



© Авторы, 2018  
© ООО «Издательство «Радиотехника»,  
2018

**Никита Дмитриевич  
Бабанов** –

лаборант-исследователь, лаборатория  
физиологии функциональных состояний  
человека, НИИ нормальной физиологии  
им. П.К. Анохина (Москва)

E-mail: n.babanov@nphys.ru

**Олег Витальевич  
Кубряк** –

д.б.н., зав. лабораторией физиологии  
функциональных состояний человека,  
НИИ нормальной физиологии им. П.К.  
Анохина (Москва)

E-mail: o.kubryak@nphys.ru

УДК 007.51

## Системная оценка состояния конечности у человека по данным электромиограммы

*Н.Д. Бабанов, О.В. Кубряк*

Рассмотрено соотношение реальных биоэлектрических параметров с доступной силой конечности, являющееся потенциальным диагностическим и прогностическим признаком. Для численной характеристики может использоваться «силовой коэффициент электромиограммы», который рассматривается в качестве параметра состояния системы.

**Ключевые слова:** теория функциональных систем, теория автоматического управления, коэффициент преобразования, мышечное усилие, динамометрия, электромиограмма.

The ratio of real bioelectric parameters to the available strength of the limb is a potential diagnostic and prognostic sign. For numerical characteristics, the "power factor of the electromyogram" can be used, which is considered as a parameter of the system state.

**Keywords:** theory of functional systems, automatic control theory, the conversion factor, muscular effort, dynamometry, electromyogram.

DOI: 10.18127/j15604136-201811-04

Основная критика теории функциональных систем связана с трудностью физического выявления «функциональной системы» подобно отдельному органу или ткани живого существа. Поиск различных элементов из схемы функциональной системы (классическое описание от П.К. Анохина [1]), попытки строгого выделения ее органических субстратов, вероятно, не только дезориентировали самих исследователей, но и отдаляли теорию от практики. Например, лингвистически явно удобнее «лечить ногу», чем «лечить функциональную систему управления нижней конечностью». В действительности же опытный врач учитывает многообразие различных связей – по многим параметрам состояний человека (анализы крови, ультразвуковые, электрофизиологические и гистологические исследования, рентгеновские методы и т.д.) и по известным влияниям лекарств и немедикаментозных воздействий на пациента, диеты, климата, режима дня. Иными словами, трудно отрицать, что реальная качественная медицинская практика, процесс лечения носят системный характер. Рутинные числовые показатели, используемые в медицине, также по факту служат характеристикой системы (например, исследование уровня креатинина в крови), даже если направленность диагностики связывается с отдельным органом или тканью (например, диагностикой миопатии). Возможно, что узкая специализация врачей дополнительно закрепляет в сознании секторальный, противоположный системному, взгляд на процесс лечения. «Техни-

цизм, техническое мышление в сознании многих врачей вступили в соревнование со здоровым и вечно живым клиницизмом и стали теснить его» [2]. Однако в итоге мультидисциплинарный процесс (разные специалисты, консилиум) все равно возвращает к системе, необходимости системного лечения и системных оценок состояния человека. Преодолению очевидных сложностей, оптимизации усилий служит и алгоритмизация работы врачей, попытки использования искусственных интеллектуальных систем в управлении диагностикой и лечением. В этом же контексте, полагаем, следует рассматривать и разработку адекватных «системных оценок» состояний.

Цель работы связана с темой новых подходов к диагностике нарушений управляемости конечностей у человека и проектированию вспомогательных устройств, в рамках которой проводится поиск системных характеристик.

Конкретной задачей является определение качества работы мышц человека и ее прогнозирование по данным электромиографии (ЭМГ), с опорой на данные о развиваемой силе (динамометрия). Не всегда активация мышцы приводит к амплитудному движению (конечность может быть неподвижна), но сопровождается изменениями в ЭМГ. По сути, вопрос можно свести к тому, возможно ли с помощью анализа ЭМГ надежно установить, как, в принципе, способна двигаться конечность, какую силу может развивать мышца? Не рассматривая здесь вопросы центрального контроля, воли, сохранности костей и суставов, сфокусируемся на одном фрагменте – новой попытке связать данные ЭМГ и динамометрии. Дополнительной сложностью в данном случае является надежное измерение силы мышц, требующее для обеспечения воспроизводимости определенных условий [3].

Упрощенно, поставленную задачу можно свести к решению прямой задачи динамики, когда по заданному характеру движения тела определяются силы, действующие на эту систему. Система описывается в виде уравнения Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = Q_i. \quad (1)$$

Исходим из положения, что все звенья весомые, опираются на прочную костную основу. В качестве обобщенных координат  $q_i$  выступают углы между звеньями. На систему действуют активные силы (правая часть уравнения Лагранжа),

в качестве которых выступают силы сокращения мышц человека. Развиваемую силу конкретной мышцы (динамометрия) предлагается соотнести с показаниям ЭМГ. Физиология силы и связи разных характеристик хорошо известна (например, [4]), хотя описание связи между указанными двумя регистрируемыми параметрами, возможно, остается малоисследованным.



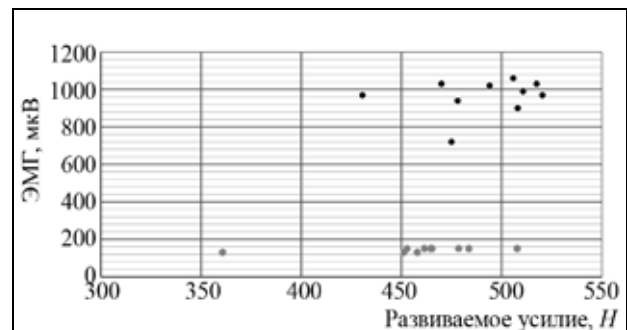
В этой связи, базируясь на кибернетических подходах, соотносимых с теорией функциональных систем [5], предложен оригинальный коэффициент. С формальной точки зрения – близкий «коэффициенту преобразования». Для удобства назван «силовой коэффициент ЭМГ» или сокращенно «скЭМГ». Он определяет зависимость значения биоэлектрического потенциала от развиваемой механической силы мышцы. Также расчет коэффициента включает в себя алгоритм определения наиболее эффективной связи между силой мышцы и значением ЭМГ.

Используя скЭМГ, можно описать развиваемое усилие мышцы через показания ЭМГ:

$$\text{скЭМГ} = \frac{F}{AP_{\text{cp}}}, \quad (2)$$

где  $F$  – развиваемое усилие мышцы;  $AP_{\text{cp}}$  – среднее значение ЭМГ в момент совершения сокращения мышцы.

На рисунке показано рассеивание значений ЭМГ в зависимости от развиваемого усилия на примере передней большеберцовой и трехглавой мышц одного и того же человека. Значения регистрируемых параметров могут сильно отличаться как между видами мышц (связано с индивидуальной структурой), так и внутри работы одной и той же группы мышц. Изменение отношения ЭМГ к развиваемой силе может быть связано с различ-



Рассеивание показаний ЭМГ в зависимости от развиваемого усилия на примере двух видов мышц (передняя большеберцовая, трехглавая) у испытуемого Н. (• – передняя большеберцовая мышца; \* – трехглавая мышца)



ными факторами, например: синхронизацией двигательных единиц [6], утомляемостью, общим состоянием испытуемого.

Таким образом, зная начальное и конечное положения конечности (например, исходя из условий наблюдения), может быть предпринята попытка решения прямой задачи динамики для получения предполагаемого значения ЭМГ. Проводится сравнение теоретического с полученным практически значением. Полагаем, что при наличии некоей патологии, нарушения будет наблюдаться значимое различие между полученными и прогнозируемыми данными ЭМГ. Такое поведение может быть следствием, например, неадекватной синхронизации работы двигательных единиц.

Возможность надежной «системной характеристики» функциональности конечности человека, основанной на оригинальном сопоставлении реальной динамики и биоэлектрической активности задействованных мышц, может быть достигнута в дальнейших исследованиях. Авторы понимают необходимость подтверждения работоспособности разрабатываемого подхода на достаточной выборке испытуемых, но рассматривают данное краткое сообщение в качестве попытки практического развития системных представлений в биомедицинской сфере и будут рады конструктивным замечаниям.

### & Литература

1. Анохин П.К. Философские аспекты теории функциональной системы: Избранные труды / отв. ред. Ф.В. Константинов, Б.Ф. Ломов, В.Б. Швырков; АН СССР, Ин-т психологии. М.: Наука. 1978. 399 с.
2. Кассирский И.А. О врачевании // ЭИКГ. 2010. № 4. С. 123–133.
3. Zapparoli F.Y., Riberto M. Isokinetic Evaluation of the Hip Flexor and Extensor Muscles: A Systematic Review // J. Sport. Rehabil. 2017. Nov. № 26(6). P. 556–566. DOI: 10.1123/jsr.2016-0036.
4. Городничев Р., Шляхтов В. Физиология силы. М.: Спорт. 2016. 227 с.
5. Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД. 2016. 160 с.
6. Муртазина А.Ф., Белякова-Бодина А.И., Брутян А.Г. Электрофизиологические методы оценки количества двигательных единиц // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2017. Т. 11. № 7. С. 51–61.

Поступила 22 октября 2018 г.

## Systemic assessment of the limb in a person according to electromyogram

© Authors, 2018

© Radiotekhnika, 2018

N.D. Babanov

Laboratory Research, Laboratory of Physiology of Human Functional States,  
P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology (Moscow)

E-mail: n.babanov@nphys.ru

O.V. Kubryak

Dr.Sc. (Biol.), Head of Laboratory of Physiology of Human Functional States,  
P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology (Moscow)

E-mail: o.kubryak@nphys.ru

Å The main criticism of the theory of functional systems is associated with the difficulty of physically identifying the "functional system" like a separate organ or tissue of a living being. The purpose of this publication is related to the topic of new approaches to the diagnosis of violations of limb maneuverability in humans and the design of auxiliary devices, within which a search for system characteristics is conducted. The specific task is to determine the quality of the human muscle and its prediction according to electromyography (EMG) data, based on the data on the developed force (dynamometry). Without considering the issues of central control, will, preservation of bones and joints, a new attempt to link EMG data and dynamometry is being considered. An additional complication here is a reliable measurement of muscle strength, which requires certain conditions to be reproducible. Knowing the initial and final position of the limb (for example, based on observation conditions), an attempt may be made to solve the direct problem of dynamics to obtain the expected EMG value. A theoretical comparison with the obtained value is made. We believe that in the presence of pathology or disorder, there will be a difference between the obtained and predicted EMG data. Such behavior may be a consequence, for example, of inadequate synchronization of the operation of motor units.

### REFERENCES

1. Anokhin P.K. Filosofskie aspekty teorii funkcional'noj sistemy: Izbrannyye trudy / отв. red. F.V. Konstantinov, B.F. Lomov, V.B. SHVYRKOV; AN SSSR, In-t psihologii. M.: Nauka. 1978. 399 s.
2. Kassirskij I.A. O vrachevanii // EHIKG. 2010. № 4. S. 123–133.
3. Zapparoli F.Y., Riberto M. Isokinetic Evaluation of the Hip Flexor and Extensor Muscles: A Systematic Review // J. Sport. Rehabil. 2017. Nov. № 26(6). P. 556–566. DOI: 10.1123/jsr.2016-0036.
4. Gorodnichev R., SHlyahov V. Fiziologiya sily. M.: Sport. 2016. 227 s.
5. Novikov D.A. Kibernetika: Navigator. Istoriya kibernetiki, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya. M.: LENAND. 2016. 160 s.
6. Murtazina A.F., Belyakova-Bodina A.I., Brutyan A.G. EHlektrofiziologicheskie metody ocenki kolichestva dvigatel'nyh edinic // Annaly klinicheskoy i ehksperimental'noj nevrologii. 2017. T. 11. № 7. S. 51–61.