

УДК 611.738.54:616-073

**Ю.С. ЮХНО**

врач ультразвуковой диагностики<sup>1</sup>

**Т.Л. ОЛЕНСКАЯ**, доктор мед. наук,  
доцент кафедры медицинской реабилитации  
и физической культуры с курсом ФК и ПК<sup>2</sup>

**А.А. МАЛИЧЕНКО**

доцент кафедры медицинской реабилитации  
и физической культуры с курсом ФК и ПК<sup>2</sup>

**А.Г. НИКОЛАЕВА**, канд. мед. наук, доцент  
заведующий городским центром гипобарической терапии и барокамерной адаптации<sup>1</sup>,  
доцент кафедры медицинской реабилитации и физической культуры  
с курсом ФПК и ПК<sup>2</sup>

**М.К. АЗАРЁНОК**

ассистент кафедры медицинской реабилитации и физической культуры  
с курсом ФПК и ПК<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>УЗ «Витебская городская клиническая больница № 1»

<sup>2</sup>Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет,  
Республика Беларусь

*Статья поступила 13 октября 2021 г.*

**ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ МОРФО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
КАМБАЛОВИДНОЙ МЫШЦЫ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ**

*В результате проведенного исследования выявлено, что метод ультразвукового сканирования может быть использован в комплексе с другими методами для оценки функционального состояния камбаловидной мышцы и для изучения механизмов, определяющих ее изменения под влиянием различных факторов, в том числе и физических (тренировочных) нагрузок.*

**Ключевые слова:** камбаловидная мышца, ультразвуковая диагностика.

**YUKHNO Yu.S.**

Ultrasound Doctor<sup>1</sup>

**OLENSKAYA T.L.**, Doctor of Med. Sc., Associate Professor  
Associate Professor of the Department of Medical Rehabilitation and Physical Culture  
with the course of FC and PC Educational Institution<sup>2</sup>

**MALICHENKA A.A.**

Associate Professor of the Department of Medical Rehabilitation and Physical Culture  
with the course of FC and PC<sup>2</sup>

**NIKALAYEVA A.G.**, PhD in Med. Sc., Associate Professor  
Head of the City Center for Hypobaric Therapy and Baro-Chamber Adaptation<sup>1,2</sup>

**AZARONAK M.K.**

Assistant of the Department of Medical Rehabilitation and Physical Education<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vitebsk City Clinical Hospital No. 1, Ministry of Health of the Republic Belarus

<sup>2</sup>Vitebsk State Order of Friendship of Peoples Medical University, Republic of Belarus

**THE POSSIBILITIES OF ASSESSING THE MORPHO-FUNCTIONAL FEATURES OF  
THE FLOUNDER MUSCLE BY ULTRASOUND DIAGNOSTICS**

*This article shows that the ultrasound scanning method can be used in combination with other methods to assess the functional state of the flounder muscle and to study the mechanisms that determine changes under the influence of various factors.*

**Keywords:** *floundermuscle, ultrasounddiagnostics.*

**Введение.** Знание анатомических особенностей в сочетании с морфологией помогает не только диагностировать, но и корректировать изменения функций организма. Особенности архитектуры мышечных волокон создают множество мышечных функций.

Мышцы человека морфологически можно разделить на перистые мышцы, волокна которых расположены под некоторым углом относительно оси сухожильного комплекса и места прикрепления к апоневрозу, и мышцы с параллельным расположением волокон относительно оси активности мышцы [1]. Мышечные волокна упакованы в пучки, которые тянутся от проксимального до дистального сухожилия мышцы. Перистые мышцы имеют длинные сухожилия и апоневроз, которые достаточно мобильны и за счет изменения длины волокна создают определенные возможности для работы мышцы [2]. Таким образом, сила сокращающихся волокон мышцы, концентрирующих силовые возможности, изменяется на уровне пучка мышцы. Угловая конструкция мышцы оказывает существенное влияние на передачу силы от волокон мышцы к ее сухожилию: чем выше угол перистости волокна, тем выше силовой потенциал мышцы [1, 3].

Угол перистости волокна изменяется в зависимости от величины изометрического сокращения мышцы. Из литературных данных известно, что изометрическое сокращение изменяет длину и угол перистости волокон мышцы, и величина этих изменений при сокращении определяется силой, которую развивает мышца и последовательно расположенное сухожилие: чем выше сила сокращения и более податливое сухожилие, тем больше степень укорочения волокна и увеличение угла перистости относительно состояния покоя [1, 4, 5]. Попытки определить геометрию расположения мышечных волокон или пучков у человека в основном ограничивались прямым анатомическим анализом фрагментов, полученных путем рассечения трупных препаратов [6]. Но строение бальзамированных мышц не отражает изометрические изменения.

Морфологические измерения мышц могут быть получены на микроскопическом уровне,

определяемом по площади поперечного сечения отдельного мышечного волокна при анализе пробы мышцы при биопсии, и на макроскопическом уровне при оценке площади поперечного сечения или объема мышцы, используя компьютерную и магнитно-резонансную томографию. Данное исследование достаточно дорогостоящее.

В связи с этим одним из доступных и неинвазивных методов, позволяющих визуализировать структуру мышцы и определять изменения ее архитектуры, т.е. регистрировать изменения угла перистости и длины волокон мышцы в определенном ее участке при некотором суставном угле конечности и при определенном уровне напряжения мышцы, может быть метод ультразвукового сканирования [5, 7].

Первоначально метод ультразвукового сканирования использовался для оценки кожно-жировой складки и толщины мышцы [8]. Фактически, Ika и Fukunaga [8] были первыми, сообщившими о возможности использования ультразвука в исследованиях скелетных мышц у человека и, в частности, измерении размера мышц (площади поперечного сечения) и толщины кожно-жирового слоя. С развитием ультразвуковой технологии и совершенствованием ультразвукового оборудования появилась возможность визуализировать изображения мышцы и получать количественную и качественную информацию об особенностях ее строения [5, 7, 9].

Мышцы нижних конечностей (икроножная, камбаловидная) очень важны для поддержания устойчивости в равновесии тела. Камбаловидная мышца также один из главных инструментов любого спортсмена. Располагается камбаловидная мышца непосредственно под двуглавой икроножной. Прикрепленная к малоберцовой кости, она имеет широкую, плоскую форму. Для соединения с икроножной мышцей использует ахиллово сухожилие. При распрямленной ноге не видна – проявляется при согнутой, поднятой на носке ноге.

Камбаловидная мышца отвечает за разгибание стопы в направлении подошвы. Проявляется при беге, приседаниях, прыжках. Работает, как правило, в паре с икроножной

мышцей – на них распределяется нагрузка. Например, в начале прыжка, когда ноги согнуты в коленях и идет начальный толчок носком и распрямление ног – задействована камбаловидная мышца; когда ноги выпрямляются, использоваться начинает уже икроножная.

Следовательно, именно камбаловидная мышца отвечает за нагрузки при распрямленных ногах.

С учетом изложенного выше, целью настоящей работы явилось исследование мышечной архитектуры (длины и угла перистости волокон) камбаловидной мышцы методом ультразвукового сканирования для определения потенциальных возможностей этого метода в оценке функционального состояния мышечного аппарата и изучения механизмов, определяющих мышечные изменения под влиянием различных факторов

#### **Материалы и методы исследования.**

Проведено исследование камбаловидной мышцы у лиц, занимающихся футболом. Всего было обследовано 87 человек, разбитых на 4 группы.

Первую группу обследованных составили 47 студентов-футболистов ВГМУ (подгруппа 1.1 – 34 студента и подгруппа 1.2 – 13 студентов), средний возраст которых составил  $21,8 \pm 0,4$  [21,4; 22,2] лет. Вторая группа обследованных состояла из 19 профессиональных футболистов ФК «Нафтан» (г. Новополоцк), средний возраст –  $24,3 \pm 1,3$  [23,2; 25,75] лет. Третья группа состояла из 14 человек, отнесенных нами к ветеранам футбола, со вредным возрастом в  $42, 3 \pm 7,3$  [35,2; 45,7] года. Четвертая группа – 7 незрячих футболистов категории В1 сборной команды Республики Беларусь по мини-футболу из Республиканского центра олимпийской подготовки по паралимпийским и дефлимпийским видам спорта (г. Минск) в среднем возрасте  $35,0$  [33,0; 36,0] лет.

В качестве группы сравнения были обследованы 19 пациентов с различными заболеваниями, не связанными с опорно-двигательным аппаратом и 62 практически здоровых человека старшего возраста.

#### **Методика исследование строения камбаловидной мышцы**

Для исследования камбаловидной мышцы (КМ) в реальном времени использовали В-режим изображения ультразвуковой системы (модель «SoloLineElegra», Siemens, Germany) с электронным линейным датчиком 7.5 МГц,

длиной сканирующей поверхности 60 мм и толщиной 10 мм [10].

Для лучшего акустического сцепления сканирующую поверхность датчика и кожную поверхность мышцы покрывали специальным гелем и датчик ориентировали по средне-сагиттальной оси мышцы. Качество ультразвукового изображения мышечного пучка достигалось регулировкой глубины и яркости ультразвукового сигнала. Во время ультразвуковых исследований испытуемых инструктировали – «полностью расслабить мышцы конечности».

Для получения фрагментарного изображения поперечного сечения мышцы датчик располагался перпендикулярно к поверхности мышцы и вдоль поперечной оси мышцы. Визуализация изображения КМ осуществлялась в условиях покоя (пассивное состояние) и при развитии усилия, составляющего 50% от активного состояния при нейтральной позиции в коленном и голеностопном суставах (угловая позиция  $-90^\circ$ ). Уровень измерения соответствовал максимальной анатомической площади поперечного сечения мышцы [3]. Для КМ – большая толщина отмечалась в латеральной части мышцы.

Длина ( $L$ ) волокна мышцы определялась как расстояние между местом прикрепления волокна у поверхностного апоневроза до места его вхождения в глубокие слои апоневроза [3, 7]. Визуализируя по ультрасонограмме волокна по их длине от поверхностного к глубокому апоневрозу, можно проверить правильность сканирования волокна [7].

Угол ( $\theta$ ) перистости волокна определялся как угол, создаваемый линией, проведенной от точки прикрепления волокна у поверхностного слоя апоневроза к месту прикрепления волокна к глубокому слою апоневроза [3, 7]. Ультразвуковые изображения –  $Li\theta$  перистости волокна распечатывалось на бумажный носитель для последующего анализа.

Статистическая обработка материала проводилась с помощью компьютерного пакета прикладных Statgrafics(2007). Результаты статистического анализа полученного материала представлялись в виде медианы и интерквартильного интервала ( $Me, H$  и  $L$ ). Различия считали достоверными при вероятности 95% ( $p < 0.05$ ).

**Результаты и их обсуждение.** В ходе исследования футболистов различного возраста и уровня тренированности получены результаты, представленные в таблице 1. Как следует из представленной таблицы, в группах

спортсменов команды ФК «Нафтан» и футболистов-ветеранов длина волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному статистически достоверно не изменяется. У спортсменов команды ФК «Нафтан» увеличивался угол перистости волокон ( $p=0,01$ ), у ветеранов-футболистов статистически достоверных изменений угла перистости волокон не зарегистрировано. У студентов-футболистов, как юношей, так и девушек, длина и угол перистости головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному статистически достоверно увеличиваются ( $p < 0,05$ ).

В группе незрячих футболистов статистически достоверных изменений длины и угла перистости волокон не зарегистрировано.

Измерение длины, угла перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у футболистов всех групп наблюдения представлено в таблице 2.

В результате проведенного ультразвукового исследования выявлено укорочение мышечного волокна при изометрическом сокращении КМ, которое варьирует от 11,8% до 21,3% и наиболее выражено у футболис-

тов-ветеранов. Увеличение угла перистости головки КМ встречается от 5,8% (незрячие спортсмены-футболисты) до 28,8% (футболисты-студенты).

Отмеченные выше изменения зависят, на наш взгляд, от уровня тренированности. Чем меньше интенсивность тренировочного процесса, т.е. меньше быстрых движений, тем, соответственно, меньше вовлечение в процесс волокон, развивающих мышечную силу. Более слабая в плане силы мышца укорачивается на меньшую длину.

Результаты ультразвукового исследования КМ у лиц среднего и старшего возраста представлены в таблице 3. Из них следует, что у пациентов разных возрастных групп происходят статистически достоверные изменения и длины и угла перистости волокон КМ ( $p < 0,05$ ). При сравнительном анализе разных возрастных групп зарегистрирована статистически достоверная разница в изменении угла перистости головки КМ между группами среднего и старшего возраста как в покое, так и при изометрическом сокращении.

Наибольшие же изменения выявлены нами при УЗ-исследовании у пациентов в старших возрастных группах (таблица 4).

Таблица 1. – Длина, угол перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у футболистов

| Показатели      | Длина(мм)           |                     | W     | p       | угол (град.)        |                     | W     | p       |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------|---------|---------------------|---------------------|-------|---------|
|                 | покой               | напряжение          |       |         | покой               | напряжение          |       |         |
| Незрячие (n=7)  | 24,0<br>[23,0;26,0] | 21,0<br>[20,0;24,0] | 37,0  | 0,118   | 13,5<br>[11,0;21,0] | 18,0<br>[13,0;23,0] | 35,0  | 0,2     |
| «Нафтан» (n=19) | 17,0<br>[15,0;18,0] | 15,0<br>[14,0;16,0] | 261,0 | 0,182   | 10,0<br>[9,0;11,0]  | 13,0<br>[10,0;14,0] | 267,5 | 0,01*   |
| Футбол (ж=13)   | 16,0<br>[15,0;17,0] | 14,0<br>[13,0;14,0] | 152,5 | 0,0004* | 10,0<br>[9,0;10,0]  | 13,0<br>[12,0;15,0] | 137,0 | 0,007*  |
| Футбол (м=34)   | 20,0<br>[16,0;24,0] | 16,5<br>[15,0;21,0] | 770,5 | 0,018*  | 13,0<br>[10,0;14,0] | 16,0<br>[13,0;18,0] | 871,5 | 0,0003* |
| Ветераны (n=14) | 23,5<br>[18,0;26,0] | 18,5<br>[15,0;24,0] | 134,0 | 0,1     | 13,5<br>[11,0;21,0] | 18,0<br>[13,0;23,0] | 125,5 | 0,214   |

Таблица 2. – Изменения длины, угла перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у футболистов

| Показатели                 | длина        | угол         |
|----------------------------|--------------|--------------|
|                            | $\Delta$ , % | $\Delta$ , % |
| Незрячие футболисты (n=7)  | -12,5        | 5,8          |
| ФК «Нафтан»(n=19)          | -11,8        | 24,1         |
| Студенты-футболисты(ж=13)  | -12,5        | 24,1         |
| Студенты-футболисты (м=34) | -17,5        | 28,8         |
| Ветераны футбола (n=14)    | -21,3        | 25           |

Примечание –  $\Delta$ , % = покой-усилие/покой x 100

Таблица 3. – Длина, угол перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у пациентов среднего и старшего возраста (Me, H, L)

| Показатели/<br>возраст  | Длина(мм)           |                     | W      | p       | Угол (град)        |                     | W      | p       |
|-------------------------|---------------------|---------------------|--------|---------|--------------------|---------------------|--------|---------|
|                         | покой               | напряжение          |        |         | покой              | напряже-<br>ние     |        |         |
| 45-59 лет<br>(n=19)     | 17,0<br>[15,0;18,0] | 15,0<br>[14,0;16,0] | 268,0  | 0,01*   | 12,0<br>[9,0;13,0] | 14,0<br>[12,0;16,0] | 273,0  | 0,006*  |
| 60-70 лет<br>(n=48)     | 16,5<br>[15,0;19,0] | 14,0<br>[13,0;16,0] | 1683,0 | 0,0001* | 11,0<br>[9,0;13,0] | 14,0<br>[12,0;15,0] | 1761,0 | 0,0001* |
| Старше 70<br>лет (n=13) | 16,0<br>[15,0;18,0] | 14,0<br>[12,0;16,0] | 125,0  | 0,038*  | 9,0<br>[8,0;11,0]  | 11,0<br>[10,0;14,0] | 131,5  | 0,016*  |

Примечание – W – критерий Wilcoxon

Таблица 4. – Изменения длины, угла перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у пациентов среднего и старшего возраста

| Возраст              | длина | угол |
|----------------------|-------|------|
|                      | Δ, %  | Δ, % |
| 45-59 лет (n=19)     | -11,7 | 16,6 |
| 60-70 лет (n=48)     | -15,1 | 27,2 |
| Старше 70 лет (n=13) | -12,5 | 22,2 |

Примечание – Δ, %= покой-усилие/покой

Таблица 5. – Сравнительный анализ длины и угла перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у лиц среднего и старшего возраста

| Показате-<br>ли         | Длина(мм)           |                     | W      | p       | Угол(град.)        |                     | W      | p       |
|-------------------------|---------------------|---------------------|--------|---------|--------------------|---------------------|--------|---------|
|                         | покой               | напряже-<br>ние     |        |         | покой              | напряже-<br>ние     |        |         |
| 45-59 лет<br>(n=19)     | 17,0<br>[15,0;18,0] | 15,0<br>[14,0;16,0] | 268,0  | 0,01*   | 12,0<br>[9,0;13,0] | 14,0<br>[12,0;16,0] | 273,0  | 0,006*  |
| 60-70 лет<br>(n=48)     | 16,5<br>[15,0;19,0] | 14,0<br>[13,0;16,0] | 1683,0 | 0,0001* | 11,0<br>[9,0;13,0] | 14,0<br>[12,0;15,0] | 1761,0 | 0,0001* |
| Старше 70<br>лет (n=13) | 16,0<br>[15,0;18,0] | 14,0<br>[12,0;16,0] | 125,0  | 0,038*  | 9,0<br>[8,0;11,0]  | 11,0<br>[10,0;14,0] | 131,5  | 0,016*  |
| W                       | 137,5               | 153,5               |        |         | 176,5              | 178,5               |        |         |
| p                       | 0,61                | 0,25                |        |         | 0,042*             | 0,035*              |        |         |

Примечание – W – критерий Wilcoxon

Укорочение длины мышечного волокна КМ варьирует от 15.1% у пациентов в возрастной группе 60-70 лет, а увеличение угла перистости головки – от 27,2% (таблица 5).

При этом сравнительный анализ длины и угла перистости волокон головки камбаловидной мышцы при переходе от пассивного состояния к активному у лиц среднего и старшего возраста (Me, H, L) показал увеличение угла перистости во всех возрастных группах, укорочение длины волокна значимо не изменялось (таблица 5).

**Заключение.** Таким образом, проведенное ультразвуковое исследование длины волокна и угла перистости волокон головки камбаловидной мышцы у спортсменов-футболистов и пациентов в покое и во время

изометрического подошвенного сгибания существенно изменяются как функция угла голеностопного сустава.

Метод ультразвукового сканирования может быть использован в комплексе с другими для оценки функционального состояния актуальных для исследуемого вида спорта групп мышц и для изучения механизмов, определяющих их изменения под влиянием различных, в том числе и тренировочных, факторов.

#### Список литературы

1. Gans, C. The functional significance of muscle architecture – a theoretical analysis / C. Gans, W.J. Bock // *Ergeb. Anat. Entwicklungsgesch.* – 1965. – Vol. 38. – P. 115-142.

2. Griffiths, R.I. Shortening of muscle fibres during stretch of the active cat medial gastrocnemius muscle: the role of tendon compliance / R.I. Griffiths // *J. Physiol.* – 1991. – Vol. 436. – P. 219-236.
3. Kawakami, Y. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles / Y. Kawakami, T. Abe, T. Fukunaga // *J. Appl. Physiol.* 1993. – V. 74. – P. 2740-2744.
4. Lieber, R. L. Structural and functional changes in spastic skeletal muscle / R.L. Lieber, S. Steinman, I. Barach, H. Chambers // *Muscle Nerve.* – 2004. – V. 29. – P. 615-627.
5. Maganaris, C.N. In vivo measurements of the triceps surae architecture in man: implications for muscle function / C.N. Maganaris, V. Baltzopoulos, A.J. Sargeant // *J. Physiol.* 1998. – V. 512. – P. 603-614.
6. Young, A. The effects of high-resistance training on the strength and cross-sectional area of the human quadriceps / A. Young, M. Stokes, J.M. Round, R.H.T. Edwards // *Eur. J. Clin. Invest.* – 1983. – V. 13. – P. 411-417.
7. Narici, M.V. In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest and during graded isometric contraction / M.V. Narici, T. Binzoni, E. Hiltbrand, J. Fasel, F. Terrier, P. Cerretelli // *J. Physiol.* 1996. – V. 496. – P. 287-297.
8. Ikai, M. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement / M. Ikai, T. Fukunaga // *Int. Z. Angew. Physiol.* – 1968. – V. 26. – P. 26-32.
9. Schwennicke, A. Clinical, electromyographic, and ultrasonographic assessment of focal neuropathies / A. Schwennicke, M. Bargfrede, C.D. Reimers // *J. Neuroimaging.* – 1998. – V. 8. – P. 136-143.
10. Alexander R.McN. The dimensions of knee and ankle muscles and the forces they exert / R.McN. Alexander, A. Vernon // *J. Human Mov. Studies.* – 1975. – V 1. – P. 115-123.

*Received 13 October 2021*