



## ДИНАМИКА АСИММЕТРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ДЕФОРМАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА

Ю.С. АРЕСТОВА, М.А. БОГАТЫРЕВ, М.С. САЙФУТДИНОВ, М.С. СЕРГЕЕНКО, П.В. ОЧИРОВА

ФГБУ «НМИЦ травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава РФ,  
ул. М. Ульяновой, 6, Курган, 640014, Россия

**Аннотация. Цель работы** – статистическая оценка выраженности асимметрии ЭМГ-показателей у пациентов со сколиозом разной этиологией и её динамикой под влиянием хирургического вмешательства на позвоночнике. **Материалы и методы исследования.** Ретроспективное исследование основано на анализе протоколов электромиографических обследований и протоколов интраоперационного нейромониторинга 87 больных 15,6±0,6 лет с деформациями позвоночника различной этиологии до и после её хирургической коррекции. **Результаты и их обсуждение.** Статистическое распределение асимметрии электрической активности существенно отличается от нормального. Для вызванной активности максимум его локализован в области низких значений, для произвольной активности и интраоперационных моторных ответов имеется по два локальных максимума. Отличия асимметрии электрической активности пациентов с деформацией позвоночника от соматически здоровых людей связаны в большей степени с функциональными, чем со структурными свойствами моторной системы. После оперативной коррекции деформации позвоночника в краткосрочной перспективе структурная асимметрия не меняется. Изменения характера функциональной асимметрии в большей степени отражает последствия воздействия на сенсомоторную систему комплекса факторов анестезии и хирургической агрессии, на что указывает сходство распределения и динамики асимметрий произвольной активности и моторных вызванных потенциалов.

**Ключевые слова:** электромиография, нейромониторинг, функциональная асимметрия, деформация позвоночника.

## DYNAMICS OF MUSCLE ELECTRICAL ACTIVITY ASYMMETRY DURING SURGICAL CORRECTION OF SPINAL DEFORMITY

Yu.S. ARESTOVA, M.A. BOGATYREV, M.S. SAIFUTDINOV, M.S. SERGEENKO, P.V. OCHIROVA

Federal State Budgetary Institution “G.A. Ilizarov’s National Medical Research Center for Traumatology and Orthopaedics” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,  
6 M. Ulyanovoy str., Kurgan, 640014, Russia

**Abstract. Purpose** of the study was to statistically assess the severity of EMG asymmetry indicators in patients with scoliosis of different etiology and its dynamics influenced by spinal surgery. **Materials and methods of the research.** The retrospective study was based on the analysis of electromyographic examination protocols and intraoperative neuromonitoring protocols of 87 patients aged 15.6±0.6 with spinal deformities of different etiology before and after surgical correction. **Results and their discussion.** The statistical distribution of electrical activity asymmetry differs significantly from the normal distribution. For evoked activity, its maximum is localized in the region of low values whereas for voluntary activity and intraoperative motor responses there are two local maximums for each one. The differences in the asymmetry of electrical activity between patients with spinal deformity and somatically healthy people are related more to the functional than to the structural properties of the motor system. After surgical correction of spinal deformity, the structural asymmetry does not change in the short term. Changes in the functional asymmetry character to a greater extent reflect the consequences of anaesthesia and surgical aggression complex factors effect on the sensorimotor system, which is indicated by the similarity of distribution and dynamics of arbitrary activity asymmetries and of motor evoked potentials.

**Key words:** electromyography, neuromonitoring, functional asymmetry, spinal deformity.

Данные литературы [6] указывают, что асимметрия амплитуды силовых и ЭМГ-показателей мышц нижних конечностей у соматически здоровых людей не превышает 18%, а в условиях деформации позвоночника она значительно варьирует, иногда достигая больших значений [4, 7, 9].

Средние и высокие значения асимметрии *электромиографических* (ЭМГ)-показателей мышц нижних конечностей на фоне деформации позвоночника могут иметь разные причины, т.е. указывать на разные физиологические и патофизиологические механизмы их возникновения. Это в свою очередь может

стать источником для диагностики функционального состояния нервно-мышечного аппарата пациента и последующей за хирургическим вмешательством реабилитации. **Цель работы** – статистическая оценка выраженности асимметрии ЭМГ-показателей у пациентов со сколиозом разной этиологией и её динамикой под влиянием хирургического вмешательства на позвоночнике.

**Материалы и методы исследования.** Ретроспективное исследование основано на анализе протоколов ЭМГ обследований и протоколов *интраоперационного нейромониторинга* (ИОНМ) 87 больных (30 мужского, 57 женского пола), в возрасте 6-43 лет ( $15,6 \pm 0,6$  лет) с деформациями позвоночника ( $15^\circ$ - $135^\circ$ ) различной этиологии. ЭМГ обследование производилось перед оперативной коррекцией деформации позвоночника [1, 2, 3, 5] и спустя две недели после него с использованием цифровой системы «*Viking EDX*» (*Natus Medical Incorporated*, США). Функциональное состояние выбранных мышц-индикаторов оценивалось по результатам выполнения теста «*максимальное произвольное напряжение*» (амплитуда –  $A_{emg}$  интерференционной электромиограммы), и амплитуде ( $A_m$ ) *моторных ответов* (М-ответов) на электрические стимулы супрамаксимальной интенсивности. Отведение биоэлектрической активности мышц осуществлялось через накожные электроды, при максимальном произвольном напряжении – биполярно, при супрамаксимальной стимуляции – монополярно. Интраоперационный нейромониторинг *моторных вызванных потенциалов* (МВП) осуществлялся с помощью системы «*ISIS IOM*» (*Inomed Medizintechnik GmbH*, Германия).

Математическая обработка полученных данных проводилась с помощью программного комплекса *Microsoft Excel 2010*. Рассчитывали коэффициенты асимметрии ( $As\%$ ) амплитуд ЭМГ показателей как разность максимального ( $A_{max}$ ) и минимального ( $A_{min}$ ) значения в симметричных точках отведения, выраженную в % от максимума.

С помощью средств аппроксимации *Microsoft Excel 2010* подбиралось уравнение, наилучшим образом (при максимально возможном значении коэффициента детерминации ( $R^2$ )) описывающее распределение частоты встречаемости разных уровней асимметрии. Таким уравнением во всех случаях оказался полином вида:  $n/N = X_1 \times As^3 + X_2 \times As^2 + X_3 \times As + X_4$ , где  $X_j$  – некоторые эмпирические коэффициенты связи между значениями коэффициента асимметрии и частотой встречаемости данного значения.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации Минздрава России (протокол № 2(70) от 21.10.2021). Оно выполнялось в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации с последующими изменениями. Пациенты, достигшие 18 лет, а также родители детей или их законные представители подписали информированное добровольное согласие на проведение диагностических исследований и публикацию данных без идентификации личности.

**Результаты и их обсуждение.** Для большеберцовой и икроножной мышц в предоперационном периоде преобладают низкие значения асимметрии амплитуды М-ответа (рис.1 А, Е) случаи умеренной и высокой асимметрии крайне редки. В то же время распределение частоты встречаемости разных уровней асимметрии произвольной ЭМГ (рис.1 В, F) имеет в дополнении к первому пику (характерному для соматически здоровых) людей в области низких частот встречаемости (до 20%) намечается второй локальный пик, и в области средних значений 30-60%. Поскольку М-ответ отражает структурную (прежде всего анатомическую), а произвольная ЭМГ – функциональную организацию моторной системы, то на основании данных диаграмм можно заключить, что деформация позвоночника в меньшей степени затрагивает структуру моторной системы нижних конечностей, но большей мере отражается на её функциональном состоянии. Если учесть знак асимметрии, когда максимальная вызванная и произвольная активность в паре симметричных мышц регистрируется справа (красные столбики) или слева (зелёные столбики), то наблюдается сходная картина распределения значений асимметрии. Но ввиду того, что при этом уменьшается количество наблюдений, становятся более заметными случайные флуктуации частоты встречаемости. Тем не менее, отчётливо видно наличие двух локальных максимумов статистического распределения.

В послеоперационном периоде вид распределения значений асимметрии М-ответов тестируемых мышц (рис. 1 С, G) без учёта и с учётом её направления становится значительно более хаотичным, чем до операции и чем для мышцы бедра, при сохранении общей тенденции снижения частоты встречаемости значений асимметрии с ростом её уровня. Но при этом качество аппроксимации так же заметно снижается, оставаясь всё же приемлемым. Судя по аппроксимационной кривой, снижение происходит плавно до значений 25-30%, после чего частота встречаемости асимметрии выходит практически на плато. Это видно и для серых и для цветных столбиков.

Для асимметрии произвольной ЭМГ в послеоперационном периоде для передней большеберцовой мышцы (рис. 1 D) формируется единый абсолютный максимум. Это справедливо как для обобщённых значений, так и для распределений с учётом направленности асимметрии справа на лево и слева на право. При этом качество аппроксимации всеми видами функций, предлагаемых *Microsoft Excel 2010*, стало неприемлемым. Для произвольной ЭМГ икроножной мышцы (рис. 1 H) сохраняется максимум в области

низких значений асимметрии, а вся остальная часть распределения становится более «плоско» Это относится и обобщённым значениям асимметрии и к графикам, учитывающим направленность асимметрии.

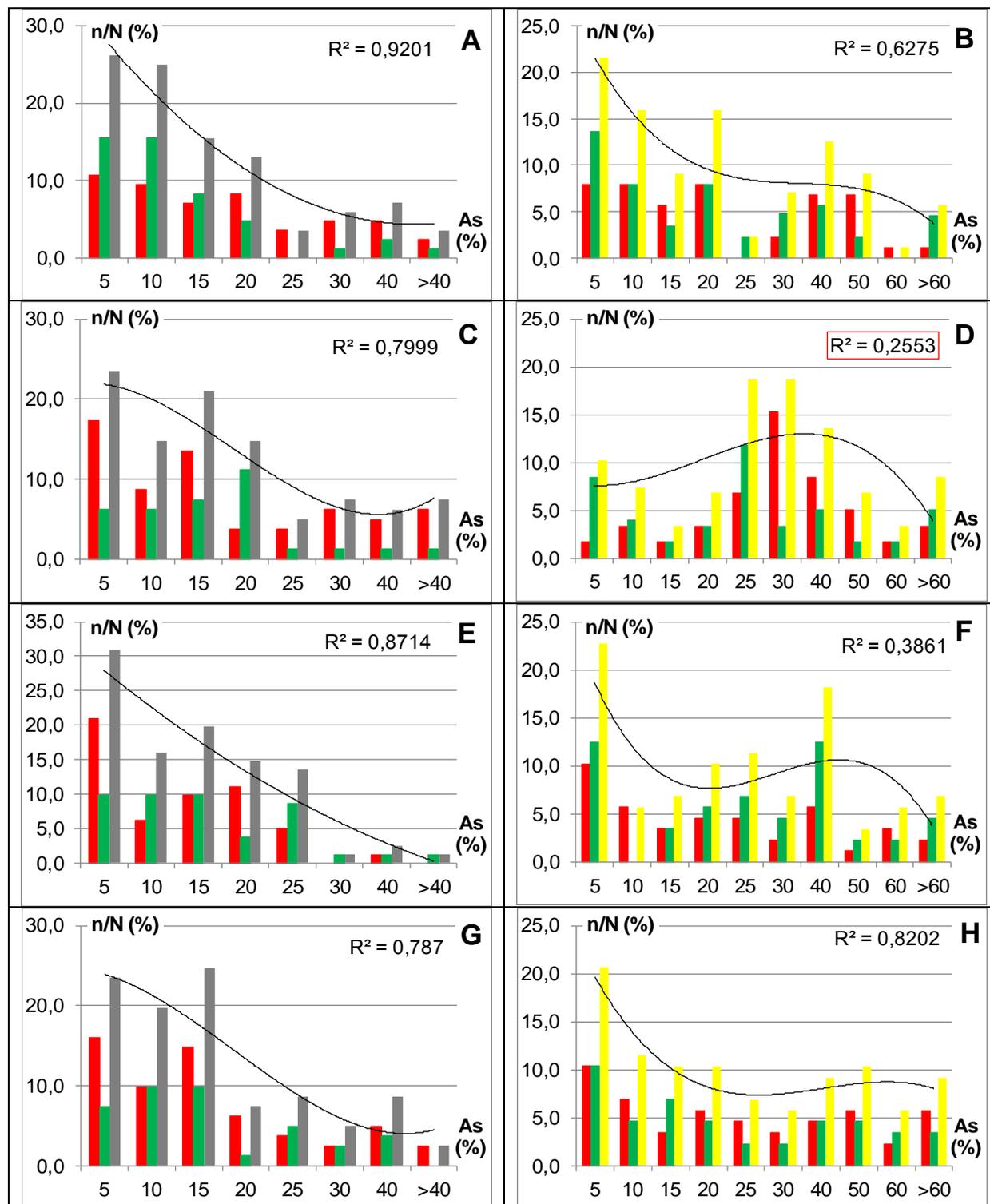


Рис. 1. Статистическое распределение значений асимметрии амплитуд вызванной (слева) и произвольной (справа) электрической активности передней большеберцовой (A, B, E, F) и икроножной (C, D, G, H) до после операции.  $n/N$  – доля наблюдений;  $As$  – асимметрия в % от максимума: ■ – справа, ■ – слева. Обобщённый ■ – для М-ответа, ■ – для ЭМГ

Генез асимметрии электрической активности мышц, регистрируемой интраоперационно, радикально отличается от происхождения асимметрии в процессе рутинных диагностических ЭМГ-

обследований, поскольку транскраниальная активация моторной коры происходила в условиях анестезии, непредсказуемым образом модулирующей возбудимость элементов моторной системы [10]. Компоненты анестезии случайным образом взаимодействуют с множеством факторов, определяющими асимметрию МВП. Соответственно характер статистического распределения амплитуд в начале оперативного вмешательства МВП отличается от распределения ЭМГ параметров в диагностическом обследовании. Главное отличие в том (рис. 2: *A* и *B*), что основной максимум распределения локализуется в области высоких значений, а основной минимум в области умеренных и средних асимметрий. Различие между правосторонней и левосторонней асимметриями выглядят случайно.

На завершающем этапе оперативного вмешательства (рис. 2: *C* и *D*) характер статистического распределения сохраняется близким к исходному, с тенденцией смещения минимума распределения влево в область низких значений. При этом качество аппроксимации снизилось. Интересно отметить, что характер статистического распределения асимметрий МВП и его динамика в большей степени похож на распределение асимметрий ЭМГ и совсем не совпадает с распределением и динамикой асимметрий М-ответов. Существенную роль в такой динамике асимметрии играют флуктуации МВП в процессе операции под влиянием изменения глубины наркоза, глобальной и локальной гемодинамики, проявлений последствий действий хирурга.

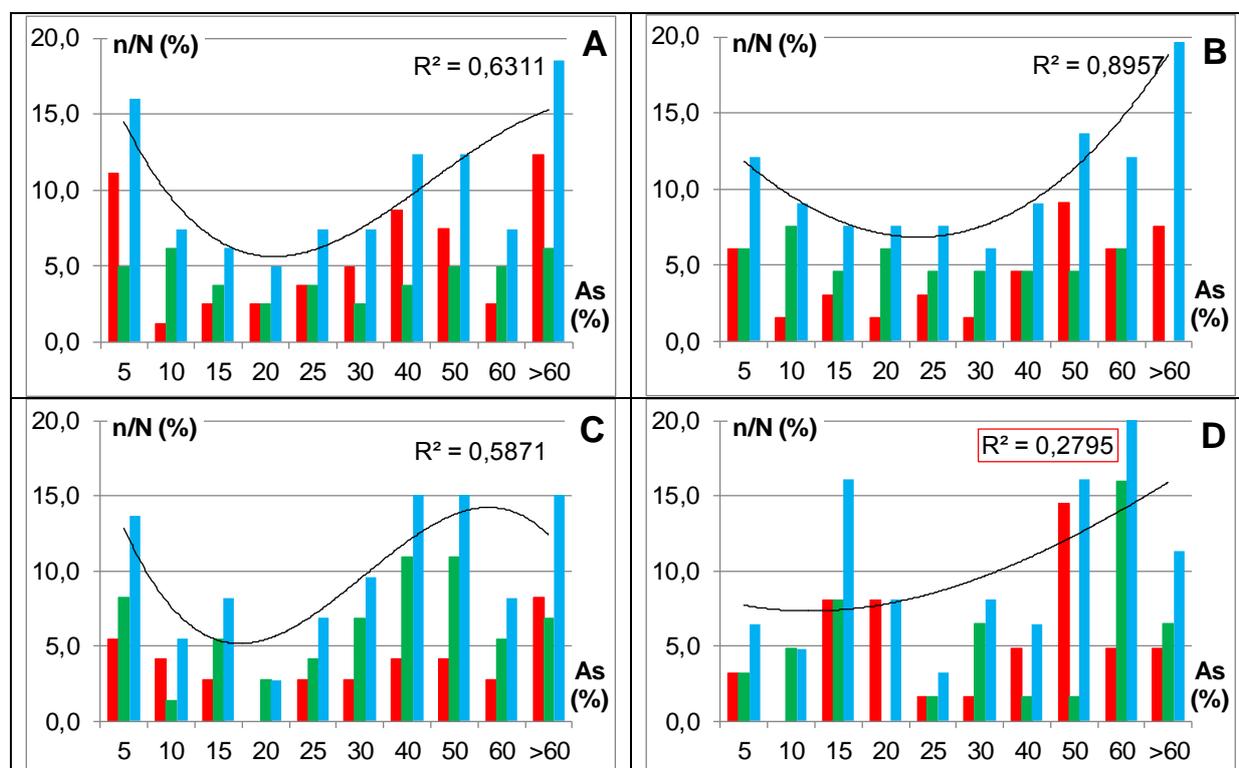


Рис. 2. Статистическое распределение значений асимметрии амплитуды МВП *musculus tibialis anterior* A, B – до C, D – после операции. *n/N* – доля наблюдений; *As* – асимметрия в % от максимума: ■ – справа, ■ – слева. Обобщённый график ■

Для асимметрии М-ответов тестируемых мышц нижних конечностей, отражающих структурно-анатомические особенности моторной системы, несмотря на наличие деформации позвоночника, характерно преобладание низких и умеренных значений асимметрии. В послеоперационном периоде можно констатировать вовлечённость части двигательных единиц в реактивные процессы, что выражается в усилении некоторой хаотичности в конфигурации совокупности серых и цветных столбиков на диаграммах и отражается небольшим снижении значений коэффициентов детерминации. Частота встречаемости асимметрии произвольной ЭМГ распределена волнообразно. Чаще всего можно увидеть два выраженных максимума: в области низкого и среднего уровня асимметрии, но могут быть и другие локальные пики. В качестве аппроксимационного уравнения полином третьей степени хуже описывает распределение асимметрии произвольной ЭМГ, чем М-ответа. Всё это указывает на то, что деформация позвоночника в большей степени отражается на функциональных свойствах двигательных единиц и управлении ими, чем на структуре моторной системы. Это согласуется с данными литературы [4, 7-9]. В послеоперационном периоде степень хаотичности в распределении значений асимметрии ЭМГ возрастает. С одной стороны

это отражает некоторую дезинтеграцию в системе управления моторной активности под влиянием остаточных эффектов анестезии [11, 12] и мощного всплеска интероцептивной афферентации. С другой стороны эта дезинтеграция и вовлечённость части двигательных единиц в реактивные процессы облегчит перепрограммирование моторной системы для успешного функционирования в изменившихся анатомо-биомеханических условиях, что обеспечит большую эффективность реабилитационных мероприятий.

**Заключение.** Таким образом, исходный диапазон асимметрий ЭМГ-характеристик пациентов с деформациями позвоночника превышает соответствующий диапазон соматически здоровых людей. Отличия более выражены для ЭМГ-параметров, связанных с функциональными, чем со структурными свойствами моторной системы. Под влиянием оперативной коррекции деформации позвоночника в краткосрочной перспективе структурная асимметрия не меняется. Изменения характера функциональной асимметрии в послеоперационном периоде в большей степени отражает последствия воздействия на сенсомоторную систему комплекса факторов анестезии и хирургической агрессии, на что указывает сходство распределения и динамики асимметрий ЭМГ и МВП. Данная ситуация создаёт благоприятную перспективу для использования ЭМГ-характеристик в реабилитационном процессе в послеоперационном периоде.

### Литература

1. Рябых С.О. Применение двойного деротационного маневра для коррекции сколиозов тяжелой степени // Гений ортопедии. 2013. №4. С.71-75.
2. Рябых С.О., Савин Д.М. Возможности оперативного лечения кифоза III типа методом «Pedicicle subtraction osteotomy» // Гений ортопедии. 2013. №1. С. 120-123.
3. Рябых С.О., Савин Д.М., Медведева С.Н., Губина Е.Б. Опыт лечения нейрогенных деформаций позвоночника // Гений ортопедии. 2013. №1. С. 87-92.
4. Сайфутдинов М.С., Рябых С.О. Нейрофизиологический контроль функционального состояния пирамидной системы в процессе лечения больных с деформацией позвоночника // Неврологический журнал. 2018. Том 23. № 5. С. 248-258. DOI: 10.18821/1560-9545-2018-23-5-248-258
5. Филатов Е.Ю., Рябых С.О., Савин Д.М. Алгоритм лечения врожденных аномалий позвоночника // Гений ортопедии. 2021. №27(6). С. 717-726.
6. Шеин А.П., Криворучко Г.А. Асимметрия некоторых биомеханических и биоэлектрических характеристик произвольной и вызванной активности мышц верхних и нижних конечностей у здоровых субъектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». 2005. Выпуск 5. № 4(44). С. 270-276.
7. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Коваленко П.И., Поздняков А.В. Электронеуромиография в диагностике послеоперационных неврологических осложнений у больных со сколиозом // Гений Ортопедии. 2006. № 2. С. 51-55.
8. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Рябых С.О. Реактивность и резистентность спинно-мозговых структур при выполнении инструментальной коррекции деформаций позвоночника // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2016. №102(12). С. 1495-1506.
9. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Щурова Е.Н., Коваленко П.И., Поздняков А.В. Влияние степени деформации позвоночника на нейрофизиологические характеристики сенсомоторного дефицита // Хирургия позвоночника. 2007. № 1. С. 35–43.
10. Chen Zh. The effects of isoflurane and propofol on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery // Journal of Clinical Monitoring and Computing. 2004. №18(4). P. 303–308. doi: 10.1007/s10877-005-5097-5
11. Craig M.M., Misisic B., Pappas I., Adapa R.M., Menon D.K., Stamatakis E.A. Propofol sedation-induced alterations in brain connectivity reflect parvalbumin interneurone distribution in human cerebral cortex // British Journal of Anaesthesia. 2021. № 126(4). P. 835-844. doi: 10.1016/j.bja.2020.11.035
12. Heinke W., Koelsch S. The effects of anesthetics on brain activity and cognitive function // Current Opinion Anaesthesiology. 2005. №18(6). P. 625-631. doi: 10.1097/01.aco.0000189879.67092.12.

### References

1. Rjabyh SO. Primenenie dvojnogo derotacionnogo manevra dlja korrekcii skoliozov tjazhelej stepeni [use of a double derotation maneuver for the correction of severe scoliosis]. Genij ortopedii. 2013;4:71-5. Russian.
2. Rjabyh SO, Savin DM. Vozmozhnosti operativnogo lechenija kifoza III tipa metodom «Pedicicle subtraction osteotomy» [Possibilities of surgical treatment of type III kyphosis by the method of "Pedicicle subtraction osteotomy"]. Genij ortopedii. 2013;1:120-3. Russian.
3. Rjabyh SO, Savin DM, Medvedeva SN, Gubina EB. Opyt lechenija nejrogennyh deformatsij pozvonochnika [Experience in the treatment of neurogenic spinal deformities]. Genij ortopedii. 2013;1:87-92. Russian.

4. Sajfutdinov MS, Rjabyh SO. Nejfiziologicheskij kontrol' funkcional'nogo sostojanija piramidnoj sistemy v processe lechenija bol'nyh s deformaciej pozvonochnika [Neurophysiological control of the functional state of the pyramidal system in the treatment of patients with spinal deformity]. *Nevrologicheskij zhurnal*. 2018;23(5):248-58. DOI: 10.18821/1560-9545-2018-23-5-248-258 Russian.
5. Filatov EJu, Rjabyh SO, Savin DM. Algoritm lechenija vrozhdennyh anomalij pozvonochnika [Algorithm of treatment of congenital spinal anomalies]. *Genij ortopedii*. 2021;27(6):717-26. Russian.
6. Shein AP, Krivoruchko GA. Asimetrija nekotoryh biomechanicheskix i bioelektricheskix harakteristik proizvol'noj i vyzvannoj aktivnosti myshc verhnix i nizhnix konechnostej u zdorovyh subektov [Asymmetry of some biomechanical and bioelectric characteristics of voluntary and induced muscle activity of the upper and lower extremities in healthy subjects]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Obrazovanie, zdravoohranenie, fizicheskaja kul'tura»*. 2005; 4(44):270-6. Russian.
7. Shein AP, Krivoruchko GA, Kovalenko PI, Pozdnjakov AV. Jelektronejromiografija v diagnostike posleoperacionnyh neurologicheskix oslozhenenij u bol'nyh so skoliozom [Electroneuromyography in the diagnosis of postoperative neurological complications in patients with scoliosis]. *Genij Ortopedii*. 2006;2:51-5. Russian.
8. Shein AP, Krivoruchko GA, Rjabyh SO. Reaktivnost' i rezistentnost' spinno-mozgovykh struktur pri vypolnenii instrumental'noj korrekcii deformacij pozvonochnika [Reactivity and resistance of spinal structures during instrumental correction of spinal deformities]. *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2016;102(12):1495-506. Russian.
9. Shein AP, Krivoruchko GA, Shhurova EN, Kovalenko PI, Pozdnjakov AV. Vlijanie stepeni deformacii pozvonochnika na nejfiziologicheskie harakteristiki sensomotornogo deficit [The influence of the degree of spinal deformity on the neurophysiological characteristics of sensorimotor deficiency]. *Hirurgija pozvonochnika*. 2007;1:35-43. Russian.
10. Chen Zh. The effects of isoflurane and propofol on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 2004;18(4):303-8. doi: 10.1007/s10877-005-5097-5
11. Craig MM, Misisic B, Pappas I, Adapa RM, Menon DK, Stamatakis EA. Propofol sedation-induced alterations in brain connectivity reflect parvalbumin interneurone distribution in human cerebral cortex. *British Journal of Anaesthesia*. 2021;126(4):835-44. doi: 10.1016/j.bja.2020.11.035
12. Heinke W, Koelsch S. The effects of anesthetics on brain activity and cognitive function. *Current Opinion Anaesthesiology*. 2005;18(6):625-31. doi: 10.1097/01.aco.0000189879.67092.12.

---

**Библиографическая ссылка:**

Арестова Ю.С., Богатырев М.А., Сайфутдинов М.С., Сергеенко М.С., Очирова П.В. Динамика асимметрии электрической активности мышц при хирургической коррекции деформации позвоночника // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2024. №2. Публикация 3-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/3-1.pdf> (дата обращения: 20.03.2024). DOI: 10.24412/2075-4094-2024-2-3-1. EDN DBPOFN\*

**Bibliographic reference:**

Arestova YUS, Bogatyrev MA, Saifutdinov MS, Sergeenko MS, Ochirova PV. Dinamika asimetrii jelektricheskoy aktivnosti myshc pri hirurgicheskoy korrekcii deformacii pozvonochnika [Dynamics of muscle electrical activity asymmetry during surgical correction of spinal deformity]. *Journal of New Medical Technologies, e-edition*. 2024 [cited 2024 Mar 20];2 [about 6 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/3-1.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2024-2-3-1. EDN DBPOFN

\* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2024-2/e2024-2.pdf>

\*\*идентификатор для научных публикаций EDN (eLIBRARY Document Number) будет активен после загрузки полной версии журнала в eLIBRARY