

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 796.015.86

СЕНСОРНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ДВИЖЕНИЙ

Б.И. Вахитов, И.С. Рагинов, И.Х. Вахитов

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань

Резюме. Впервые в клинических условиях проведены исследования по изучению показателей амплитуды (СА-ЭМГ) и частоты следования колебаний (ЧСК-ЭМГ) при выполнении динамических и статических упражнений. Выявлено, что у здоровых лиц амплитуда ЭМГ зависит от характера выполняемых упражнений. Наибольшая амплитуда ЭМГ зарегистрирована при выполнении статических упражнений. Установлено, что у пациентов, находящихся в остром периоде инсульта, при выполнении сгибания и разгибания пальцев рук преимущественно регистрировалась низкоамплитудная растянутая на весь цикл движения без четкого пика экстремума ЭМГ-активности. При выполнении статических упражнений в значительной мере в положительную сторону изменились показатели амплитуды и частоты следования колебаний ЭМГ.

Ключевые слова: электромиография, больные и здоровые пациенты, средняя амплитуда (СА-ЭМГ), частота следования колебаний (ЧСК-ЭМГ), динамические и статические упражнения.

Для цитирования: Вахитов Б.И., Рагинов И.С., Вахитов И.Х. Сенсорный подход к анализу движений // Вестник медицинского института «Реавиз». – 2020. – № 2. – С. 135–140.

SENSORY APPROACH TO MOTION ANALYSIS

B.I. Vakhitov, I.S. Raginov, I.Kh. Vakhitov

Federal State Budgetary Institution of Higher Education 'Kazan (Volga) Federal University,' Kazan

Abstract. We measured mean amplitude (MA-EMG) and oscillation repetition rate (ORR-EMG) during dynamic and static exercises in clinical setting for the first time. We found that in healthy individuals, EMG amplitude depends on the nature of the exercises. The highest EMG amplitude was registered during static exercises. Patients with acute stroke primarily demonstrated low-amplitude EMG activity extended through the entire cycle of movement without a clear peak. Static exercises significantly improved the amplitude and frequency of EMG oscillations.

Key words: electromyography, patients and healthy individuals, mean amplitude (MA-EMG), oscillation repetition rate (ORR-EMG), dynamic and static exercises.

For citation: Vakhitov B.I., Raginov I.S., Vakhitov I.Kh. Sensory approach to motion analysis // Bulletin of Medical Institute Reaviz. – 2020. – № 2. – P. 135–140.

Введение

При церебральных инсультах значительно важную роль играет максимально ранняя и комплексная реабилитация, позволяющая значительно улучшить функциональный и социальный исход заболевания. Реабилитационные мероприятия эффективны примерно у 80 % постинсультных пациентов, еще у 10 % наблюдается самопроизвольное восстановление, а у 10 % ре-

абилитационные мероприятия бесперспективны [6, 7]. При этом постинсультные двигательные нарушения остаются ведущей причиной дезадаптации у этой категории больных [2, 5]. Перенесенный церебральный инсульт является наиболее частой причиной первичного выхода на инвалидность. Уровень инвалидизации у выживших после инсульта пациентов по различным данным достигает 70–85 % [1, 3].

Несмотря на значительные достижения в раскрытии этиологии и патогенеза острых нарушений мозгового кровообращения (ОНМК), до настоящего времени исход этого заболевания остается неблагоприятным, что указывает на необходимость дальнейшего совершенствования медицинской помощи больным, перенесшим инсульт, особенно на ранней стадии заболевания [1, 3, 12]. Наиболее частым симптомом ишемического инсульта является гемипарез, однако у данной группы пациентов имеется сложный двигательный дефект, различный по характеру и степени выраженности. Данные о влиянии стороны поражения противоречивы. Так, одни авторы отмечают, что больные с правосторонним поражением имеют худший прогноз в плане восстановления [7–9]. Другие исследователи предполагают, что худшее восстановление наблюдается при поражении левой гемисферы [3, 7]. Одним из методов объективизации постинсультных двигательных нарушений является поверхностная электромиография с изменением амплитуд максимальной произвольной активации мышц предплечья, кисти и плеча с двух сторон и подсчетом коэффициентов адекватности (КА) и реципрокности (КР) [4, 6, 7, 9]. Отношение амплитуды мышцы в период ее произвольной активации (при активном максимальном напряжении антагониста) к амплитуде этой же мышцы в режиме максимального произвольного напряжения называют КА. КР характеризует взаимодействие мышцы антагонистов и рассчитывается для мышцы, находящейся в режиме антагонистического напряжения. Он показывает степень ее активации в процентах по отношению к величине активности мышцы-агониста. В нормальных условиях у мышц-разгибателей коэффициент адекватности и реципрокности выше, чем в сгибателях и составляет до 20 %.

В настоящее время для реабилитации больных, наряду с другими мероприятиями, широко применяются различные медицинские тренажеры отечественного и зарубежного производства. Однако общим недостатком этих тренажеров, на наш взгляд, является

отсутствие обратной связи. Тренажеры не оснащены сенсорными датчиками для получения информации от пациента в динамике, а в последующем оперативное внесение коррекции в реабилитационный процесс. Адекватная коррекция двигательных нарушений невозможна без учета и анализа изменений, происходящих в организме без использования системы обратной связи. Более того, существующие медицинские тренажеры во многом направлены на выполнение лишь динамических упражнений, тогда как на выполнение статических упражнений они практически не рассчитаны. Хотя роль последних многими исследователями в последнее время существенно поддерживается в процессе реабилитации.

Целью настоящего исследования явилась количественная оценка ЭМГ записи у здоровых лиц и пациентов, перенесших инсульт. В настоящей статье приведены первые результаты сравнительного анализа профилей мышечной активности здоровых лиц и пациентов с инсультом при выполнении динамических и статических движений.

Материал и методы

В исследовании участвовали 20 здоровых испытуемых, 9 мужчин и 11 женщин в возрасте 45–63 лет (группа контроля) и 26 пациентов, 14 мужчин и 12 женщины в возрасте 42–65 лет, с церебральным инсультом (основная группа). Испытуемые группы контроля на момент обследования не имели неврологических, ортопедических и тяжелых соматических заболеваний. Основную группу составили пациенты со спастическим гемипарезом в остром периоде ишемического инсульта.

С целью исследования биомеханики движений всем испытуемым предлагали выполнить ряд упражнений. С учетом технических условий и двигательных возможностей пациентов были выбраны следующие движения: 1) в покое; 2) сгибание и разгибание кистей рук; 3) максимальное отведение кисти руки от себя и дальнейшее удержание в ста-

тическом положении; 4) максимальное приведение кисти руки на себя и дальнейшее ее удержание в таком положении.

Поверхностная электромиограмма (ЭМГ) регистрировалась с помощью электромиографа, разработанного на основе датчика Myoware Muscle Sensor (AT-04-001). Одноразовые накожные электроды устанавливались в соответствии со стандартами, рекомендованными для биомеханических исследований. Поверхностная ЭМГ регистрировалась со следующих мышц: локтевой сгибатель запястья (*m. flexor carpi ulnaris*), лучевой сгибатель запястья (*m. flexor carpi radialis*), поверхностный сгибатель пальцев (*m. flexor digitorum superficialis*), локтевой разгибатель запястья (*m. extensor carpi ulnaris*), разгибатель пальцев (*m. extensor digitorum*), длинный лучевой разгибатель запястья (*m. extensor carpi radialis longus*). Анализировалась средняя амплитуда (СА-ЭМГ) и частота следования колебаний (ЧСК-ЭМГ).

Для оценки достоверности различий использовали стандартные значения t-критерия Стьюдента.

Результаты собственных исследований и их обсуждение

Исследование ЭМГ у здоровых лиц. У большинства здоровых обследованных выявлялась ЭМГ запись типа «ритма частоккола». В последнем случае ЭМГ картина напоминала картину так называемой сегментарной ирритации по классификации Ю.С. Юсевич [4] – ритмичных постоянных фибрилляций или фасцикуляций, регистрируемых иногда в расслабленных мышцах (в покое) при поражениях сегментарного уровня. Подобная ЭМГ-картина (по типу «ритма частоккола») была зафиксирована в покое у большинства здоровых обследованных лиц (табл. 1). Выполнение упражнения в виде сгибания и разгибания пальцев рук у здоровых обследованных лиц вызывало ритмичные потенциалы ЭМГ с повышенной амплитудой. При выполнении упражнений статического характера запись ЭМГ несколько изменилась. Так, при удерживании кисти рук в

статическом приведенном положении потенциалы ЭМГ существенно увеличились и достигли до 2,14 мВ, что существенно оказалось больше по сравнению со значениями ЭМГ, полученными при выполнении динамического упражнения (сгибание и разгибание пальцев рук). При удержании кисти в отведенном статическом положении амплитуда ЭМГ значительно увеличилась по сравнению со всеми значениями ЭМГ, полученными при выполнении предыдущих упражнений. Таким образом, у здоровых лиц амплитуда ЭМГ зависит от характера выполняемых упражнений. Наибольшая амплитуда ЭМГ нами была зарегистрирована при выполнении статических упражнений.

ЭМГ пациентов с инсультом. ЭМГ пациентов с гемипарезами в исследованных двигательных актах отличались от здоровых видимым «однообразием». У большинства пациентов с инсультом в изучаемые движения включалось большее, чем необходимо, число мышц, т.е. наблюдалась большая иррадиация. Выраженным однообразием у пациентов с инсультом отличались и профили ЭМГ-кривых (табл. 2). У всех пациентов, находящихся в остром периоде инсульта, при выполнении сгибания и разгибания пальцев рук преимущественно регистрировалась низкоамплитудная растянутая на весь цикл движения без четкого пика экстремума ЭМГ-активности. Наблюдалось практически полное отсутствие активности данной мышцы в исследуемом движении. На наш взгляд, оно могло выполняться за счет включения в работу других, дополнительных групп мышц. ЭМГ запись данных пациентов характеризовалась низкой амплитудой и более низкой частотой, треморообразностью, избыточностью, сопряженной активностью мышц-антагонистов и наличием так называемых «пробелов» – участков биоэлектрического молчания длительностью 10–30 мс в анализируемых фрагментах записей. При выполнении упражнений статического характера у пациентов, находящихся в остром периоде инсульта, профили ЭМГ несколько отличались от предыдущих записей.

Таблица 1

**Основные показатели суммарной ЭМГ при выполнении динамической
и статической нагрузки у здоровых**

Мышцы	Вид нагрузки		СА-ЭМГ (мВ)	ЧСК-ЭМГ (кол./с)
m.extensor carpi ulnaris	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>1,01</u> 0,08	<u>243</u> 24
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>2,14</u> 0,07	<u>296</u> 26
m.flexor carpi radialis	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>1,08</u> 0,09	<u>267</u> 14
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>2,18</u> 0,20	<u>294</u> 25
m. flexor carpi ulnaris	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>1,07</u> 0,06	<u>249</u> 29
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>2,04</u> 0,08	<u>298</u> 23
m.flexor digitorum superficialis	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>1,06</u> 0,07	<u>251</u> 20
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>2,09</u> 0,09	<u>297</u> 26
m. extensor digitorum	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>1,01</u> 0,06	<u>245</u> 26
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>2,17</u> 0,09	<u>294</u> 18
m.extensor carpi radialis longus	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>1,03</u> 0,08	<u>261</u> 28
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>2,15</u> 0,07	<u>295</u> 13

Таблица 2

**Основные показатели суммарной ЭМГ при выполнении динамической
и статической нагрузки у больных**

Мышцы	Вид нагрузки		СА-ЭМГ (мВ)	ЧСК-ЭМГ (кол./с)
m.extensor carpi ulnaris	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>0,11</u> 0,03	<u>190</u> 14
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>0,24</u> 0,07	<u>222</u> 6
m.flexor carpi radialis	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>0,18</u> 0,06	<u>178</u> 14
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>0,28</u> 0,20	<u>254</u> 15
m. flexor carpi ulnaris	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>0,07</u> 0,02	<u>209</u> 29
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>0,14</u> 0,01	<u>304</u> 13
m.flexor digitorum superficialis	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>0,16</u> 0,07	<u>241</u> 20
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>0,29</u> 0,07	<u>256</u> 16
m. extensor digitorum	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>0,11</u> 0,02	<u>215</u> 26
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>0,27</u> 0,09	<u>271</u> 8
m.extensor carpi radialis longus	Динамическая нагрузка	M ± m	<u>0,13</u> 0,02	<u>201</u> 28
	Статическая нагрузка	M ± m	<u>0,25</u> 0,07	<u>295</u> 13

Заключение

Адекватная коррекция двигательных нарушений невозможна без учета и анализа изменений, происходящих в организме без использования системы обратной связи. В настоящее время используемые медицинские тренажеры во многом направлены на выполнение лишь динамических упражнений, тогда как на выполнение статических упражнений они практически не рассчитаны. Мы в своей работе впервые проанализировали среднюю амплитуду (СА-ЭМГ) и частоту следования колебаний (ЧСК-ЭМГ) записи у здоровых и больных при выполнении динамических и статических усилий. По нашим данным, у здоровых лиц амплитуда ЭМГ зависит от характера выполняемых упражнений. Наибольшая амплитуда ЭМГ нами была зарегистрирована при выполнении статических упражнений.

У всех пациентов, находящихся в остром периоде инсульта, при выполнении сгибания и разгибания пальцев рук преимущественно регистрировалась низкоамплитудная растянутая на весь цикл движения без четкого пика экстремума ЭМГ-активности. При выполнении статических упражнений амплитуда ЭМГ и частота следования колебаний ЭМГ у данных пациентов была несколько выше, чем при выполнении динамических упражнений.

Таким образом, у здоровых и больных пациентов при выполнении статических

упражнений наблюдается значительное увеличение амплитуды и частоты ЭМГ. На наш взгляд, использование динамических упражнений в сочетании со статическими упражнениями в процессе реабилитационных мероприятий способствовали бы существенному сокращению сроков восстановления утраченных функций верхних конечностей.

Предварительные результаты, полученные нами в клинических условиях, являются достаточно веским доказательством необходимости применения ЭМГ для динамического анализа восстановительного процесса. Полученные данные следует рассматривать в качестве дополнительного обоснования к применению статических упражнений в процессе реабилитации.

Выводы

Для анализа и оперативной коррекции реабилитационного процесса необходимо использовать сенсорные датчики, в частности запись ЭМГ. Это позволит получить обратную информацию и оперативно корректировать процесс восстановления.

При выполнении статических упражнений у пациентов в значительной мере в положительную сторону изменяются показатели амплитуды (СА-ЭМГ) и частоты следования колебаний (ЧСК-ЭМГ).

Список литературы // References

- 1 Vahitov I.H. Sistema upravleniya nejroreaktivnost'yu mozga u sportsmenov-paralimpijcev / S.Yu. Mysh-lyayev, I.H. Vahitov, G.M. Zagorodnyj, G.V. Popova // Nauchnye trudy NII fizicheskoy kul'tury i sporta Respubliki Belarus': sb. nauch. tr. / Nauch.-issled. in-t fiz. kul'tury i sporta Resp. Belarus'; redkol.: A.A. Miheev (gl. red.) [i dr.]. – Minsk, 2014. – Вып. 14. – S. 224–230.
- 2 Kiril'chenko T.D. Formirovanie patologicheskikh poz v ostrom periode polusharnogo ishemicheskogo in-sul'ta i sposoby ih korrekcii: avto ref. dis. ... kand. med. nauk. – M., 2006.
- 3 Luk'yanov M.V. Klinicheskaya elektromiografiya. Istoriya i perspektivy // Nevrologicheskij zhurnal. – 2013.
- 4 Skvorcova V.I., Chazova I.E., Stahovskaya L.V. i dr. Pervichnaya profilaktika insul'ta. Kachestvo zhizni. // Medicina. – 2006. № 2. S. 72–77.
- 5 Yusevich Yu.S. Elektromiografiya v klinike nervnyh boleznej. – M.: Medicina, 1958. – 128 s.
- 6 Hitrov M. V., Subbotina T. I., Yashin A. A. Elektromiografiya kak metod ob"ektivizacii rezul'tatov fizicheskoy reabilitacii travm oporno-dvigatel'nogo apparata sportsmenov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2012.

- 7 Vakhitov I.Kh. Peculiarities of heartbeat rate and stroke volume of blood, negative phase, manifestation among young sportsmen after muscular load / B.I. Vakhitov, I.Kh. Vakhitov, A.H. Volkov, S.S. Chinkin // Journal of Pharmacy Research. – 2017. – Vol. 11. – P. 1198–1200.
- 8 Kirtly C. Clinical gait analysis: theory and practice. Edinburgh [et al]: Elsevier Science Health Science 2006; 316.
- 9 Petrilli S., Durufle A., Nicolas B. et al. Prognostic factors in recovery of the ability to walk after stroke. J Stroke Cerebrovasc Dis 2002; 11: 330–335.

Авторская справка

Вахитов Булат Илдарович, аспирант кафедры биомедицинской инженерии и управления инновациями, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

Рагинов Иван Сергеевич, доктор наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

Вахитов Илдар Хатыбович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской инженерии и управления инновациями, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

Рукопись получена: 3 апреля 2020 г.

Принята к публикации: 15 апреля 2020 г.