

© С.П. Миронов, М.Б. Цыкунов, 2014

НОВЫЙ МЕТОД ИЗОКИНЕТИЧЕСКОГО 3D-ТЕСТИРОВАНИЯ МЫШЦ-СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОЗВОНОЧНИКА

С.П. Миронов, М.Б. Цыкунов

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздрава России, Москва, РФ

В статье представлены данные тестирования мышц-стабилизаторов позвоночника с помощью изокинетического динамометра. Показано, что по его результатам можно выявлять мышечный дисбаланс даже на субклиническом уровне и составлять индивидуальные программы реабилитации.

Ключевые слова: позвоночник, изокинетический тест, мышцы-стабилизаторы, реабилитация.

New Method for 3D-Testing of Spinal Stabilizer Muscles

S.P. Mironov, M.B. Tsykunov

Central Institute of Traumatology and Orthopaedics named after N.N. Priorov,
Moscow, Russia

Data on testing of spinal stabilizer muscles using isokinetic dynamometer are presented. It is shown that achieved test results enable to detect muscular imbalance even at subclinical level and to elaborate individual rehabilitation programs.

Key words: spine, isokinetic test, stabilizer muscles, rehabilitation.

Стабильность позвоночника обеспечивают как пассивные (кости, связки, диски), так и активные (мышечные) структуры [1]. На протяжении многих лет проблема объективной оценки функциональных возможностей мышц-стабилизаторов его привлекает пристальное внимание [2–6]. Так, традиционно в комплекс методов оценки функционального статуса физкультурника и спортсмена входит измерение становой силы с использованием станового динамометра. В этом случае исследователи получают данные, которые более или менее точно характеризуют статическую силу мышц разгибателей спины. Следует отметить, что, как правило, измеряется лишь статическая сила и только одной мышечной группы. В последние годы для оценки силы сгибателей, ротаторов и мышц, выполняющих боковой наклон туловища, а также в качестве тренажеров стали применять специальные динамометры [5].

Наиболее известным тренажером указанного типа является Тергумед 3D, который позволяет измерять статическую силу и проводить тренировку мышц-стабилизаторов позвоночника в различных плоскостях. Следует отметить, что указанные мышцы, как правило функционируют в динамическом режиме и экстраполировать на него данные статической силы не вполне правомерно и можно лишь со значительной поправкой.

Для тестирования силы мышц в динамическом режиме еще в 1960-е годы был предложен изокинетический динамометр. В настоящее время для этих целей наибольшее распространение получила система BIODEx (США), которая имеет специальную приставку для измерения силы и тренировки

мышц сгибателей и разгибателей позвоночника. Наш 20-летний опыт работы с этим аппаратом показал, что наиболее информативным показателем для оценки динамической силы является максимальный вращающий момент (peak torque), прочие параметры весьма вариабельны и не имеют существенного клинического значения. Обычно при возникновении анатомического препятствия или боли в момент выполнения движения происходит разной степени выраженности снижение мышечного усилия, что выражается или в волнистости графика изменения вращающего момента (легкая степень), или М-образной его форме (выраженные изменения), например, когда усилие резко падает из-за боли и затем восстанавливается [7–10].

Несколько лет назад бельгийские исследователи представили оригинальный аппарат BioniX sim3D Pro, который позволяет проводить тестирование как статической, так и динамической силы в трех плоскостях в положении стоя или сидя. Методика изометрического тестирования (статическая сила) аналогична той, что используется в немецком аппарате Тергумед 3D. Однако система BioniX Sim3 Pro предусматривает еще и возможность изокинетического тестирования, т.е. оценки движения вокруг трех осей при вращении, наклонах вперед/назад; наклонах вправо/влево.

Следует особо подчеркнуть, что эта система позволяет регистрировать усилие по всем осям движения одновременно, т.е. при сгибании или разгибании (наклон вперед/назад) фиксируется сила вращение и наклона вправо/влево. Такая возможность есть как при изометрическом, так и при изокинетическом тестировании.

Именно это обеспечивает получение уникальной и ранее недоступной для исследователей стабилизаторов позвоночника информации.

Нами выполнено 56 тестов с помощью системы BioniX Sim3 Pro у лиц в возрасте от 16 до 62 лет. Все обследованные мужчины, кроме одной женщины. В анамнезе у испытуемых были различной интенсивности и продолжительности боли внизу спины. В момент исследования жалоб в покое никто не предъявлял. Данные рентгенологического обследования не выявили деструктивных изменений в структурах позвоночника. В 2 случаях имелись имплантаты в поясничной области после оперативных вмешательств по поводу грыж диска.

Методика исследования соответствовала рекомендациями фирмы-разработчика системы BioniX Sim3 Pro. С помощью лазерного луча аппарат тестировал положение оси, вокруг которой затем выполнялось сгибание и разгибание. Испытуемый вставал на подвижную платформу аппарата, которая смещалась до момента соприкосновения поясницы с тазовым фиксатором. Далее пилотами фиксировали плечи и надплечья (положение подбирали индивидуально и заносили в протокол исследования), при этом испытуемый скрещенными руками захватывал ручки аппарата, в последующем пилотами фиксировали область бугристостей большеберцовых костей (ниже коленных суставов) и крылья таза на уровне передневерхних остей. После размещения и фиксации испытуемого последовательно измеряли амплитуду активных движений вокруг трех осей (активное сгибание/разгибание, наклоны вправо/влево и ротация) и регистрировали ее пределы. Затем приступали к изометрическому тесту: просили трехкратно максимально сильно выполнить попытку сгибания и разгибания. После паузы отдыха аналогично измеряли силу боковых наклонов и в конце ротации.

В последующем выполняли изокINETическое тестирование при движениях вокруг трех осей в

пределах ранее заданной амплитуды. Тест проводили в нескольких вариантах, а именно при угловой скорости 90, 45, 30 и 15° в 1 с.

По результатам тестирования создавался отчет, который включал как графические данные, так и результаты математического анализа и сравнения показателей агониста и антагониста. Отдельно в отчете были представлены графические данные о движении в каждом направлении и усредненные показатели усилия вокруг других осей.

Абсолютные значения как статической, так и динамической силы по результатам изометрического и изокINETического (максимальный момент вращения) тестирования колебались в широких пределах и были весьма индивидуальны. Результаты изокINETического тестирования при угловой скорости 30° в 1 с представлены в таблице.

Как видно из таблицы, существенных различий показателей мышц агонистов и антагонистов не выявлено. Статистически значимых различий при иных скоростях изокINETического тестирования также не отмечено. Вероятно, увеличение числа наблюдений и сравнение данных при различных заболеваниях позволит найти более четкие закономерности. Вместе с тем анализ данных, полученных у отдельных пациентов, выявил весьма неожиданные факты, описание которых ранее не встречалось в доступной литературе. В качестве иллюстрации приведем несколько примеров.

Анатолий К., 25 лет (рост 192 см, масса 79 кг), жалоб на боли в спине не предъявлял.

При выполнении изометрического теста (рис. 1) отмечено, что средние вращающие моменты мышц спины и живота примерно равны и составляют 182,8 и 180,2 N·m соответственно. Компенсаторная ротация при сгибании равна 25,1 N·m, а боковой наклон туловища — 19,1 N·m, при разгибании — 14,2 и 20,5 N·m соответственно.

Отмечены различия в показателях средних вращающих моментов мышц, выполняющих боковые наклоны,

Результаты изокINETического тестирования при угловой скорости 30° в 1 с

Параметр	Поворот влево	Поворот вправо	Разгибание	Сгибание	Наклон влево	Наклон вправо
Peak torque, Nm	73,82±36,10	62,03±29,87	124,08±38,12	137,75±46,91	109,95±25,92	115,16±18,31
Peak torque angle, °	-6,46±12,72	6,43±14,13	-4,29±6,70	-12,28±5,31	3,88±6,75	-3,86±4,51
Time to peak torque, s	0,38±0,30	0,42±0,27	0,54±0,29	0,64±0,29	0,47±0,28	0,48±0,23
Pk tq repetition	3,33±1,83	3,25±1,54	4,00±1,67	3,36±1,75	2,70±1,16	2,70±1,16
Pk tq rep work, J	37,47±20,00	32,27±15,75	62,90±26,84	68,67±29,68	44,42±18,73	45,52±16,19
AVG work, J	33,04±16,98	27,18±13,01	53,63±24,16	56,55±25,01	39,61±16,10	41,94±14,90
Pk tq/bw	0,90±0,48	0,74±0,35	1,51±0,51	1,67±0,61	1,33±0,35	1,38±0,26
Acceleration time, s	0,04±0,10	0,06±0,13	0,05±0,09	0,04±0,06	0,01±0,02	0,00±0,00
Deceleration time, s	0,05±0,14	0,09±0,24	0,01±0,02	0,03±0,08	0,00±0,00	0,00±0,01
Torque ratio, %	112,18±18,43	93,63±15,54	93,10±17,69	111,15±22,62	94,95±14,58	107,53±16,21

Примечание. Peak torque — максимальное усилие за все циклы движения (вращающий момент); peak tq angle (угол максимального усилия или вращающего момента) — положение или угол ведущего вала системы во время цикла движения при максимальном усилии; time to peak tq — время от начала цикла движения до развития максимального усилия; pktq rep — число повторов движений с максимальным усилием, или вращающим моментом; pktq rep work — работа, выполненная во время цикла движения с максимальным усилием; pk tq/bw — отношение вращающего момента к массе тела; AVG work (average) — среднее значение выполненной работы; acceleration time — среднее время ускорения, необходимое для достижения заданной константы угловой скорости (изокINETической); deceleration time — среднее время замедления (отрицательное ускорение), необходимое для полной остановки; если причиной остановки является достижение максимального значения ROM (пределы амплитуды движения), то данный показатель не имеет значения; torque ratio — коэффициент усилия: отношение вращающего момента агониста и антагониста, выраженное в процентах.

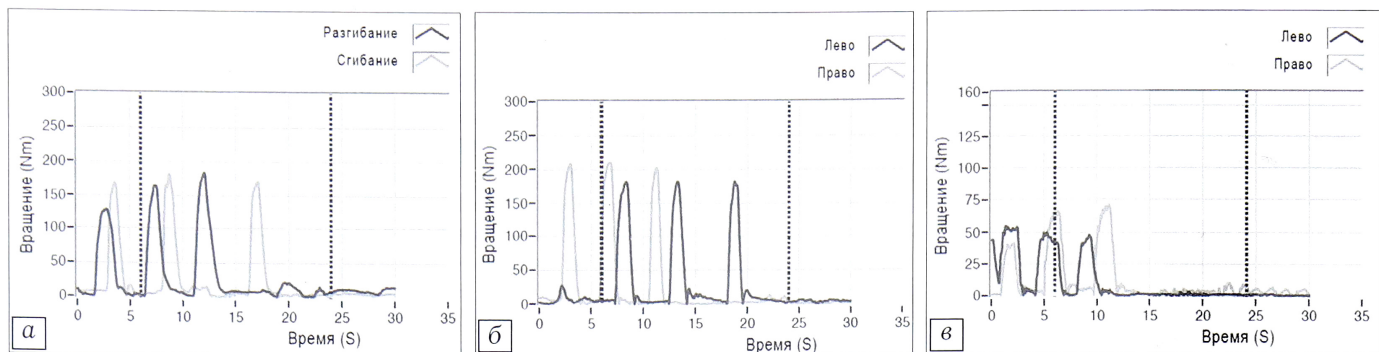


Рис. 1. Результаты изометрического тестирования Анатолия К.

а — наклон вперед/назад (сгибание/разгибание), б — боковой наклон вправо/влево, в — ротация туловища вправо/влево.

которые составляют 181,6 и 209,8 $\text{N}\cdot\text{m}$. Компенсаторная ротация при наклоне влево равна 11,6 $\text{N}\cdot\text{m}$, вправо — 16,3 $\text{N}\cdot\text{m}$. Компенсаторная попытка наклона вперед/назад более существенна и при наклоне влево составляет 47,9 $\text{N}\cdot\text{m}$, а вправо — 62,6 $\text{N}\cdot\text{m}$. Вместе с тем по результатам изометрического теста сложно судить о том, что это — попытка сгибания или разгибания туловища. Получить эту информацию позволяет изокинетический тест, о чем будет сказано ниже. Средний вращающий момент при ротации туловища вправо составляет 47,5 $\text{N}\cdot\text{m}$, вле-

во — 71,0 $\text{N}\cdot\text{m}$, что указывает на существенную асимметрию. Компенсаторный наклон туловища вперед/назад в данном случае весьма значителен и при повороте влево равен 32,4 $\text{N}\cdot\text{m}$, а вправо 95,8 $\text{N}\cdot\text{m}$. Схожая картина и в отношении компенсаторных боковых наклонов туловища при выполнении его ротации. Так, при повороте влево величина вращающего момента вокруг оси боковых наклонов составляет 60,3 $\text{N}\cdot\text{m}$, а при повороте вправо доходит до 169,0 $\text{N}\cdot\text{m}$, что также свидетельствует о выраженной асимметрии.

Таким образом, по итогу изометрического теста можно заключить, что у испытуемого имеется скрытая, но весьма существенная асимметрия в работе мышц-стабилизаторов позвоночника. Это указывает на субклинический мышечный дисбаланс. Следует заметить, что через несколько дней после тестирования он обратился к нам с жалобами на чувство дискомфорта в области поясницы после продолжительной статической нагрузки, хотя до этого их никогда не было.

Ниже представлены результаты изокинетического тестирования того же испытуемого.

Установлено, что средние максимальные вращающие моменты мышц, выполняющих наклон туловища вперед/назад, составляют 118,4 и 130,2 $\text{N}\cdot\text{m}$, т.е. различия между сгибателями и разгибателями позвоночника незначительны (рис. 2). Величины компенсаторных усилий при выполнении этого движения незначительны и находятся в пределах от 8,2 до 14,4 $\text{N}\cdot\text{m}$ (боковой наклон при сгибании) и от 11,6 до 17,8 $\text{N}\cdot\text{m}$ (ротация туловища). Более наглядно это видно на рис. 3, на котором полу жирные линии графиков соответствуют среднему вращающему моменту основного движения, а остальные — компенсаторных (видно, что линии незначительно отклоняются от минимальных значений).

Средние максимальные вращающие моменты мышц, выполняющих наклон туловища вправо/влево, составляют 130,3 и 127,3 $\text{N}\cdot\text{m}$, т.е. фактически равны (рис. 4). Величины компенсаторных усилий при выполнении этого движения также незначительны и находятся в пределах от 12,7 до 24,8 $\text{N}\cdot\text{m}$ (наклон вперед/назад) и от 14,9 до 12,3 $\text{N}\cdot\text{m}$ (ротация тулови-

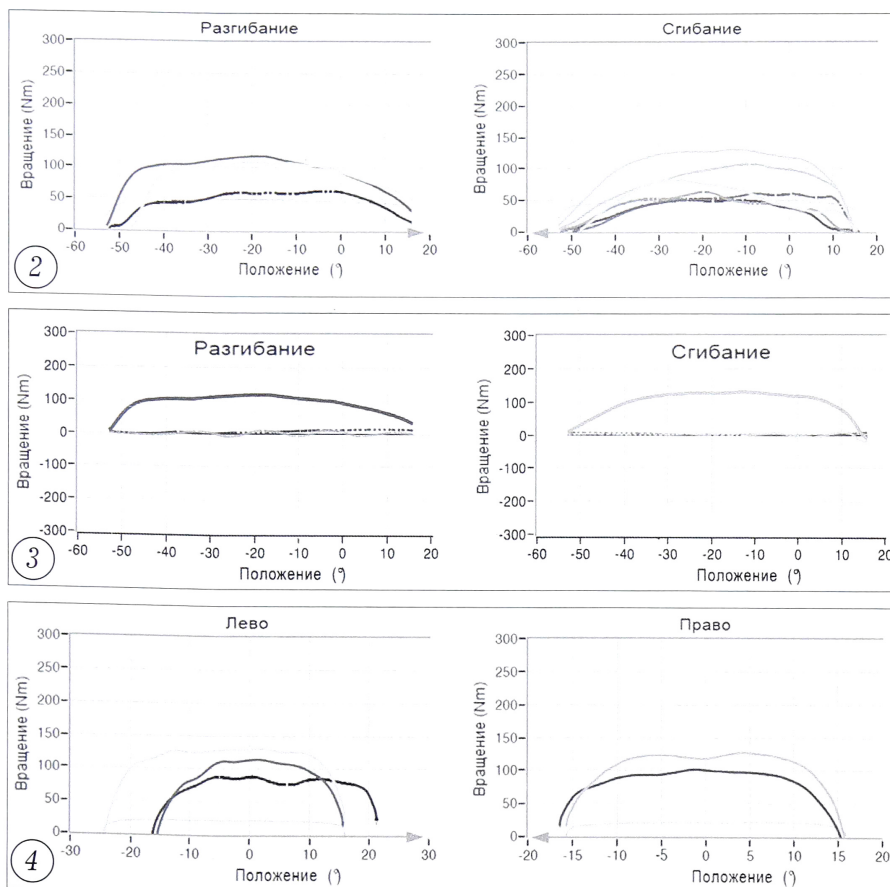


Рис. 2. Результаты изокинетического теста при наклоне туловища вперед/назад (сгибание/разгибание) (Анатолий К.).

Рис. 3. Графики средних значений вращающих моментов основного и компенсаторного движения при наклоне туловища вперед/назад (Анатолий К.). Здесь и на рис. 5, 7, 9, 11 полужирная линия соответствует основному движению, остальные — компенсаторным.

Рис. 4. Результаты изокинетического теста при боковых наклонах туловища (Анатолий К.).

ща). На рис. 5 видно, что линии, соответствующие вращательным моментам компенсаторных усилий, незначительно отклоняются от минимальных значений.

Средние максимальные вращающие моменты мышц, выполняющих ротацию туловища, составляют 56,8 и 55,9 $\text{N}\cdot\text{m}$, т.е. сопоставимы (рис. 6). Вместе с тем обращает внимание сама форма кривых вращающих моментов при поворотах в обе стороны: они имеют волнообразный характер, что, как указано выше, свидетельствует о скрытом, субклиническом, мышечном дисбалансе. Величины компенсаторных усилий при выполнении этого движения варьируются в пределах от 30,2 до 23,4 $\text{N}\cdot\text{m}$ (наклон вперед/назад) и от 34,4 до 87,8 $\text{N}\cdot\text{m}$ (боковые наклоны туловища). При этом следует отметить, что направление этих компенсаторных движений при повороте влево даже меняет вектор, а при повороте вправо существенно увеличивается. На рис. 7 видно, что линии, соответствующие компенсаторным усилиям, значительно отклоняются от нулевых значений и фактически приближаются по величине и форме к графику вращающего момента основного ротационного движения, но имеют иной вектор.

Исследования, проведенные у других пациентов, выявили в целом аналогичную картину при этом наиболее значимые изменения в характере кривой зависимости вращающего момента от положения туловища получены при тестировании ротационных движений, как и в представленном выше наблюдении.

Анна Ч., 26 лет, профессионально занималась спортом, но из-за боли в спине вынуждена была прекратить, прошла несколько курсов реабилитации в ряде европейских медицинских центров с временным эффектом. В момент обследования боли в покое нет, спортом не занимается.

Существенной асимметрии по значениям вращающего момента при ротации не выявлено. Имеет место небольшая «волнистость» графика (рис. 8). Пациентка отмечает «неуверенность» при выполнении этих движений. Графики средних значений вращающего момента при поворотах туловища вправо и влево не имеют существенных отличий, однако обращает внимание, что ротация сопровождается значительной активностью мышц, производящих боковой наклон, и компенсаторным включением мышц сгибателей и разгибателей, но гораздо менее выраженным (рис. 9).

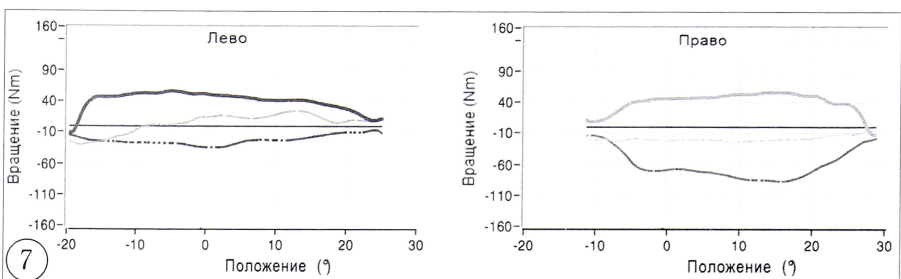
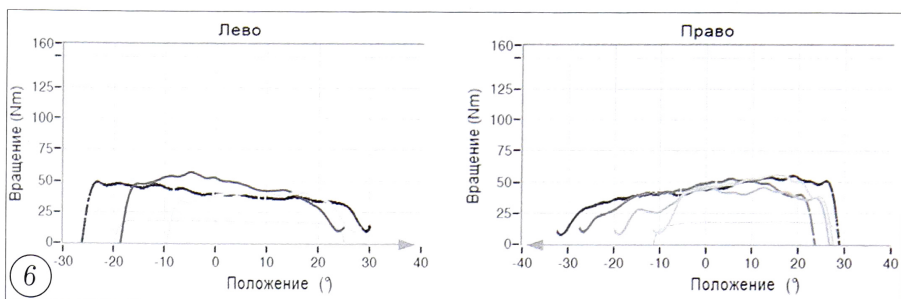
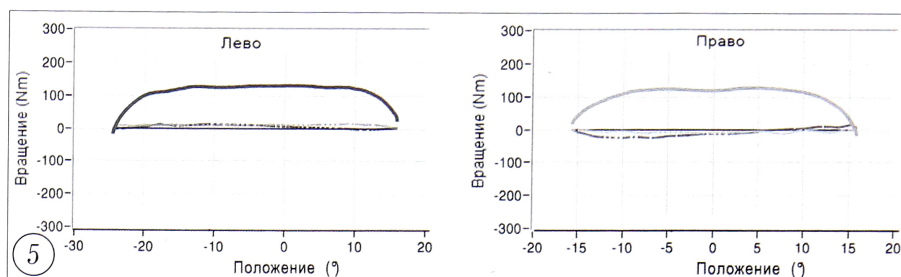


Рис. 5. Графики средних значений вращающих моментов основного и компенсаторных движений при наклоне туловища вправо/влево (Анатолий К.).

Рис. 6. Результаты изокINETического теста при ротации туловища (Анатолий К.).

Рис. 7. Графики средних значений вращающих моментов основного и компенсаторного движения при ротации туловища (Анатолий К.).

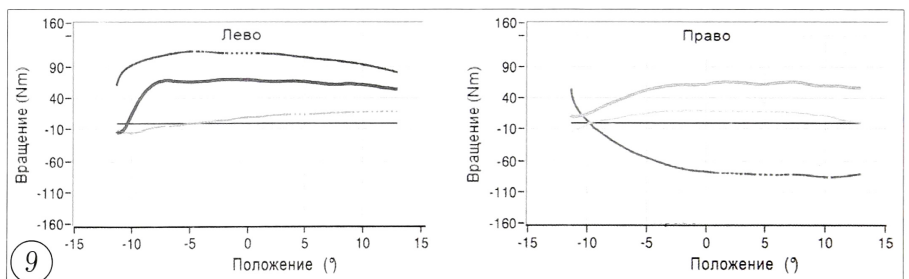
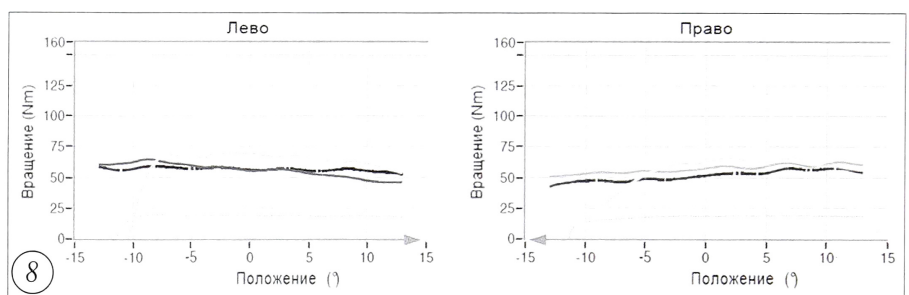


Рис. 8. Результаты изокINETического теста при ротации туловища (Анна Ч.).

Рис. 9. Графики средних значений вращающих моментов основного и компенсаторных движений при ротации туловища (Анна Ч.).

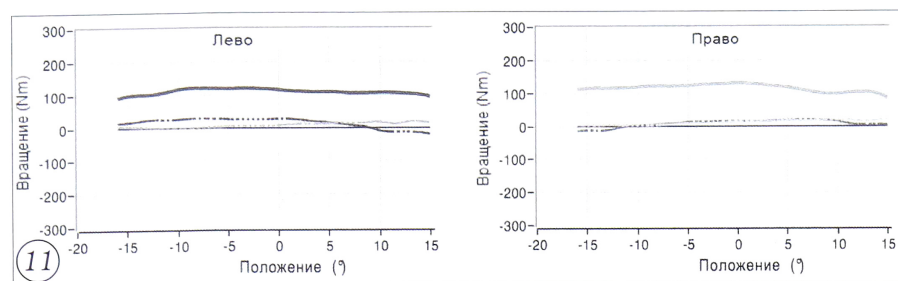
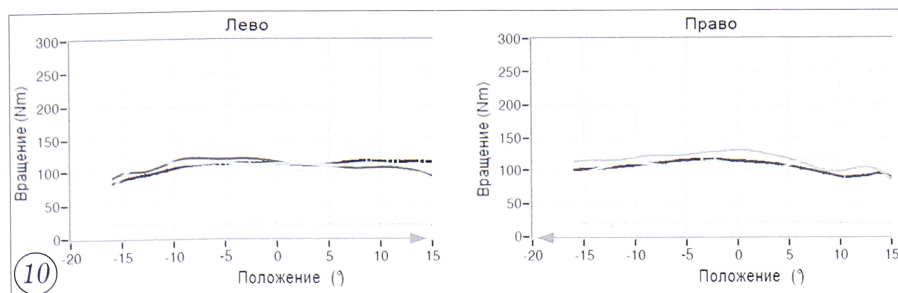


Рис. 10. Результаты изокINETического теста при ротации туловища (Евгений Д.).

Рис. 11. Графики средних значений вращающих моментов основного и компенсаторных движений при ротации туловища (Евгений Д.).

Другой пример.

Евгений Д., 23 года, профессионально занимается спортом, периодически возникают боли в спине при спортивных нагрузках. По результатам МРТ выявлена картина начальной стадии спондилоартроза. Показатели тестирования при сгибании и разгибании, а также при наклонах туловища на достаточно высоком уровне и симметричны. Данные, полученные при поворотах, представлены ниже.

Кривые вращающего момента при повороте как вправо, так и влево имеют волнообразный характер (рис. 10). При повороте вправо однократно зарегистрировано более выраженное снижение, что сопровождалось незначительными болями в спине, которые сразу после тестирования купировались самостоятельно. Анализ графиков средних значений вращающего момента при поворотах туловища показывает, что они находятся на достаточно высоком уровне и незначительно отличаются по форме. Имеется небольшая тенденция к включению мышц, выполняющих боковые наклоны туловища, но ее значение невелико относительно амплитуды вращающего момента основного движения (рис. 11).

ВЫВОДЫ

1. Оценка функциональных возможностей мышц-стабилизаторов позвоночника может быть произведена с использованием технологии 3D-тестирования с помощью системы Bionix Sim3 Pro, которая позволяет выполнять тестирование как в изометрическом, так и изокINETическом режиме.

2. Данные изометрического и изокINETического тестирования мышц-стабилизаторов позвоночника позволяют выявлять не только грубую патологию и недостаточность отдельных мышц, но и определять субклинические нарушения мышечного баланса, что является основой для составления индивидуальных программ реабилитации.

ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Bogduk N., Twomey L.T. Clinical anatomy of lumbar spine. 2nd ed. Melbourne: Churchill Livingstone; 1991.
2. Миронов С.П., Бурмакова Г.М., Цыкунов М.Б. Пояснично-крестцовый болевой синдром у спортсменов и артистов балета. М.: Типография «Новости»; 2006 [Mironov S.P., Burmakova G.M., Tsykunov M.B. Low back pain syndrome in athletes and ballet dancers. Moscow: Tipografiya «Novosti»; 2006 (in Russian)].
3. Цыкунов М.Б. Клинические методы диагностики нарушений мышечной системы. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2011; 10: 52–8 [Tsykunov M.B. Clinical diagnosis methods of muscle disorders. Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina. 2011; 10: 52–8 (in Russian)].
4. Цыкунов М.Б., Малахов О.А., Поляев Б.А. Диагностика и консервативная коррекция статических деформаций: Практическое руководство. М.: РАСМИРБИ; 2004 [Tsykunov M.B., Malakhov O.A., Polyayev B.A. Diagnosis and conservative correction of static deformities: Practical manual. Moscow: RASMIRBI; 2004 (in Russian)].
5. Цыкунов М.Б. 3D-тестирование мышц-стабилизаторов позвоночника. Восстановительная медицина. 2014; 2: 42–9 [Tsykunov M.B. 3D-testing of spinal stabilizer muscles. Vosstanovitel'naya meditsina. 2014; 2: 42–9 (in Russian)].
6. Mironov S.P., Tsykunov M.B., Burmakova G.M., Andreiev S.V. Treatment of back pain in children. Proc. 8th Interdisciplinary World Congress on Low Back and Pelvic Pain. Dubai, 2013: 558–9.
7. Миронов С.П., Цыкунов М.Б. Основы реабилитации спортсменов и артистов балета при повреждениях и заболеваниях опорно-двигательного аппарата. М.; 1998: 28–38 [Mironov S.P., Tsykunov M.B. Principles of rehabilitation of athletes and ballet dancers in loco-motor system injuries and diseases. Moscow; 1998: 28–38 (in Russian)].
8. Цыкунов М.Б., Косов И.С. Методика объективной оценки стойкости контрактур суставов. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 1996; 2: 51–4 [Tsykunov M.B., Kosov I.S. Technique for objective assessment of joint contracture rigidity. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 1996; 2: 51–4 (in Russian)].
9. Цыкунов М.Б., Орлецкий А.К., Косов И.С. Клиническая и инструментальная оценка состояния активных стабилизаторов при повреждениях капсульно-связочного аппарата коленного сустава. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 1997; 1: 27–33 [Tsykunov M.B., Orletskiy A.K., Kosov I.S. Clinical and instrumental assessment of active stabilizers status in knee ligamento-capsular complex injuries. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 1997; 1: 27–33 (in Russian)].
10. Цыкунов М.Б., Косов И.С. Изометрическая тренировка четырехглавой мышцы при повреждениях капсульно-связочных структур коленного сустава. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 1997; 4: 45–50 [Tsykunov M.B., Kosov I.S. Isometric testing of quadriceps in knee ligamento-capsular structures injuries. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 1997; 4: 45–50 (in Russian)].

Сведения об авторах: Миронов С.П. — академик РАН и РАМН, директор ЦИТО; Цыкунов М.Б. — доктор мед. наук, профессор, зав. отд. реабилитации.

Для контактов: Цыкунов Михаил Борисович. 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10. Тел.: 8 (495) 450–45–41. E-mail: rehcto@mail.ru.