геморрагия	Травма	
<i>m. deltoideus (cap. med.)</i>	0,107 ± 0,008	0,100 ± 0,011	0,075 ± 0,007 <sup>#</sup>	0,040 ± 0,004	0,031 ± 0,006	0,042 ± 0,009	0,176 ± 0,011
<i>m. biceps brachii (cap. lon.)</i>	0,069 ± 0,004	0,046 ± 0,005*	0,052 ± 0,004*	0,019 ± 0,002	0,009 ± 0,002*	0,026 ± 0,004* <sup>#</sup>	0,085 ± 0,004
<i>m. triceps brachii (cap. lon.)</i>	0,025 ± 0,001	0,021 ± 0,002	0,024 ± 0,002	0,010 ± 0,001	0,006 ± 0,001*	0,014 ± 0,002* <sup>#</sup>	0,028 ± 0,002
<i>m. flexor carpi radialis</i>	0,027 ± 0,001	0,016 ± 0,002*	0,023 ± 0,002	0,009 ± 0,001	0,004 ± 0,001*	0,011 ± 0,002 <sup>#</sup>	0,027 ± 0,001
<i>m. flexor carpi ulnaris</i>	0,043 ± 0,002	0,033 ± 0,006	0,033 ± 0,004*	0,010 ± 0,001	0,008 ± 0,003	0,021 ± 0,003* <sup>#</sup>	0,035 ± 0,002
<i>m. extensor digitorum</i>	0,045 ± 0,002	0,037 ± 0,004	0,038 ± 0,003	0,012 ± 0,002	0,007 ± 0,002	0,020 ± 0,003* <sup>#</sup>	0,052 ± 0,004
<i>mm. Thenar</i>	0,095 ± 0,004	0,106 ± 0,010	0,091 ± 0,008	0,030 ± 0,003	0,031 ± 0,005	0,049 ± 0,007* <sup>#</sup>	0,103 ± 0,056
<i>mm. Hypothenar</i>	0,068 ± 0,004	0,049 ± 0,004*	0,061 ± 0,006	0,014 ± 0,002	0,005 ± 0,001*	0,024 ± 0,005* <sup>#</sup>	0,075 ± 0,005
<i>m. tibialis anterior</i>	0,071 ± 0,003	0,045 ± 0,005*	0,062 ± 0,005 <sup>#</sup>	0,029 ± 0,003	0,016 ± 0,003	0,030 ± 0,004 <sup>#</sup>	0,094 ± 0,008
<i>m. gastrocnemius (cap. lat.)</i>	0,011 ± 0,001	0,008 ± 0,001*	0,010 ± 0,001	0,005 ± 0,001	0,003 ± 0,001*	0,006 ± 0,001	0,016 ± 0,001
<i>m. rectus femoris</i>	0,020 ± 0,001	0,015 ± 0,001*	0,016 ± 0,001*	0,011 ± 0,001	0,010 ± 0,002	0,011 ± 0,001	0,034 ± 0,002

**Примечание:** \* – отличие ( $p < 0,05$ ) от ЦСИ больных с ишемическим инсультом; <sup>#</sup> – отличие ( $p < 0,05$ ) от ЦСИ больных с геморрагическим инсультом.

Показано, что у лиц, перенесших ишемический инсульт, значение анализируемого показателя на стороне пареза по 11 отведениям от мышц верхней и нижней конечности было снижено в среднем на  $71,9 \pm 1,8$  %. На контралатеральной стороне в отведениях от *m. flexor carpi radialis*, *m. flexor carpi ulnaris* ЦСИ оказались в пределах нормы, а в остальных отведениях — были снижены в среднем на  $21,8 \pm 4,3$  %. Максимальный моторный дефицит на пораженной стороне выявлен в отведении от *mm. hypothenar* (ЦСИ снижен на  $81,7$  %;  $p < 0,001$ ), минимальный — по *m. triceps brachii* (на  $62,7$  %;  $p < 0,001$ ). На контралатеральной стороне снижение ЦСИ достигало  $41,2$  % ( $p < 0,001$ ; *m. rectus femoris*). При оценке взаимосвязи относительных величин ЦСИ (% от нормы) мышц паретичных и контралатеральных конечностей коэффициент линейной корреляции Пирсона варьировал в диапазоне от  $0,047$  до  $0,479$  (табл. 2), причем в восьми отведениях он оказался статистически значимым ( $p < 0,05$ ).

В подгруппе больных с ранее перенесенным геморрагическим инсультом ЦСИ паретичных мышц был снижен гораздо значительнее, чем при ишемическом типе инсульта (в среднем на  $81,4 \pm 2,1$  %). В частности, способность к произвольному контролю мышечным напряжением контралатеральных конечностей у данных пациентов пострадала в десяти отведениях: ЦСИ оказался сниженным в среднем на  $38,2 \pm 5,0$  %. Наиболее грубое снижение ЦСИ на пораженной стороне отмечено в отношении *mm. hypothenar* (на  $93,2$  %;  $p < 0,001$ ), на противоположной — в отношении *m. rectus femoris* (на  $56,5$  %;  $p < 0,001$ ). В наименьшей степени на стороне пареза пострадала *mm. thenar* (на  $69,8$  %;  $p < 0,001$ ). Выявлена в различной степени выраженная положительная билатеральная взаимосвязь функционального состояния одноименных групп мышц конечностей ( $r$  варьирует в пределах от  $0,131$  до  $0,898$ ), оказавшаяся статистически значимой в четырех из одиннадцати отведений (*m. triceps brachii*, *m. extensor digitorum*, *m. tibialis anterior*, *m. rectus femoris*). Сопоставление средних значений ЦСИ данной подгруппы больных с показателями, полученными при обследовании лиц, перенесших ишемический инсульт, выявлено, что при геморрагическом инсульте изменения характеристик функционального статуса сенсомоторных структур имеют большую выраженность во всех анализируемых отведениях как на стороне пареза, так и в симметричных отведениях контралатеральных конечностей (табл. 1). Межгрупповые отличия оказались статистически значимы в пяти отведениях от мышц на стороне гемипареза и в шести отведениях от мышц противоположной стороны ( $p < 0,01$ ).

У лиц, перенесших тяжелую черепно-мозговую травму с ушибом головного мозга, анализируемый ЭМГ-показатель мышц паретичных конечностей оказался наиболее высоким — уровень снижения ЦСИ относительно контрольных величин составил в среднем  $61,4 \pm 3,1$  %. На контралатеральной стороне ЦСИ был снижен на  $28,6 \pm 5,1$  %. Наи-

более выраженный пирамидный дефицит на пораженной стороне зарегистрирован в отведении от *m. deltoideus* (ЦСИ снижен на  $76,1$  %;  $p < 0,001$ ), наименее выраженный — от *m. flexor carpi ulnaris* (на  $41,4$  %;  $p < 0,001$ ). На противоположной стороне наиболее пострадавшей также оказалась *m. deltoideus* (ЦСИ был ниже нормы на  $57,5$  %;  $p < 0,001$ ). Коэффициент корреляции между ЦСИ симметричных отведений в данной подгруппе больных составил  $0,129 - 0,606$ , причем в 7 из 11 отведений он оказался статистически значимым. Отмечено также, что значения ЦСИ мышц паретичных конечностей у данных пациентов были выше, чем аналогичные показатели у лиц, перенесших ишемический инсульт (статистически значимо в 6 отведениях). В то же время ЦСИ мышц «интактной» стороны во всех отведениях были несколько ниже, причем в трех отведениях — достоверно ( $p < 0,05$ ). Сравнительная анализируемые показатели больных, перенесших черепно-мозговую травму, с данными, полученными в подгруппе с последствиями геморрагического инсульта, отмечен более высокий уровень сохранности моторного контроля у первых, причем в большинстве отведений (8) достоверно на стороне пареза и в 1 отведении (*m. tibialis anterior*) — на контралатеральной стороне.

Произведена оценка взаимосвязи характеристик церебральной ритмики со степенью выраженности гемипареза. Данные спектрального анализа ЭЭГ выявили, что ОМ дельта-активности над пораженным полушарием составила в среднем  $26,5 \pm 1,3$  %, что оказалось выше нормы почти в 2 раза (на  $81,5$  %;  $p < 0,001$ ). В отношении амплитудных характеристик отмечено превышение нормативных значений на  $75,0$  % ( $AM = 52,5 \pm 4,0$  мкВ<sup>2</sup>). Представленность дельта-ритмики в «интактном» полушарии была выше контрольных величин на  $43,8$  % ( $p < 0,001$  в половине отведений), составил  $21,0 \pm 1,9$  %, а средняя амплитуда составила  $29,8 \pm 2,7$  мкВ<sup>2</sup> (при норме  $30,0 \pm 2,5$  мкВ<sup>2</sup>). Выявлена отрицательная взаимосвязь количественных характеристик дельта-активности с относительными (выраженными в процентах от контроля) величинами ЦСИ паретичных конечностей. В частности,  $r$ , рассчитанный между ЦСИ и ОМ указанной патологической ритмики пораженной гемисферы, составил  $-0,445$  ( $p < 0,01$ ). Амплитудные показатели дельта-активности коррелировали с ЦСИ несколько слабее:  $r = -0,252$  ( $p < 0,05$ ). Сходная картина отмечена и при анализе взаимосвязи аналогичных характеристик «интактного» полушария ( $r = -0,321$  ( $p < 0,01$ ) и  $r = -0,155$  ( $p > 0,05$ ) соответственно).

Степень присутствия тета-активности в отведениях от пораженного полушария составила в среднем  $20,0 \pm 0,8$  % ( $p < 0,001$ ) при норме  $10,9 \pm 1,5$  %. Амплитудный показатель оказался выше нормы на  $44,4$  % ( $p < 0,01$  по средневисочному отведению). ОМ тета-ритмики «интактного» полушария составила  $18,2 \pm 1,4$  %, что превысило контрольное значение на  $67,0$  % ( $p < 0,001$ ). АМ составила в среднем  $26,4 \pm 3,4$  мкВ<sup>2</sup> (выше нормы

на 5,6 %). Отмечена статистически значимая отрицательная взаимосвязь ОМ тета-активности и ЦСИ как в пораженном ( $r = -0,386; p < 0,01$ ), так и в «интактном» ( $r = -0,403; p < 0,01$ ) полушарии, а также отрицательная взаимосвязь амплитудных показателей данного типа активности с ЦСИ (соответственно,  $r = -0,246 (p < 0,05)$ ;  $r = -0,234 (p < 0,05)$ ).

Усредненная ОМ альфа-ритма пораженной гемисферы была зафиксирована на уровне  $38,8 \pm 2,9 \%$ , что ниже ( $p < 0,001$ ) нормы на  $31,1 \%$ . Амплитудные характеристики альфа-ритма были снижены ( $p < 0,001$ ) на  $57,5 \%$  ( $73,3 \pm 12,1 \text{ мкВ}^2$ ). Процентная представленность альфа-ритма, зарегистрированного над контралатеральным полушарием, составила в среднем  $41,9 \pm 3,5\%$  (что ниже нормы на  $25,6 \%$ ;  $p < 0,001$ ), а АМ —  $77,4 \pm 14,4 \text{ мкВ}^2$  (ниже нормы на  $55,1 \%$ ;  $p < 0,001$ ). На стороне гемипареза выявлена достоверная положительная взаимосвязь ЦСИ с показателем представленности альфа-ритма и его амплитудой, причем как пораженного, так и «интактного» полушария. Коэффициент корреляции между ЦСИ и ОМ пораженного полушария составил  $0,488 (p < 0,01)$ , контралатерального —  $0,408 (p < 0,01)$ . Коэффициенты корреляции между ЦСИ и АМ составили, соответственно,  $r = 0,377 (p < 0,01)$  и  $r = 0,321 (p < 0,01)$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о наличии отчетливого отрицательного влияния постинсультного/посттравматического церебрального дефекта на функциональные характеристики контралатерального («интактного») полушария головного мозга, отражающегося в пропорциональных изменениях всего спектра анализируемых ней-

рофизиологических (ЭЭГ и ЭМГ) признаков. Эти изменения затрагивают все тестируемые модули нейромоторного аппарата (цереброспинальный индекс «интактной» конечности в среднем по всем отведениям у обследованных больных оказался ниже контрольных величин на  $28,6 \%$ ) и прослеживаются в отдаленные (более 1 года) сроки после перенесенного инсульта или черепно-мозговой травмы. Полученные данные могут оказаться полезными при разработке новых методов консервативной и хирургической реабилитации указанной категории больных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гланц С. Медико-биологическая статистика. — М.: Практика, 1999. — 459 с.
2. Гехт А.Б. Лечение больных инсультом в восстановительном периоде // *Consilium medicum*. — 2000. — № 12. — С. 521—525.
3. Contribution of diaschisis to the clinical deficit in human cerebral infarction / J.V. Bowler, J.P.H. Wade, B.E. Jones [et al.] // *Stroke*. — 1995. — Vol. 26. — P. 1000—1006.
4. Crossed cerebellar diaschisis and brain recovery after stroke / B. Infeld, S.M. Davis, M. Lichtensten [et al.] // *Stroke*. — 1995. — Vol. 26. — P. 90—95.
5. Evolution of diaschisis in focal stroke model / S.T. Carmichael, K. Tatsukawa, D. Katsman [et al.] // *Stroke*. — 2004. — Vol. 35. — P. 758—763.
6. Feeney D.M., Baron J.C. Diaschisis // *Stroke*. — 1986. — Vol. 7. — P. 817—830.
7. Johansson B.B. Brain plasticity and stroke rehabilitation // *Stroke*. — 2000. — Vol. 20. — P. 223—230.
8. Remote changes in cortical excitability after stroke / C.M. Butefisch, J. Netz, M. Webling [et al.] // *Brain*. — 2003. — Vol. 126. — P. 470—481.

#### Сведения об авторах

**Шеин Александр Порфирьевич** — доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией физиологии движений и нейрофизиологии ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития России (640020, г. Курган, отд. св. № 14, а/я 1809; тел.: 8 (961) 749-14-19; e-mail: sheinar@mail.ru)

**Скрипников Александр Анатольевич** — кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории физиологии движений и нейрофизиологии ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития России

**Криворучко Галина Алексеевна** — старший научный сотрудник лаборатории физиологии движений и нейрофизиологии ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития России