Дата публикации: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_17
УДК 616.741-073.7; 612.76(086.8)

Publication date: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_17
UDC 616.741-073.7; 612.76(086.8)

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ МЫШЦ СПИНЫ ПРИ ПОСТУРАЛЬНО ИЗМЕНЕННОЙ ХОДЬБЕ

И.Д. Черепанов[1], Т.И. Долганова[1,2], Д.В. Долганов[1], Л.Ю. Чехлова[1]
[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганский государственный университет», г. Курган, Россия

Аннотация. Цель – количественная оценка динамической поверхностной электромиографии паравертебральных мышц у здоровых обследованных при постурально измененной ходьбе. В исследовании участвовали 7 женщин и 3 мужчины, возраст – 18-26 лет. Выполнялись задания: ходьба «прямая спина» с наклонами туловища вправо, влево, вперед, ротацией вправо и влево. Методом 3D-видеоанализа походки регистрировали кинематические параметры туловища и поверхностной электромиографии. При постурально измененной ходьбе правостороннее доминирование проявляется в коэффициенте асимметрии m. Trapezius upper. Углы ротации до 10,0° осуществляются за счет плечевого пояса – m. Trapezius upper с ипсилатеральной асимметрией. При 20-25° дополнительно активна m. Erector Spinae thoracic с контралатеральной асимметрией. При 35-40° регистрируется ипсилатеральная асимметрия повышения активности m. Erector Spinae lumbar.
Ключевые слова: динамическая электромиография мышц спины, здоровые, постурально измененная ходьба.

ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY OF THE SUPERFICIAL BACK MUSCLES IN POSTURALLY ALTERED WALKING

I.D. Cherepanov[1], T.I. Dolganova[1,2], D.V. Dolganov[1], L.Yu. Chekhlova[1]
[1]National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, Kurgan, Russia
[2]Kurgan State University, Kurgan, Russia

Abstract. Objective: quantitative assessment of dynamic surface electromyography of paravertebral muscles in healthy subjects examined during posturally altered walking. The study included 7 women and 3 men aged 18-26 years. The following exercises were performed: walking with straight back, with trunk flexion to the right, left, forward, rotation to the right and left. Kinematic parameters of the trunk and surface electromyography were recorded using 3D gait analysis. During posturally altered walking, right-sided dominance is manifested in the asymmetry coefficient of m. Trapezius upper. Rotation angles up to 10.0° are achieved by the shoulder girdle – m. Trapezius upper with ipsilateral asymmetry. At 20-25°, m. Erector Spinae Thoracic is additionally active with contralateral asymmetry. At 35-40°, ipsilateral asymmetry of the m. Erector Spinae lumbar's increased activity is recorded.
Keywords: dynamic electromyography of back muscles, healthy people, posturally altered walking.

Введение. Ценность объективного контроля и диагностическое значение информативности анталгического поведения мышечной активности хорошо известны [1, 2], однако имеется масса других сложно контролируемых локомоторных и постуральных нарушений, обусловленных, как правило, функциональной недостаточностью активации соответствующих мышечных групп [3, 4]. Поэтому для

объективного контроля и анализа активационной недостаточности мышечных сокращений, особенно там, где оценку сократительной функции исследуемых мышечных групп (например, туловища) изолированно и в полном объеме осуществить не представляется возможным, широко используются методы биоэлектрической регистрации, в частности – поверхностная электромиография (пЭМГ) [5, 6]. Преимущества количественной оценки метода обусловлены тем, что суммарная амплитуда ЭМГ коррелирует с количеством, размерами и частотой рекрутируемых двигательных единиц, что позволяет оценивать скорость, силу мышечной активации [7] и срочные механизмы адаптации нейромышечного аппарата [8].

Одно из направлений исследований – это поиск диагностических критериев в оценке нарушений вертикальной ориентации позвоночника [9, 10]. В области вертеброгологии большинство авторов отмечают, что приоритетное использование методики пЭМГ в статике – это оценка тонуса мышц, и в норме для паравертебральных мышц наблюдается мышечное равновесие [11]. По данным пЭМГ паравертебральных мышц, любые манипуляции на грудном отделе позвоночника приводили к усилению нервно-мышечной активности [12]: у пациентов, перенесших инсульт, выполнение двигательных функций сопровождалось значительными различиями в регистрируемой активности мышечных групп туловища по времени, величине и асимметричности ответов. При выраженных деформациях позвоночника III-IV степени по Чаклину диагностическая информативность пЭМГ паравертебральных мышц обнаруживалась только индивидуально и лишь в тех постуральных системах, в которых по причине различных обстоятельств поддержание двигательных стереотипов моторными программами без дополнительного компенсаторного привлечения активности этих мышц было невозможно [13].

Вместе с тем, мышцы туловища, контролирующие его кинематику при ходьбе в сагиттальной и фронтальной плоскостях, являются вторым по важности (после мышц нижней конечности) элементом в постуральном контроле. Охарактеризовать их работу, хотя бы частично, возможно только с использованием поверхностной электромиографии [14].

Целью исследования явилась количественная оценка динамической пЭМГ паравертебральных мышц у здоровых обследованных при постурально измененной ходьбе.

Методы и организация исследования. В лаборатории анализа походки Центра Илизарова (Ilizarov Gait Analysis Laboratory) проведено проспективное исследование динамической пЭМГ мышц спины. Обследовано 10 добровольцев (7 женщин, 3 мужчины), средний возраст – 21,5 лет (18-26 лет). У всех участников доминировала правая рука, не было болевой симптоматики в области спины в течение как минимум 1 года до проводимого обследования. При обследовании выполнялись следующие задания: ходьба в привычном темпе «прямая спина», ходьба с боковыми наклонами туловища вправо, влево, наклоном туловища вперед, ротацией туловища вправо и влево. Тестирование ходьбы включало 6 регистраций походки на 7-метровой дорожке в каждом задании. Упражнения выполнялись с отдыхом между каждым проходом, чтобы минимизировать воздействия, связанные с процессами возникаемого локального утомления.

Кинематические параметры туловища при ходьбе регистрировались оптическими камерами Qualisys 7+ (8 камер компании Qualisys) с технологией видеозахвата пассивных маркеров. При установке маркеров использовалась модель IOR (Instituto Ortopedici Rizzoli – Институт Ортопедии Риццоли). При регистрации беспроводной пЭМГ устанавливались электроды на мышцы спины Trapezius upper (участвует в движениях плечевого пояса, поэтому функционально считается мышцей верхней

конечности), Erector Spinae thoracic (разгибатель позвоночника в грудном отделе), Erector Spinae lumbar (разгибатель позвоночника в поясничном отделе) в соответствии с рекомендациями SENIAM (surface EMG for the non-invasive assessment of muscles – поверхностная ЭМГ для неинвазивной оценки мышц) [15]. Чтобы облегчить интерпретацию рандомизированных клинических испытаний с использованием данных пЭМГ, на графиках стандартного отчета приводится нормализованная кривая пЭМГ (серая), полученная у здоровых обследованных при скорости ходьбы 5,0 км/час, которая рассматривается в качестве ориентира нормы (рис. 1).

Оценка профиля пЭМГ проводилась по следующим параметрам активности основного пика – пик I (середина цикла шага) и дополнительного пика – пик II (конец-начало цикла шага) (рис. 1):

- отношение max/min значений в каждом пике;
- начало и длительность регистрации активности в каждом пике;
- площадь активности каждого пика и суммарная площадь активности.

Рассчитывался коэффициент функциональной асимметрии по формуле: КА=(max-min)/(max+min)*100%, где min – меньшее значение справа или слева, max – большее значение справа или слева.

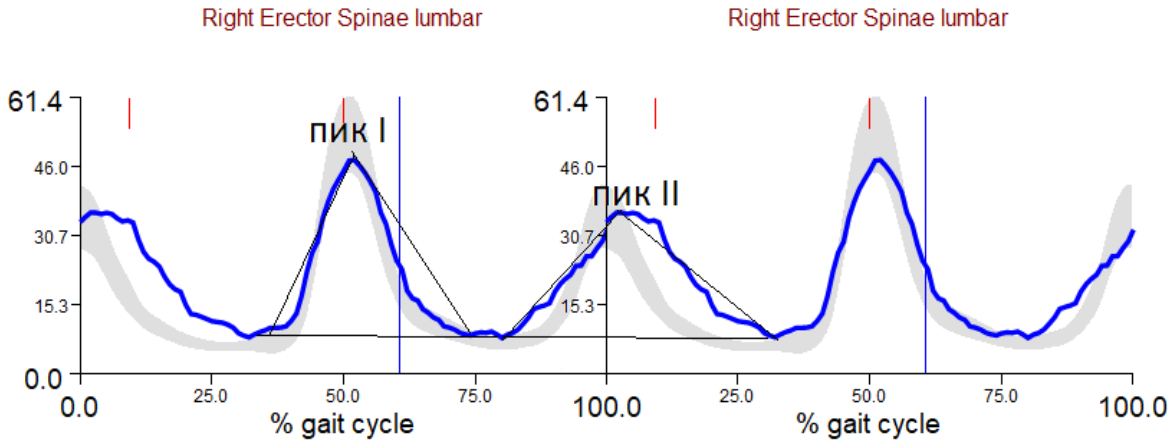


Рис. 1. Обследуемый К, 20 лет

Примечание: пример регистрации динамической огибающей пЭМГ m. Erector Spine Lumbar справа в цикле шага (синяя кривая). При формировании опорного толчка к концу опорного периода цикла шага (≈50% цикла шага) формируется I пик, к концу не опорного периода цикла шага (≈100% цикла шага) формируется II пик. Серая кривая – условная норма по данным программы.

Статистическая обработка данных производилась с помощью пакета анализа данных Microsoft Excel 2013 и AtteStat [16]. Учитывая количество наблюдений в группах, для обработки результатов использована непараметрическая статистика с принятием уровня значимости $p \leq 0,05$. Количественные характеристики выборочных совокупностей представлены в таблице 1 в виде медианы с уровнем распределения процентилей (Me 25÷75%) и числа наблюдений (n). Статистическую значимость различий определяли с использованием парного критерия Вилкоксона.

На проведение исследований было получено разрешение комитета по этике при ФГБУ «НМИЦ ТО им. Акад. Г.А. Илизарова» №521 от 10.10.2022 г.

Результаты исследования и их обсуждение. У здоровых обследованных при ходьбе «прямая спина» не выявлено достоверного различия между всеми расчетными параметрами правой и левой стороной. Для m. Erector Spinae thoracic

отношение max/min I пика – 9,8 (6,9÷10,0), max/min II пика – 10,0 (6,7÷11,5). Длительность I пика для m. Erector Spinae thoracic и m. Erector Spinae lumbar – 37% (30÷45%), II пика – 45% (30÷50%). Средние значения полученных расчетных параметров общей площади активности представлены в таблице. При средней скорости ходьбы 4,0 км/час (1,2 м/с) начало активности, длительность активности пиков совпадали с предложенными программой ориентирами нормы, но площадь активности зависела от скорости ходьбы: $S= -1853V^2+6519V-4367,6$, $R^2 = 0,7249$, где S – площадь основного пика, V – скорость ходьбы.

Таблица

Суммарная площадь биоэлектрической активности (по данным пЭМГ) паравертебральных мышц у здоровых обследованных при постурально измененной ходьбе, усл.ед.

Trapezius upper		Erector Spinae thoracic		Erector Spinae lumbar	
справа	слева	справа	слева	справа	слева
Прямая спина					
1725 (1048÷2777)	1125 (843÷2819) КА=21,0%	1113 (598÷1967)	1084 (971÷1217) КА=1,3%	1043 (919÷2889)	1103 (1080÷2636) КА=2,7%
Сагиттальный наклон туловища кпереди					
1035 (539÷1239)	1319 (727÷3018) КА=12,0%	1438 (1014÷1903)	1272 (1238÷1536) КА=6,1%	1892 (1531÷2094)	1561 (1024÷2182) КА=9,5%
Фронтальный наклон туловища вправо					
1728 (1234÷2292)	3811 (1438÷5873) КА=37,6%	1200 (894÷1347)	962 (899÷1877) КА=11,0%	1231 (898÷1995)	1367 (988÷2522) КА=5,2%
Фронтальный наклон туловища влево					
2023 (1953÷3416)	1701 (991÷2506) КА=8,6%	1009 (775÷1523)	1204 (885÷1547) КА=8,8%	1077 (640÷1630)	1239 (833÷2110) КА=6,9%
Ротация туловища влево					
1429 (926÷2041)	1955 (1019÷3009) КА=15,5%	791 (521÷907)	1234 (824÷1542) КА=21,8%	1125 (1030÷2297)	1322 (825÷2602) КА=8,0%
Ротация туловища вправо					
1566 (833÷2105)	1138 (700÷1738) КА=15,8%	1636 (1180÷1835)	857 (664÷1246) КА=31,2%	1478 (863÷2898)	1231 (967÷2375) КА=9,1%

Примечание: пЭМГ – поверхностная электромиография; КА – коэффициент асимметрии

В нашей группе обследованных, при средней скорости ходьбы 1,2 м/с для мышц Trapezius upper, Erector Spinae thoracic, Erector Spinae lumbar площадь активности I пика относительно ориентиров нормы ЭМГ составила 61,4%, 55,1%, 83,1% соответственно, площадь активности II пика – 56,0%, 21,7%, 53,9% соответственно, суммарная площадь активности ЭМГ – 61,4%, 38,9%, 70,7% соответственно.

Последующий анализ динамики поверхностной ЭМГ исследуемых мышц проводился относительно полученных значений при ходьбе «прямая спина».

Ходьба с наклоном туловища вперед (сагиттальная плоскость). Так же, как и

при ходьбе «прямая спина», при наклоне туловища вперед не выявлено достоверного различия между расчетными параметрами правой и левой стороны отношения амплитуды max/min значений, длительности периодов и площади активности для I и II пиков и суммарной площади активности. Для всех исследованных мышц наклон туловища вперед сопровождается небольшим увеличением длительности I пика в среднем на 10%. Также было выявлено редуцирование максимальных значений основного и дополнительного пика активности m. Trapezius upper в среднем на 25%, для m. Erector Spinae thoracic – увеличение максимальных значений основного и дополнительного пика активности в среднем на 20% и 60% (p=0,015) соответственно, для m. Erector Spinae lumbar – на 55% и 70% (p=0,033) соответственно.

Фронтальная плоскость. Наклон туловища вправо. Справа и слева уменьшается отношение max/min у I и II пиков. Наиболее выражены изменения слева m. Erector Spinae thoracic: при наклоне туловища вправо max/min I пика – 2,9 (2,6÷3,8), max/min II пика – 2,5 (2,3÷3,1). Длительность I пика не меняется, увеличивается длительность активности II пика m. Erector Spinae lumbar слева до 50% (p=0,0217). Относительно ходьбы с «прямой спиной» суммарная площадь активности I и II пика m. Trapezius upper справа не меняется, но увеличивается слева (p=0,049) с коэффициентом асимметрии 37.6%. При наклоне туловища вправо под углом 20° значения суммарной площади активности m. Trapezius upper значительно возрастает (рис. 2).

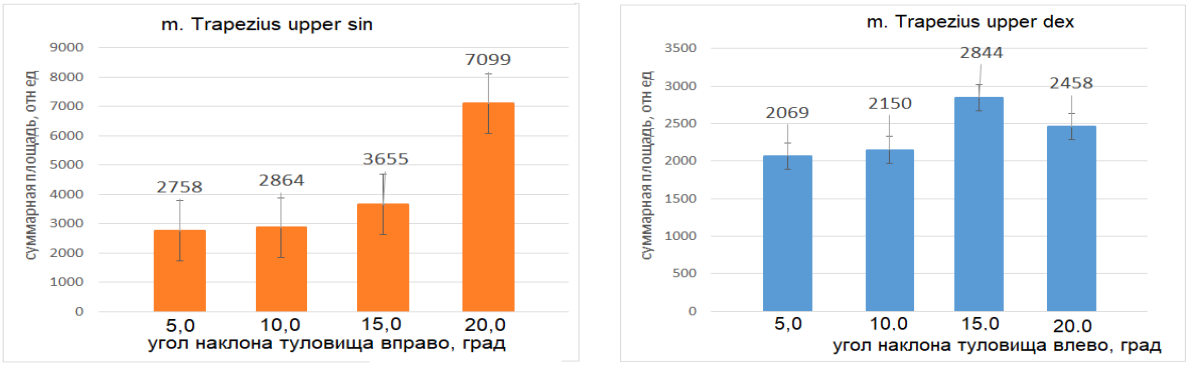


Рис. 2 Динамика суммарной площади динамической биоэлектрической активности m.Trapezius upper при наклоне туловища вправо и влево под разным углом

Фронтальная плоскость. Наклон туловища влево. Справа и слева также повышена активность мышц в период «относительного покоя» в цикле шага, и, следовательно, уменьшается отношение max/min у I и II пиков с одинаковыми изменениями справа и слева. Для m. Erector Spinae thoracic max/min I пика составил 3,3 (2,6÷3,5), max/min II пика – 2,4 (1,4÷3,7) относительных единиц. Длительность I и II пика равномерно увеличивается справа и слева до 45-50%. Относительно ходьбы с «прямой спиной» суммарная площадь активности I и II пика справа и слева увеличивается только на 34% и 15% соответственно. При наклоне туловища влево не выделяется группа мышц с выраженной асимметрией. При наклоне туловища влево значения суммарной площади активности m. Trapezius upper не зависят от угла наклона (рис. 2).

Ротация туловища. При ротации туловища вправо и влево повышена активность мышц в период «относительного покоя» в цикле шага, и, следовательно, уменьшается отношение max/min у I и II пиков. Для m. Trapezius upper и m. Erector Spinae thoracic изменения симметричны, для m. Erector Spinae lumbar на контралатеральной стороне значения max/min I и II пиков меньше. Для m. Erector Spinae thoracic

регистрируются контралатеральное увеличение длительности I пика за счет смещения начала активности к началу цикла шага и уменьшение длительности II пика за счет смещения начала активности к концу цикла шага, для m. Erector Spinae lumbar наоборот – контралатеральное уменьшение длительности I пика и увеличение длительности II пика. При ротации вправо и влево относительно значений при ходьбе «прямая спина» увеличивается коэффициент функциональной асимметрии для m. Erector Spinae thoracic (КА=31,5%) с уменьшением активности на контралатеральной стороне. Для m. Erector Spinae lumbar не выявлено значимой асимметрии суммарной площади активности (КА=8,0-9,1%).

Коэффициент асимметрии для разных мышц зависит от угла ротации туловища (рис. 3). При малых углах ротации (до 10,0°) для m. Trapezius upper регистрируется ипсилатеральная асимметрия, т.к. при выполнении ротации задействован больше плечевой пояс. При средних углах ротации (20,0-25,0°) регистрируется коэффициент асимметрии 30-42% для всех мышц с уменьшением на контралатеральной стороне. При больших углах ротации (35,0-40,0°) для m. Erector Spinae lumbar регистрируется ипсилатеральная асимметрия, при выполнении ротации задействованы мышцы поясничного отдел позвоночника (рис. 3).

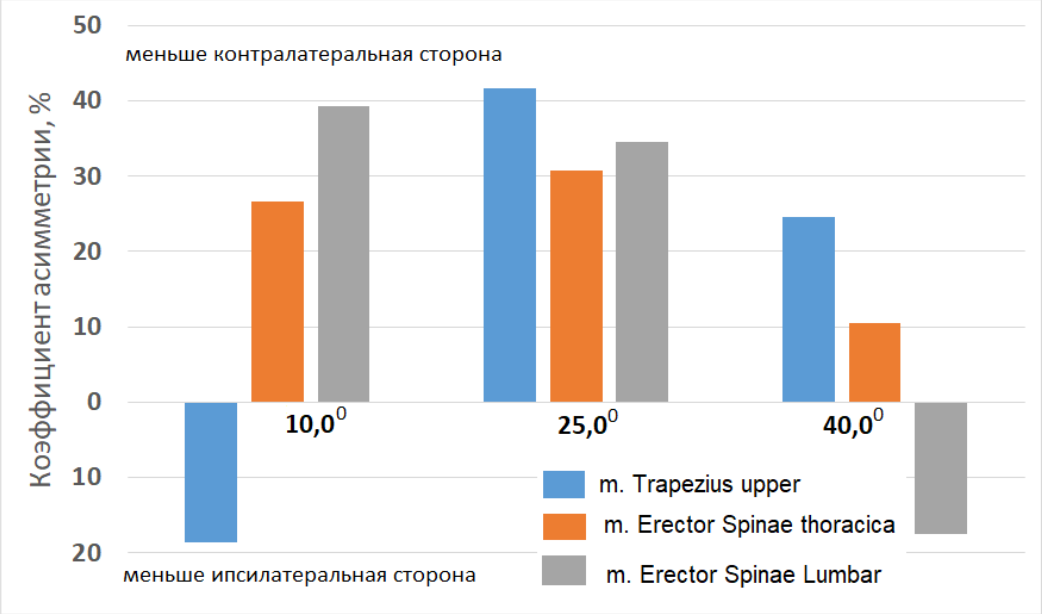


Рис. 3. Примеры распределение коэффициента асимметрии исследуемых мышц спины при ходьбе с разной установкой угла ротации позвоночника вправо

В динамике нервно-мышечная активность туловища варьирует со сложностью постуральной задачи. Уменьшение амплитуды колебания туловища за счет большей совместной активации мышц туловища у молодых людей является компенсаторным приспособительным механизмом к постуральному дисбалансу [14]. Для определения критериев дифференциальной диагностики между изменениями динамической активности мышц спины в условиях патологии или компенсаторной реакции при вертикализации позвоночника использовано моделирование изменения осевого баланса туловища у здоровых обследованных.

Основные показатели, отражающие активность мышц – площадь активности под огибающей кривой ЭМГ и величина ее асимметрии [7] – зависели от скорости ходьбы.

Постурально измененная ходьба уменьшает уровень нейромышечной координации, увеличивает затрату энергоресурсов, что проявляется повышением активности мышц в период «относительного покоя» в цикле шага и,

следовательно, уменьшением отношения max/min у I и II пиков [8].

С увеличением скорости площадь активности мышц по кривой ЭМГ увеличивалась. Нужно отметить, что достоверное различие ($p \leq 0,05$) значений площади активности мышц было при асимметрии более 25%, что указывает на влияние множества различных факторов на регистрируемую запись поверхностной ЭМГ.

При ходьбе «прямая спина» коэффициент асимметрии суммарной площади активности m. Erector Spinae thoracic и m. Erector Spinae lumbar не имел значимых различий между правой и левой стороной и составлял 1,3-2,7%. Для m. Trapezius upper коэффициент асимметрии был больше (КА=21,0% S<D), что определялось доминированием правой руки у всех обследованных.

При моделировании изменения динамического сагиттального баланса (ходьба с наклоном туловища вперед) для m. Trapezius upper регистрируется уменьшение активности, для m. Erector Spinae thoracic – увеличение площади активности на 17-29% ($p=0,036$), для m. Erector Spinae lumbar динамика активности была разнонаправленная, суммарное увеличение было недостоверным по парному критерию Вилкоксона. Суммарная площадь активности мышц Trapezius upper, Erector Spinae thoracic, Erector Spinae lumbar не зависела от угла наклона туловища в сагиттальной плоскости.

Правостороннее доминирование проявлялось при изменении биомеханических условий ходьбы с наклоном туловища вправо и влево. При наклоне туловища во фронтальной плоскости регистрируется уменьшение отношения max/min у I и II пиков за счет увеличения min значений. Пролонгация активности в зоне относительного покоя сохраняет суммарную площадь активности для m. Erector Spinae thoracic и m. Erector Spinae lumbar относительно ходьбы с «прямой спиной». Для m. Trapezius upper регистрируется увеличение площади активности на контралатеральной стороне относительно стороны наклона туловища, более выраженное при наклоне вправо: КА=37,6% (sin>dex) ($p=0,00934$) – правостороннее доминирование.

Ротация туловища – это движение, в котором участвуют как грудные, так и поясничные позвонки. Во время ротации наружная косая мышца (Musculus obliquus externus abdominis), прямая мышца живота (Musculus rectus abdominis) и поясничная мышца (Musculi multifidi) действуют контралатерально, тогда как широчайшая мышца спины (Musculus latissimus dorsi), внутренняя косая мышца живота (Musculus obliquus internus abdominis) и поперечная мышца живота (Musculus transversus abdominis) действуют ипсилатерально. Наружные косые мышцы позволяют туловищу скручиваться, но в сторону, противоположную той внешней косой мышце, которая сокращается [5].

При ротации туловища вправо и влево также повышена активность мышц в период «относительного покоя». Контралатеральные изменения начала активности и ее максимальные значения определяются для m. Erector Spinae thoracic и для m. Erector Spinae lumbar, но носят разнонаправленный характер. Правостороннее доминирование также проявляется и при изменении биомеханических условий ходьбы при ротации туловища. Относительно ходьбы с «прямой спиной» суммарная площадь активности m. Trapezius upper увеличивается на контралатеральной стороне только при ротации вправо. Коэффициент асимметрии для разных мышц определяется углом ротации туловища (рис. 3). Углы ротации до 10,0° осуществляются за счет плечевого пояса – задействована m. Trapezius upper с ипсилатеральной асимметрией. При больших углах ротации дополнительно активна m. Erector Spinae thoracic с контралатеральной асимметрией. При увеличении угла ротации задействованы мышцы поясничного отдела, и регистрируется уже ипсилатеральная асимметрия.

Заключение. При наклоне туловища в сагиттальной, фронтальной плоскостях для m. Erector Spinae thoracic и m. Erector Spinae lumbar регистрируется уменьшение максимальных значений активности с пролонгацией в зону относительного покоя. Суммарная площадь активности m. Erector Spinae thoracic и m. Erector Spinae lumbar не имеет достоверных отличий.

При ходьбе «прямая спина» и при постурально измененной ходьбе с наклоном туловища вправо, влево и его ротацией правостороннее доминирование проявляется в коэффициенте асимметрии только m. Trapezius upper.

Углы ротации до 10,0° осуществляются за счет плечевого пояса – m. Trapezius upper с ипсилатеральной асимметрией. При углах ротации 20-25° дополнительно активна m. Erector Spinae thoracic с контралатеральной асимметрией. При углах ротации 35-40° регистрируется ипсилатеральная асимметрия повышения активности m. Erector Spinae lumbar.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дадашева, М. Н. Ведение пациентов с болью в спине: рекомендации по диагностике и лечению / М. Н. Дадашева, Б. В. Агафонов // РМЖ. – 2016. – Т. 24. – № 24. – С. 1613–1616.
2. Functional gait disorders: A sign-based approach / J. Nonnekes, E. Růžička, T. Serranová [et al] // Neurology. – 2020. – Vol. 16. – № 94(24). – P. 1093–1099. DOI: 10.1212/WNL.0000000000009649.
3. Соколова, Ф. М. Оценка техники ходьбы у пациентов с неврологическим дефицитом / Ф. М. Соколова // Адаптивная физическая культура. – 2022. – № 3(91). – С. 34–37.
4. Jasim, M. R. Non-obvious and obvious signs of the pathology of the thoracic spine: clinical study / M. R. Jasim, M. A. M. Saeed // Genij Ortopedii. – 2024. – Vol. 30. – № 2. – P. 200–209. DOI: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-200-209.
5. Relationship between spinal range of motion and trunk muscle activity during trunk rotation / T. Sugaya, M. Sakamoto, R. Nakazawa, N. Wada // J Phys Ther Sci. – 2016. – Vol. 28. – № 2. – P. 589–595. DOI:10.1589/jpts.28.589.
6. Поверхностная ЭМГ: применимость в биомеханическом анализе движений и возможности для практической реабилитации / А. М. Котов-Смоленский, А. Е. Хижникова, А. С. Клочков [и др.] // Физиология человека. – 2021. – Т. 47. – № 2. – С. 122–134. DOI: 10.31857/S0131164621020041.
7. Moritani, T. Basic Physiology and Biophysics of EMG Signal Generation / T. Moritani, D. Stegeman, R. Merletti, P. Parker, ed. / Electromyography. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. – P. 1–2.
8. Абуталимова, С. М. Характеристики стимуляционной и поверхностной электромиографии высококвалифицированных тяжелоатлетов в покое и при специфической спортивной нагрузке / С. М. Абуталимова, С. В. Нопин // Современные вопросы биомедицины. – 2021. – Т. 5. – № 4(17). DOI: 10.51871/2588-0500_2021_05_04_8.
9. «Синдромокомплекс» идиопатического сколиоза / Ю. Л. Зейналов, А. В. Бурцев, Г. В. Дьячкова, К. А. Дьячков // Гений ортопедии. – 2023. – № 29. – Т. 1. – С. 49–56. DOI: 10.18019/1028-4427-2023-29-1-49-56.
10. Эволюция оптической диагностики деформации позвоночника. Методы и перспективы развития (обзор литературы) / И. Д. Шитоев, С. В. Муравьев, Ю. В. Каракулова [и др.] // Гений ортопедии. – 2022. – Т. 28. – № 5. – С. 734–744. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-734-744.
11. A Survey on the Use and Barriers of Surface Electromyography in Neurorehabilitation / A. Manca, A. Cereatti, L. Bar-On [et al] // Front Neurol. – 2020. – Vol. 11. – P. 573616. DOI: 10.3389/fneur.2020.573616.
12. Evidence for increased neuromuscular drive following spinal manipulation in individuals with subacromial pain syndrome / A. K. Hegarty, M. Hsu, J. S. Roy [et al] // Clin Biomech (Bristol, Avon). – 2021. – Vol. 90. – P. 105485. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2021.105485.
13. Долганова, Т. И. Диагностическая информативность огибающей ЭМГ поверхностных паравертебральных мышц в постуральных стереотипах у пациентов со сколиозом III-IV степени / Д. В. Долганов, С. О Рябых // Гений ортопедии. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 57–63. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-57-63.
14. The trunk's contribution to postural control under challenging balance conditions / Y. Duchene,

G. Mornieux, A. Petel [et al] // Gait Posture. – 2021. – Vol. 84. – P. 102–107. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.11.020.

15. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures / H. J. Hermens, B. Freriks, C. Disselhorst-Klug, G. Rau // J Electromyogr Kinesiol. – 2000. – Vol. 10. – № 5. – P. 361–374. DOI: 10.1016/S1050-6411(00)00027-4.

16. Гайдышев, И. П. Моделирование стохастических и детерминированных систем: Руководство пользователя программы AtteStat / И. П. Гайдышев. – Курган, 2015. – С. 484. URL: http://xn--80aab2abao2a1acibc.xn--p1ai/files/AtteStat_Manual_15.pdf (дата обращения: 05.08.2024).

REFERENCES

1. Dadasheva M.N., Agafonov B.V. Management of patients with back pain: recommendations on diagnosis and treatment. *RMJ,* 2016, no. 24, pp. 1613–1616. (in Russ.)

2. Nonnekes J., Růžička E., Serranová T., Reich S.G., Bloem B.R., Hallett M. Functional gait disorders: A sign-based approach. *Neurology*, 2020, vol. 16, no. 94(24), pp. 1093–1099. DOI: 10.1212/WNL.0000000000009649.

3. Sokolova F.M. Gait recovery assessment for patients with neurological deficit. *Adaptive Physical Education*, 2022, no. 3 (91), pp. 34–37. (in Russ.)

4. Jasim M.R., Saeed M.A.M. Non-obvious and obvious signs of the pathology of the thoracic spine: clinical study. *Genij Ortopedii*, 2024, vol. 30, no. 2, pp. 200–209. DOI: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-200-209.

5. Sugaya T., Sakamoto M., Nakazawa R., Wada N. Relationship between spinal range of motion and trunk muscle activity during trunk rotation. *J Phys Ther Sci*, 2016, vol. 28, no. 2, pp. 589–595. DOI: 10.1589/jpts.28.589.

6. Kotov-Smolenskij A.M., Khizhnikova A.E., Klochkov A.S., Suponeva N.A., Piradova M.A. Surface EMG: Applicability in the Motion Analysis and Opportunities for Practical Rehabilitation. *Human Physiology*, 2021, vol. 47, no. 2, pp. 237–247. DOI: 10.1134/S0362119721020043. (in Russ.)

7. Moritani T., Stegeman D., Merletti R. Basic Physiology and Biophysics of EMG Signal Generation. Electromyography. Merletti R., Parker P., ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. pp. 1–2.

8. Abutalimova S.M., Nopin S.V. Characteristics of stimulation and surface electromyography of elite weightlifters at rest and with specific sports loads. *Modern Issues of Biomedicine*, 2021, vol. 5, no. 4(17). DOI: 10.51871/2588-0500_2021_05_04_8. (in Russ.)

9. Zeynalov Yu.L., Burtsev A.V., Diachkova G.V., Diachkov K.A. Idiopathic scoliosis “syndromocomplex”. *Genij Ortopedii*, 2023, vol. 29, no. 1, pp. 49–56. DOI: 10.18019/1028-4427-2023-29-1-49-56 (in Russ.)

10. Shitoev I.D., Muravev S.V., Karakulova Yu.V., Pecherskij V.I., Nikitin V.N. Evolution of optical diagnosis of spinal deformity. Methods and future development (literature review). *Genij Ortopedii*, 2022, vol. 28, no. 5, pp. 734–744. DOI: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-734-744. (in Russ.)

11. Manca A., Cereatti A., Bar-On L., Botter A., Della Croce U., Knaflitz M., Maffiuletti N.A., Mazzoli D., Merlo A., Roatta S., Turolla A., Deriu F. A Survey on the Use and Barriers of Surface Electromyography in Neurorehabilitation. *Front Neurol*, 2020, vol. 11, P. 573616. DOI: 10.3389/fneur.2020.573616.

12. Hegarty A.K., Hsu M., Roy J.S., Kardouni J.R., Kutch J.J., Michener L.A. Evidence for increased neuromuscular drive following spinal manipulation in individuals with subacromial pain syndrome. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2021, vol. 90, P. 105485. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2021.105485.

13. Dolganova T.I., Dolganov D.V., Riabykh S.O. Diagnostic information value of EMG envelope algorithm for superficial paraspinal muscles in postural stereotypes of patients with scoliosis grades III and IV. *Genij Ortopedii*, 2018, vol. 24, no. 1, pp. 57–63. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-57-63. (in Russ.)

14. Duchene Y., Mornieux G., Petel A., Perrin P.P., Gauchard G.C. The trunk's contribution to postural control under challenging balance conditions. *Gait Posture*, 2021, vol. 84, pp. 102–107. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2020.11.020.

15. Hermens H.J., Freriks B., Disselhorst-Klug C., Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J. Electromyogr Kinesiol*, 2000, vol. 10, no. 5, pp. 361–374. DOI: 10.1016/S1050-6411(00)00027-4.

16. Gaidyshev I.P. Stochastic and deterministic systems modeling: User manual of the AtteStat program. Kurgan, 2015. p. 484. Available at: http://xn--80aab2abao2a1acibc.xn--p1ai/files/AtteStat_Manual_15.pdf. (accessed 05.08.2024) (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Иван Дмитриевич Черепанов – аспирант, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: smilyha@yandex.ru.
Тамара Игоревна Долганова – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник научной лаборатории клиники нейроортопедии и системных заболеваний, ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России; научный сотрудник Академической кафедры анатомии и физиологии, ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: rjik532007@rambler.ru.
Дмитрий Владимирович Долганов – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории клиники нейроортопедии и системных заболеваний, ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: paradigma-dv@rambler.ru.
Лада Юрьевна Чехлова – аспирант, ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: Lada.sultanskaya.92@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Ivan D. Cherepanov – Post-Graduate Student, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, Kurgan, e-mail: smilyha@yandex.ru.
Tamara I. Dolganova – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher of the Scientific Laboratory of the Clinics for Neuroorthopaedics and Systemic Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics; Researcher of the Academic Department of Anatomy and Physiology, Kurgan State University, Kurgan, e-mail: rjik532007@rambler.ru.
Dmitrij V. Dolganov – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Scientific Laboratory of the Clinics for Neuroorthopaedics and Systemic Diseases, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, Kurgan, e-mail: paradigma-dv@rambler.ru.
Lada Yu. Chekhlova – Post-Graduate Student, National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Ortopaedics, Kurgan, e-mail: Lada.sultanskaya.92@mail.ru.

Для цитирования: Электромиографическая активность поверхностных мышц спины при постурально измененной ходьбе / И. Д. Черепанов, Т. И. Долганова, Д. В. Долганов, Л. Ю. Чехлова // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_17

For citation: Cherepanov I.D., Dolganova T.I., Dolganov D.V., Chehlova L.Y. Electromyographic activity of the superficial back muscles in posturally altered walking. *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_17