

Мельников Андрей Александрович – ФГБОУ ВПО «Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского»; e-mail: a.melnikov@yspu.yar.ru; 150000. г. Ярославль, ул. Республиканская, 108; тел.: 89610254836; кафедра физического воспитания; зав. кафедрой; д.б.н.; доцент.

Викулов Александр Демьянович – e-mail: a.vikulov@yspu.yar.ru; тел: 84852728485; кафедра теории физической культуры; зав. кафедрой; д.б.н.; профессор.

Nikolaev Roman Yurevich – Ribinsk State Institute of Technology; e-mail: nicrol.roman@yandex.ru; 191, Lenina Avenue, ap. 31, Ribinsk, 152907, Russia; phone: +79806589176; the department of physical culture and exercise; senior lecturer.

Melnikov Andrey Alexandrovich – Yaroslavl State Pedagogical University; e-mail: a.melnikov@yspu.yar.ru; 108, Republikanskaya street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +79610254836; the department of physical culture and exercise; head of the department; dr. of boil. sc.; associate professor.

Vikulov Alexandr Demianovich – e-mail: a.vikulov@yspu.yar.ru; phone: +74852728485; the department of physical culture theory; head of the department; dr. of boil. sc.; professor.

УДК 612.76

Н.В. Холмогорова, П.А. Кручинин, Ю.С. Левик, С.С. Слива, В.Ю. Шлыков

ДИАГНОСТИКА РАННИХ НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СИЛОМОМЕНТНЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В работе обсуждается технология неинвазивной диагностики ранних неврологических нарушений. Рассматриваются приемы диагностики, основанные на регистрации и последующем спектральном анализе колебательных движений тела человека и его частей, вызванных ритмическими биениями сердца, дыханием, сокращением отдельных двигательных единиц и т.д. Приводятся результаты апробации отдельных элементов технологии на примере анализа особенностей моторной регуляции пациентов с паркинсоническими нарушениями. Показано, что наиболее полную информацию для подобной диагностики предоставляет аппаратно-программный комплекс с распределенной системой силомоментных датчиков.

Силомоментный датчик; неврологические нарушения; тремор.

N.V. Holmogorova, P.A. Kruchinin, Yu.S. Levik, S.S. Sliva, V.Yu. Shlykov

DIAGNOSTICS OF EARLY NEUROLOGICAL DISORDERS WITH HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEXES BASED ON FORCE-TORQUE SENSORS

This paper deal with the technology of the early noninvasive diagnostics of neurological disorders. A new approach to the diagnostics of neurological disorders, based on recording and subsequent frequency analysis of the oscillations of the human body and its parts caused by the rhythmic beating of the heart, breathing, contraction of separate motor units, etc. The testing results of technology items by analyzing features of the motion regulation in patients with Parkinson's disorders are described. It is shown that the most complete information for such a diagnosis provides a hardware-software complex based on distributed set of force-torque sensors.

Force-torque sensor; neurological disorder; tremor.

Усложнение социальных и экологических условий жизни, увеличение информационной нагрузки на человека и целый ряд других экзогенных и эндогенных факторов приводит не только к увеличению у трудоспособного населения

различных неврологических нарушений, но и к «омоложению» неврологических заболеваний органической и психогенной природы. В такой ситуации особенно важна разработка технологии диагностики ранних неврологических нарушений.

Методика. Разработка технологии неинвазивной диагностики ранних неврологических нарушений включает создание: аппаратно-программного комплекса (АПК) для оценки функционального состояния ЦНС сидящего человека; неинвазивной тестовой методики диагностики тремора в положении сидя и стоя; методических приемов выделения из сигнала силомоментных датчиков физиологического или патологического тремора; методики обработки данных и их программной реализации; апробацию разработанных подходов. Эта технология основана на использовании двух силомоментных АПК: компьютерного стабиллоанализатора «Стабилан-01-2» (ЗАО ОКБ «Ритм», г. Таганрог) и АПК «Многофункциональное кресло», разработанного лабораторией психологических и нейробиологических проблем адаптации в образовании МГППУ совместно с ЗАО ОКБ «Ритм» (г. Таганрог) [1].

Так же как в работах [2, 3], для оценки тремора человека в условиях стоя предлагается использовать показатели вертикальных усилий (баллистограмм) стабиллоанализатора. Мы представляем новый подход к диагностике ранних неврологических нарушений на основе регистрации и последующего анализа частотного спектра низкоамплитудных постуральных микро движений человека, порожденных колебательными движениями тела и его частей, вызванных ритмическими биениями сердца, дыханием, сокращением отдельных двигательных единиц и т.д.

Для выявления повышенной готовности к генерации тремора предлагаются функциональные нагрузочные пробы, вызывающие возникновение усиленного физиологического тремора. Например, удержание груза, весом 1,5–3кГ в ведущей руке, опирающейся локтем на неподвижную опору (подлокотник кресла с вмонтированным трехкомпонентным силомоментным датчиком). Для уточнения природы тремора предлагается использовать экспериментальную модель, снижающую центральные воздействия на локальный физиологический тремор.

В качестве основного метода обработки показаний датчиков силомоментных комплексов выбран спектральный анализ.

Примерами задач, которые могут быть решены с помощью разрабатываемой технологии, являются исследования скрытых моторных нарушений при премутации X-хромосомы и ранней стадии болезни Паркинсона.

В пилотных исследованиях, направленных на апробацию элементов предлагаемой технологии, приняли участие 6 носителей премутации X-хромосомы (родственники первой и второй степени родства больных с синдромом умственной отсталости, сцепленной с ломкой хромосомой X), 3 пациента на ранней стадии болезни Паркинсона (БП) и 20 взрослых без диагностированных неврологических и соматических заболеваний. Возраст обследуемых варьировался от 20 до 55 лет. Все они дали добровольное согласие на участие в исследовании.

Протокол обследования. Регистрация осцилляторных движений тела и его частей в условиях стоя осуществлялась с помощью стабиллоанализатора «Стабилан 2-01», а в условиях сидя – с помощью АПК «Многофункциональное кресло». В первом случае обследуемый с открытыми или закрытыми глазами спокойно стоял на стабиллографе в течение 1 мин. Регистрация сигналов силомоментной платформы проводилась до и после завершения нагрузочной пробы. Продолжительность одного стабиллографического обследования составляла 1–5 мин. Во втором случае обследуемый спокойно сидел в АПК «Многофункциональное кресло» в удобной позе, его спина касалась спинки АПК, предплечье левой руки лежало на подлокотнике, а локоть правой руки упирался в подлокотник кресла под углом около 45°. Для усиления физиологического тремора обследуемому предлагалось правой рукой совершить статическую работу: удерживать груз весом 2 кГ в тече-

ние 2–4 мин. Выбор массы груза и время его удержания определялись физическими возможностями обследуемого. Регистрация сигналов силомоментных датчиков АПК проводилась до, во время и по завершении статической работы. Общая длительность обследования на АПК «Многофункциональное кресло» составляла 5–8 мин. Перерыв между стабилметрическими исследованиями в позе стоя и сидя для одного обследуемого составлял не менее 10-ти минут.

Оценка спектральной плотности мощности сигналов проводилась с использованием непараметрического метода Велча [4]. Для вычислений выбирались интервалы времени, протяженность которых превышала 60 с. при частоте опроса датчиков 50 Гц. В рамках метода использовалось окно протяженностью 20 с с перекрытием 7 с.

Результаты. Как показали наши исследования в условиях вертикальной позы (глаза открыты или закрыты), у всех обследуемых, как правило, отсутствуют локальные пики в спектре мощности стабилграфических сигналов на частоте выше 1 Гц. Исключение могут составлять пациенты с выраженной треморо-ригидной формой БП. На рис. 1 представлены спектры вертикальных усилий, регистрируемые стабиланализатором в условиях ортоградной позы. В спектре мощности сигналов вертикальных усилий (баллистограмм) как у здоровых обследуемых (рис. 1,б), так и у пациентов с паркинсоническими нарушениями (рис. 1,а) локальные спектральные пики наблюдаются на частотах, кратных частоте сердечного ритма. При этом у здоровых обследуемых большинство этих пиков имеют сравнимые величины, в то время как для пациентов с БП (0–1 стадия по Хенну и Яру) величина спектрального пика 6–8 Гц тремора в 5–10 раз превосходит величины прочих спектральных пиков. Наблюдаемый эффект усиления максимального спектрального пика на частоте 6–7 Гц, по-видимому, можно рассматривать как проявление скрытого очага генерации тремора.

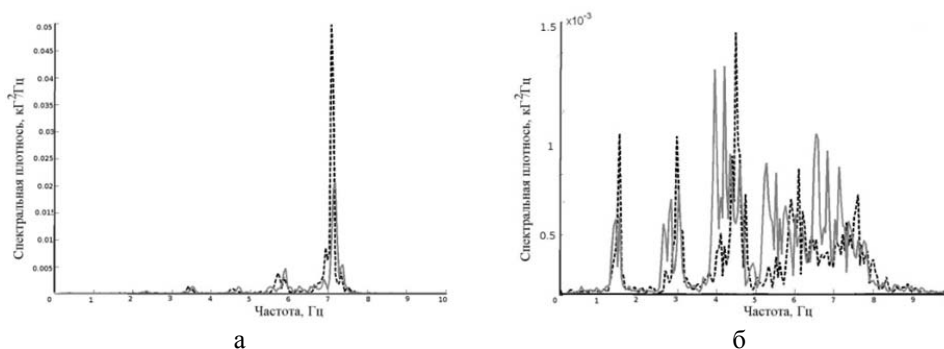


Рис. 1. Спектр мощности сигнала вертикальных усилий пациента с диагнозом болезнь Паркинсона (а) и здорового обследуемого (б) в условиях ортоградной позы (сплошная линия – глаза открыты, пунктир – глаза закрыты)

Во второй серии исследований мы провели регистрацию и частотный анализ поструральных микродвижений обследуемых в условиях сидя до, во время и после выполнения тестовых нагрузочных проб. Результаты исследований показали, что при спокойном сидении у здорового человека и носителя премутации ломкой X-хромосомы произвольные колебательные движения тела и его частей с частотой выше 1 Гц в горизонтальной плоскости слабо выражены. В спектрограмме сигнала вертикальных усилий четко выделяется пик спектральной плотности на частоте дыхания (0,2–0,4 Гц). В диапазоне частот свыше 1 Гц наибольшая мощность спектра сигналов вертикальных усилий встречается в диапазоне частот 3,5–5,5 Гц. У некоторых носителей премутации ломкой X-хромосомы в условиях сидя в от-

дельных частях тела наблюдался 6–8 Гц тремор. У спокойно сидящего пациента с диагнозом БП осциллирующие движения тела и его частей регистрировались как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. При этом локальные пики мощности спектра в диапазоне 6–8 Гц наблюдались в спектрограммах практически всех сигналов силомоментных датчиков АПК. При выполнении функциональной нагрузочной пробы в руке, удерживающей груз, у здоровых обследуемых и носителей премутации ломкой X-хромосомы наблюдался усиленный физиологический тремор. На участке спектральной характеристики вертикальных усилий сигнала правого подлокотника проявлялся локальный максимум в частотном диапазоне 6–12 Гц (рис. 2,б). Для обследуемых с диагнозом БП в сигналах датчика правого подлокотника при удержании груза правой рукой наблюдался 6–8 Гц тремор, незначительно превышающий уровень его спектра в той же полосе частот при удержании руки без груза (т.е. без статической нагрузки) (рис. 2,а).

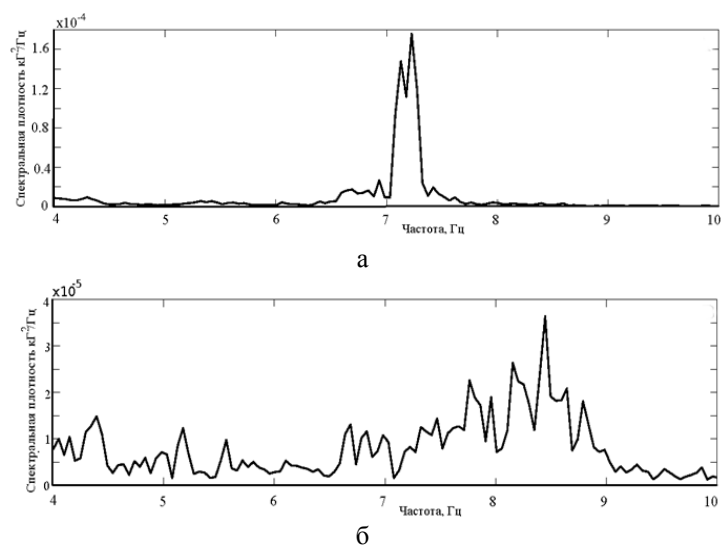


Рис. 2. Спектры мощности вертикальных усилий сигнала датчиков правого подлокотника АПК «Многофункциональное кресло», регистрируемые при удержании груза в правой руке для пациента с диагнозом БП (а) и здорового обследуемого (б)

На рис. 3 представлены спектры мощности вертикальных усилий на датчике левого подлокотника АПК «Многофункциональное кресло», регистрируемые при удержании груза в правой руке для здорового обследуемого (а), носителя ломкой X-хромосомы и пациента с диагнозом БП (в).

Удержание груза в правой руке у здорового обследуемого практически не влияет на высокочастотную часть спектра мощности сигналов силомоментного датчика левого подлокотника. У носителей премутации ломкой X хромосомы, характеризующихся наличием паркинсонических проявлений, статическая работа правой руки сопровождается появлением 6–8 Гц тремора в левой руке. У пациентов с диагнозом БП «нагружение» правой руки практически, не влияет на тремор покоя левой. Следует отметить, что при статической работе 6–8 Гц тремор у носителей премутации ломкой X-хромосомы может встречаться и в других частях тела, соприкасающихся с «очувствленными» поверхностями АПК. Степень выраженности тремора, возможно, определялась их текущим функциональным состоянием. У пациентов с БП в условиях сидя 6-8 Гц тремор проявляется практически во всех

частях тела, соприкасающихся с «очувствленными» поверхностями АПК, как до, так и во время и после выполнения статической нагрузочной пробы. При этом его амплитуда мало зависела от выполняемой статической нагрузки.

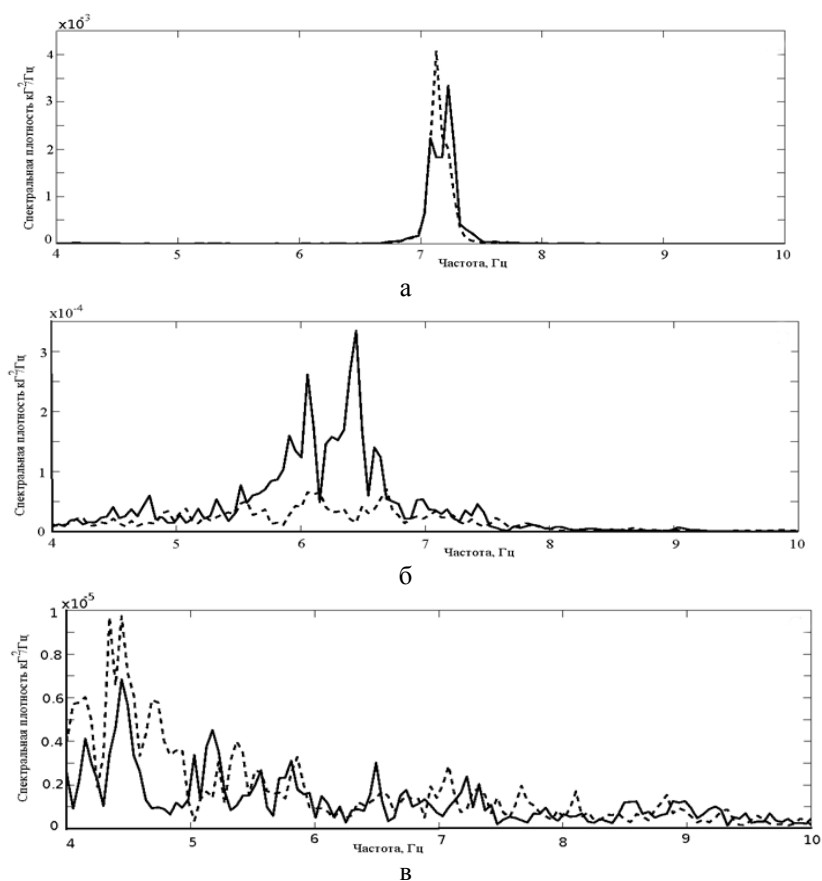


Рис. 3. Спектры мощности вертикальных усилий сигнала датчика левого подлокотника АПК «Многофункциональное кресло», регистрируемые при удержании груза в правой руке для пациента с диагнозом БП (а), носителя ломкой X-хромосомы (б) и здорового обследуемого (в)

Заключение. Отдельные изменения в работе двигательной системы традиционно рассматриваются неврологами в качестве клинических признаков нарушения функции ЦНС. Одним из таких клинических признаков является тремор. В контексте данных о возможности количественной оценки тремора с помощью силомоментных платформ [2, 3, 5] в работе рассматриваются подходы к разработке технологии неинвазивной диагностики ранних неврологических нарушений, основанной на использовании силомоментных аппаратно-программных комплексов. Результаты наших исследований позволили установить, что наиболее информативной является ситуация, при которой значительное количество силомоментных датчиков монтируется на некоторой поверхности, контактирующей с различными функциональными звеньями тела. Примером такого устройства служит АПК «Многофункциональное кресло». Эффективное использование «очувствленных» поверхностей АПК позволяет получать более точные сведения об источнике наблюдаемых колебательных процессов и анализировать динамику источника возбуждения.

Стабилографические исследования тремора при ранних неврологических нарушениях затруднены особенностями регуляции вертикальной позы и ограниченностью контакта тела человека с «очувствленной» поверхностью стабилоанализатора. Как показали наши исследования, в этом случае, с точки зрения спектрального анализа, наиболее перспективным является анализ изменений вертикальных составляющих усилий, отображаемых баллистограммой. Предлагаемая в работе экспериментальная модель усиления физиологического тремора позволяет выявить повышенную готовность к генерации тремора и описать особенности моторной регуляции здорового человека и пациентов с паркинсоническими нарушениями в виде паттернов проявлений тремора покоя и тремора действия.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что предлагаемая технология является перспективной с точки зрения оценки ранних неврологических нарушений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Холмогорова Н.В., Слива С.С., Писаренко О.А., Переяслов Г.А., Кручинин П.А.* Многофункциональное кресло/ Патент на полезную модель N 91269 с приоритетом от 12.11.2009.
2. *Breme N., Guler H.C.* Method for analysis of abnormal body tremors // US patent 6936016 B2. Date Aug.30, 2005.
3. *Манойлов В.В., Романов С.П.* Способ оценки функционального состояния центральной нервной системы человека и устройство для его реализации/ Патент РФ RU2195869 от 8.11.2000.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор И.Б. Старченко.

Холмогорова Наталья Владимировна – Московский городской психолого-педагогический университет; e-mail: natalya_holmogor@mail.ru; 127051 г. Москва, ул. Сретенка, 29; тел.: 84992597981; зав. лабораторией; к.б.н.; доцент.

Кручинин Павел Анатольевич – e-mail: pkruch@mech.math.msu.su; в.н.с.; к.ф.-м.н.; доцент.

Шлыков Владимир Юрьевич – e-mail: shlykov@iitp.ru; с.н.с.; к.б.н.

Левик Юрий Сергеевич – Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН; e-mail: lab9@iitp.ru; 127994, г. Москва, Большой Каретный пер., 19; тел.: 84956502895; зав. лабораторией; д.б.н.

Слива Сергей Семенович – Закрытое акционерное общество «ОКБ “Ритм”»; e-mail: stabilan@okbritm.com.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99; тел.: 88634623190; начальник отдела.

Holmogorova Natalya Vladimirovna – Moscow State University of Psychology and Education; e-mail natalya_holmogor@mail.ru; 29, Sretenka street, Moscow, 127051, Russia; phone: +74956820173; head of laboratory; cand. of boil. sc.; associate professor.

Kruchinin Pavel Anatolievich – e-mail: pkruch@mech.math.msu.su; leading scientist; cand. ofphis.-math. sc.; associate professor.

Shlykov Vladimir Yur'evich – e-mail: shlykov@iitp.ru; senior scientist; cand. of boil. sc.

Levik Yuriy Sergeevich – Institute for Information Transmission Problems RAS; e-mail: shlykov@iitp.ru; 19, Bolshoy Karetny laine, Moscow, 127994, Russia; phone: +74956502895; head of the laboratory; dr. of boil. sc.

Sliva Sergey Semenovich – Joint Stock Company «ОКБ “Ритм”»; e-mail: stabilan@okbritm.com.ru; 99, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634623190; head of department.