

DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr71646>

# Фазовый угол: медицинские интерпретации и применения

Д.В. Николаев<sup>1</sup>, С.П. Щелькалина<sup>2</sup><sup>1</sup> Научно-технический центр «Медасс», Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

Выбор темы этой работы обусловлен интересом специалистов, использующих биоимпедансную технологию оценки скорости метаболических процессов и состава тела, к возможностям клинического применения фазового угла — параметра, специфичного только для биоимпедансного способа получения информации о составе тела. При оценке питания фазовый угол используют в качестве косвенной характеристики белковой фракции организма и скорости метаболических процессов.

В начале 2000-х годов было показано, что низкие значения фазового угла при заболеваниях катаболической направленности могут быть использованы для оценки выживаемости, высокие значения — для оценки тренированности мышечной системы у спортсменов и других лиц, регулярно испытывающих физические нагрузки. Систематические обзоры и метаанализы последующих лет обобщили доказательную базу этих положений и выявили ряд новых применений — при саркопении, анорексии и почечной недостаточности. В результате, все представленные в работе обзоры подтверждают, что более высокие значения фазового угла соответствуют лучшему состоянию организма, и что фазовый угол может меняться динамически у отдельно взятого пациента. Такая особенность параметра требует детального понимания вариабельности значений в зависимости от условий измерения.

Фазовый угол признан удобным в применении диагностическим инструментом, а также удобным параметром при скрининговых обследованиях. При высоких значениях он отражает степень тренированности мышечной системы, при низких — тяжесть катаболических нарушений вследствие имеющихся заболеваний или обездвиживания.

**Ключевые слова:** фазовый угол; биоимпедансный анализ; медицинское применение.

## Как цитировать

Николаев Д.В., Щелькалина С.П. Фазовый угол: медицинские интерпретации и применения // Клиническое питание и метаболизм. 2021. Т. 2, № 1. С. 23–36. DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr71646>

DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr71646>

# Phase angle: medical interpretations and applications

Dmitry V. Nikolaev<sup>1</sup>, Svetlana P. Shchelykalina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Research Center "Medas", Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

## ABSTRACT

Specialists are interested in using bioimpedance technology to assess the rate of metabolic processes and body composition; thus, this study aimed to determine the possibilities of the clinical application of the phase angle, which is a parameter that is specific for the bioimpedance method to obtain body composition information. In nutrition assessment, the phase angle is used as an indirect characteristic of the protein fraction of the body and the rate of metabolic processes.

In the early 2000s, low values of the phase angle in diseased catabolic orientation were shown to assess the survival rate whereas high values assess the muscular system fitness in athletes and other individuals who regularly experience physical exertion. Systematic reviews and Meta-analyses of subsequent years have summarized the evidence based on these provisions and identified several new applications for sarcopenia, anorexia, and renal failure. Therefore, all the reviews presented in this study confirm that higher phase angle values correspond to a better state of the body and that phase angle can dynamically change in an individual patient. This feature of the parameter requires a detailed understanding of the variability of values depending on measurement conditions.

The phase angle is recognized as a convenient diagnostic tool and a convenient parameter for screening examinations. At high values, it reflects the degree of muscular system fitness, and at low values, the severity of catabolic disorders due to existing diseases or immobilization.

**Keywords:** phase angle; electric impedance; body composition.

## To cite this article

Nikolaev DV, Shchelykalina SP. Phase angle: medical interpretations and applications. *Clinical nutrition and metabolism*. 2021;2(1):23–36.

DOI: <https://doi.org/10.17816/clinutr71646>

Received: 21.06.2021

Accepted: 02.09.2021

Published: 02.11.2021

## ВВЕДЕНИЕ

Фазовый угол (ФУ) из всего разнообразия получаемых в биомпедансном анализе состава тела человека (БИА) значений компонент состава тела и коррелятов скорости метаболических процессов — единственный специфичный только для БИА биоимпедансный параметр, относящийся к коррелятам скорости обменных процессов и не требующий предварительного измерения антропометрических данных. Остальные параметры БИА могут быть получены в ряде других диагностических технологий. Русскоязычные публикации по БИА немногочисленны, а публикаций, содержащих информацию о клинических применениях ФУ, ещё меньше. Этими факторами в настоящее время объясняется интерес к ФУ как в клинических исследованиях, так и в спортивной медицине и популяционных исследованиях.

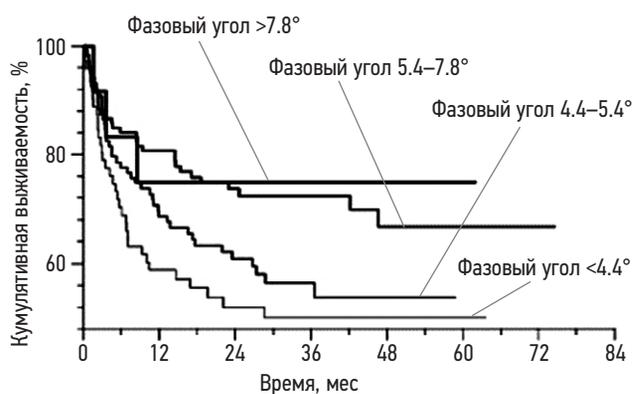
История биофизического осмысления и медицинских интерпретаций значений ФУ ярка и поучительна. Ещё с XIX века, со времен публикаций о механизмах распространения синусоидального тока в проводниках, в электротехнике был принят термин «фазовый сдвиг».

В 30-х годах XX века о фазовом сдвиге в тканях биологических объектов писали биофизики, устанавливая связь между значениями ФУ и структурой биологических тканей [1] — кожи [2], мышц [3], нервной ткани [4, 5], клеточных мембран [6] и др. С 1979 г., с начала серийного выпуска биоимпедансных анализаторов состава тела, значениям ФУ стали придавать особое значение, пытаясь сопоставлять их с признаками заболеваний и состояний.

Пользуясь данными первых анализаторов БИА, ФУ рассчитывали по формуле:  $\text{ФУ} = -\arctg(X_c/R) \times 180/\pi$  (град.), считывая измеренные значения активного сопротивления (R) и реактивного сопротивления (Xc) с индикаторов на передней панели прибора. Измерения ФУ, если не оговорено иначе, принято производить между кистью и стопой по доминирующей стороне тела на частоте 50 кГц. Из приведённой формулы видно, что значения ФУ пропорциональны Xc и обратно пропорциональны R. Субстратом Xc в биологических объектах являются клеточные мембраны, субклеточные элементы и большие молекулы, поляризующиеся при прохождении тока. Субстратом R являются проводящие жидкости, расположенные вдоль пути прохождения измерительного тока.

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ПОНЯТИЕ ФАЗОВОГО УГЛА

Массовый интерес к ФУ у клиницистов, с одной стороны, и спортивных врачей — с другой, возник в 2002 г. после публикации статьи O. Selberg и D. Selberg [7]. O. Selberg работал в военном госпитале Гамбурга с контингентом пациентов, страдающих циррозом печени. При обработке данных биоимпедансного исследования состава тела было отмечено, что при сниженных значениях ФУ



**Рис. 1.** Графики выживаемости у больных циррозом печени. Данные сгруппированы по значениям фазового угла. При значениях фазового угла  $<5,4^\circ$  выживаемость значительно снижена [7, 8].

**Fig. 1.** Kaplan-Meier plots of patients with liver cirrhosis. The data is grouped by phase angle values. Survival is significantly reduced at phase angle values less than  $5.4^\circ$  [7, 8].

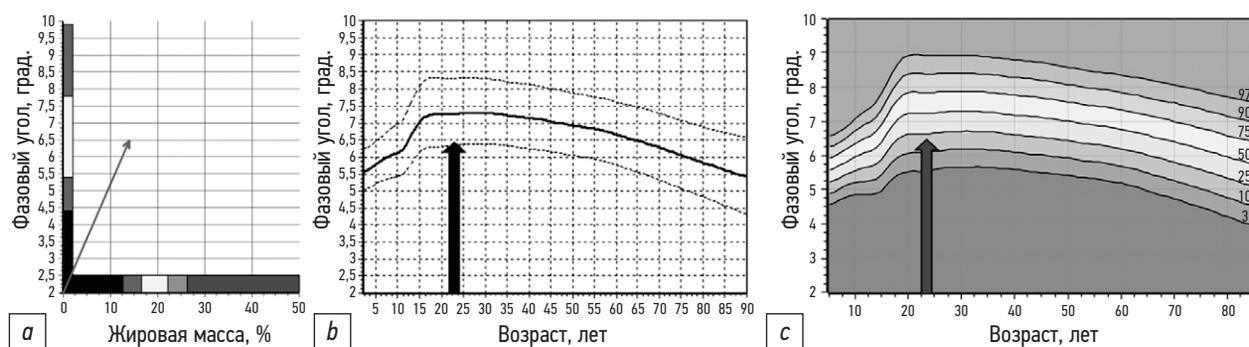
более низкие значения принимает и выживаемость пациентов с достаточно запущенной стадией цирроза печени. Построенная диаграмма выживаемости (рис. 1) показала высокую степень достоверности такого прогноза. Из диаграммы видно, что в группе больных со значениями ФУ  $<4,4^\circ$  в первый год умерло около 40% пациентов, за два года — около 50%; в группе с показателями  $4,4^\circ < \text{ФУ} < 5,4^\circ$  — 30 и 40%; в группе с показателями  $5,4^\circ < \text{ФУ} < 7,8^\circ$  — 20 и 30% соответственно.

Аналогичные результаты были получены и на группах пациентов с гепатитом, туберкулёзом, а также у ВИЧ-инфицированных и пациентов с онкологическими заболеваниями. В довершение этой работы были взяты две контрольные группы: одна из них состояла из военнослужащих-спортсменов, вторая — из условно здоровых военнослужащих. По результатам исследований была разработана шкала значений ФУ (рис. 2), содержащая следующие градации:

- нормальные значения (от  $5,4$  до  $7,8^\circ$ );
- спортивные значения (от  $7,8$  до  $10^\circ$ );
- указание на гиподинамию (от  $4,4$  до  $5,4^\circ$ );
- указание на наличие катаболического сдвига ( $<4,4^\circ$ ).

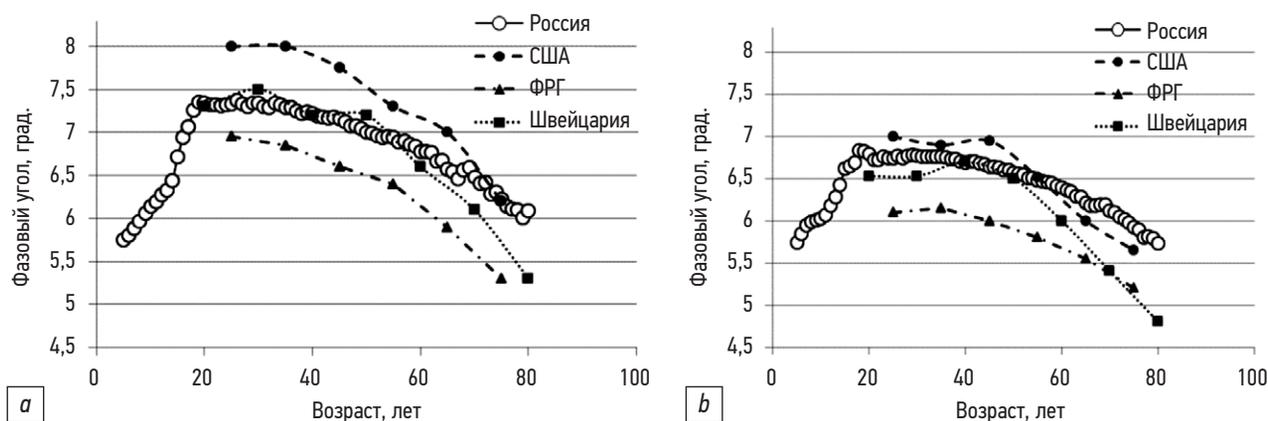
Верхняя граница значений шкалы составляет  $10^\circ$ , превышение этого значения практически не наблюдается, и значения ФУ в отведении кисть-стопа, превышающие  $10^\circ$ , принято интерпретировать как результат измерения, проведённого на фоне артефакта.

Основные направления клинической интерпретации ФУ были сформулированы ещё в статье O. Selberg и D. Selberg [7], которая стала довольно популярной у клиницистов и спортивных врачей. Это при высоких значениях ФУ — уровень тренированности атлетов, а при низких значениях — выживаемость, уход белка, снижение скорости обменных процессов, обусловленные заболеваниями катаболической направленности и снижением двигательной



**Рис. 2.** Шкала фазовых углов по O. Selberg и D. Selberg [7]: популяционная кривая с коридором нормальных значений (а), шириной 2 квадратичных отклонения (b); визуализация значений фазового угла на фоне его центильных значений (с).

**Fig. 2.** Phase angle scale according to Selberg O., Selberg D. [7]: (a) population curve with a 2SD corridor of normal values (b), visualization of phase angle values against the background of its centile values (c).



**Рис. 3.** Мужские (а) и женские (b) популяционные кривые, полученные в обследованиях населения России, США, ФРГ и Швейцарии [11, 12].

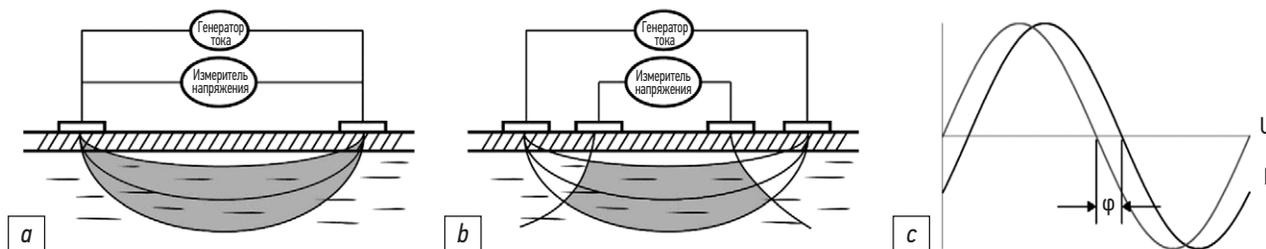
**Fig. 3.** Male (a) and female (b) population curves obtained in surveys of the population of Russia, the USA, the Federal Republic of Germany and Switzerland [11, 12].

активности. Позднее к обсуждаемым причинам снижения значений ФУ у разных групп пациентов были добавлены отёчные явления и нарушения равновесия внеклеточной/клеточной жидкости, проанализированные ещё в 1995 г. у пациентов на гемодиализе [9, 10].

Интересное толкование популяционных значений ФУ высказано в работе A. Bony-Westphal и соавт. [11]. Было предложено использовать популяционные значения ФУ для характеристики благополучия популяции. На рис. 3 представлены приведённые в статье популяционные значения ФУ имевшихся в распоряжении автора стран (США, ФРГ и Швейцарии), а также графики мужской и женской популяционных линий ФУ, полученные при обследовании посетителей отечественных центров здоровья [12]. Справа — данные женской части популяции, слева — мужской. Из сопоставления отечественных и зарубежных данных следует, что для женской части популяции в интервале 18–60 лет наиболее благополучной выглядит американская, в более старших возрастах — российская.

В мужской части популяции жители США выглядят предпочтительнее во всех рассмотренных возрастах (до 70 лет) с большим отрывом от европейцев, и здесь уместно будет вспомнить, во-первых, о насыщенности программы американских колледжей занятиями физкультурой, а во-вторых, несинхронности получения данных: исследования в Швейцарии датируются 2001 г., в США — 2005 г., в ФРГ — 2006 г., в России — 2010–2012 гг.

Измерение электрического сопротивления на синусоидальном токе в биоимпедансных анализаторах состава тела в большинстве случаев производится следующим образом. Через проводник к исследуемому объекту от источника тока подаётся измерительный ток (иногда его называют зондирующим током). С тех же точек присоединения к исследуемому объекту (такой способ называют биполярным, рис. 4, а) или с других точек (такой способ называют тетраполярным, рис. 4, b) производят измерение падения напряжения. В общем случае графики изменений тока и напряжения выглядят так, как изображено на рис. 4 (с).



**Рис. 4.** Биполярное подключение генератора тока и вольтметра (а); тетраполярное подключение (b); графики изменений синусоидального тока и напряжения в исследуемом объекте (с) [13].

**Fig. 4.** Bipolar connection of the current generator and voltmeter (a); tetrapolar connection (b); graphs of changes in sinusoidal current and voltage in the test object (c) [13].

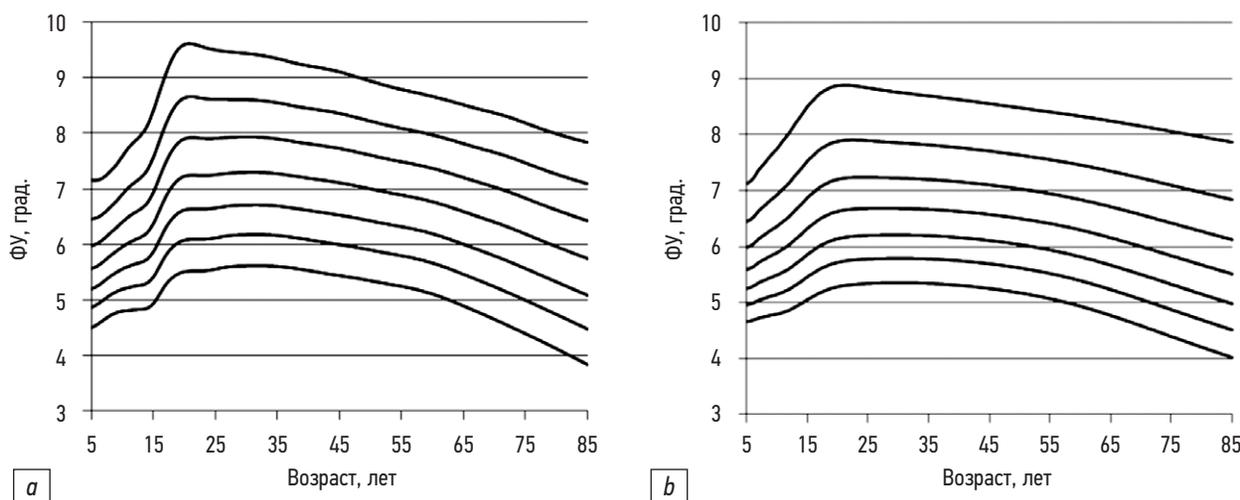
Изучение геометрии зон чувствительности (см. рис. 4, а, b) показывает, что тетраполярный метод измерений позволяет измерять сопротивление мышечных тканей и внутренних органов отдельно от сопротивления кожи контакта электрод–кожа. С начала 1960-х годов тетраполярный метод измерений электрического сопротивления с медицинскими целями стал доминирующим, что позволило повысить точность измерения сопротивлений тканей организма, избавиться от влияния нестабильности сопротивления контакта электрод–кожа.

Если исследуется гомогенный (однородный по строению) объект, то фазы графиков тока и напряжения совпадают: графики, в данном случае синусоиды на рис. 4 (с), будут синхронно пересекать нулевую линию. Если на пути тока, проходящего через исследуемый объект, встретятся проводники в форме спирали, кривая тока будет опережать по фазе кривую напряжения. При измерении сопротивлений объектов, имеющих ячеистую структуру, в том числе элементов организмов растительного и животного происхождения, имеющих клеточную структуру, взвесей, вспененного вещества, кривая тока будет запаздывать по фазе

относительно кривой падения напряжения. В качестве меры такого запаздывания принято использовать фазовый сдвиг, или фазовый угол, согласно медицинской формулировке.

Графики популяционных значений ФУ для населения России в 2010–2012 гг. [12] (рис. 5) демонстрируют, что значения ФУ у мужской части популяции в среднем возрасте выше, чем у женской. Расхождения начинаются, когда в возрасте 15–19 лет нарастание значений ФУ у мужчин происходит с большей скоростью, чем у женщин. Видно также, что значение 10° и выше встречается крайне редко даже у мужчин 22–24 лет (98-й центиль). Для других возрастов такое событие ещё менее вероятно. Минимальные зафиксированные в клинике значения ФУ составляют 1,5–1,8°. Ожидать такие значения ФУ можно, например, у давно обездвиженных пациентов.

В спортивной медицине высокие значения ФУ интерпретируются как степень тренированности атлета и как составляющая предстартовой готовности наряду со значениями процента жировой и скелетно-мышечной массы. Такой подход содержится в процедуре построения индивидуальных спортивных норм [12].



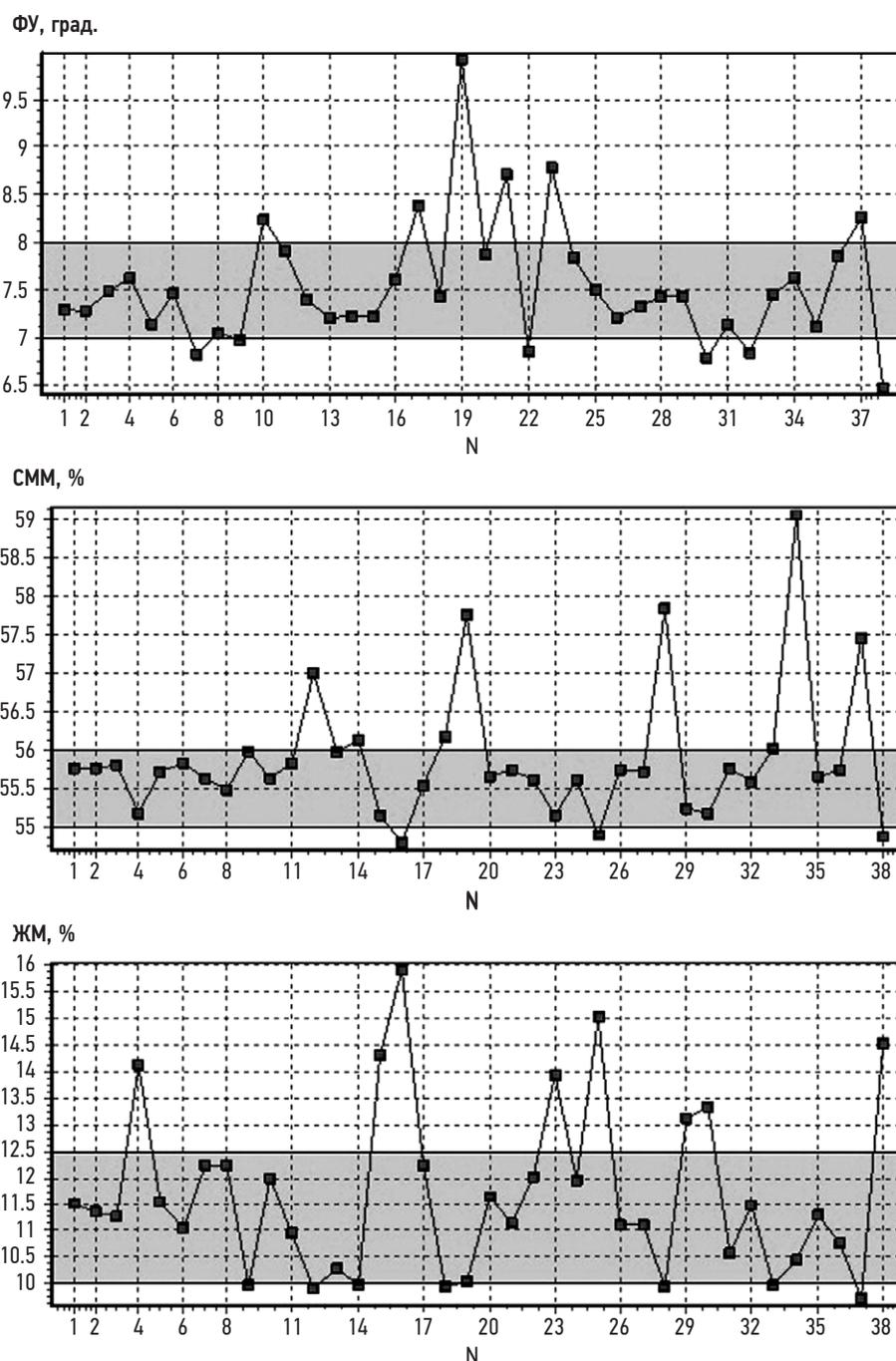
**Рис. 5.** Графики зависимостей 3; 10; 25; 50; 75; 90 и 97-го центилей значений фазового угла (ФУ) от возраста по данным центров здоровья: а — мужчины, b — женщины [12].

**Fig. 5.** Graphs of age dependences of the 3rd, 10th, 25, 50, 75, 90 and 97th centiles of the phase angle values according to the data of the Health Centers: men (a), women (b) [12].

На рис. 6 мы видим, как используются несколько замеров ФУ для построения индивидуальной нормы спортсмена. Эта процедура детально описана в книге «Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека» [13] в рамках протокола «Спецнормы» популярной программы ABC01-0362. Графики трёх параметров БИА, используемые для оценки предстартовой готовности [ФУ, доля скелетно-мышечной массы в тощей массе (%СММ) и доля жировой

массы в общей массе тела (%ЖМ)], обрабатываются единообразно. Отбрасываются 20% точек с максимальными значениями и 20% с минимальными значениями параметров. По облакам оставшихся точек формируются коридоры типичных значений параметров (области серого цвета на рис. 6). Верхняя и нижняя границы коридоров типичных значений принимаются, соответственно, за верхнюю и нижнюю границы индивидуальной нормы спортсмена.

| N   | Дата       | Вес  |
|-----|------------|------|
| 1.  | 21.06.2010 | 71.5 |
| 2.  | 25.06.2010 | 71.2 |
| 3.  | 28.06.2010 | 72.0 |
| 4.  | 27.09.2010 | 72.0 |
| 5.  | 11.10.2010 | 72.0 |
| 6.  | 18.10.2010 | 72.3 |
| 7.  | 15.11.2010 | 74.0 |
| 8.  | 24.11.2010 | 69.0 |
| 9.  | 24.11.2010 | 69.1 |
| 10. | 10.01.2011 | 73.0 |
| 11. | 11.01.2011 | 72.5 |
| 12. | 12.01.2011 | 73.0 |
| 13. | 13.01.2011 | 73.2 |
| 14. | 14.01.2011 | 73.9 |
| 15. | 19.01.2011 | 73.5 |
| 16. | 07.02.2011 | 73.7 |
| 17. | 07.03.2011 | 72.0 |
| 18. | 21.03.2011 | 72.0 |
| 19. | 28.03.2011 | 73.0 |
| 20. | 04.04.2011 | 72.3 |
| 21. | 11.04.2011 | 71.5 |
| 22. | 18.04.2011 | 73.3 |
| 23. | 20.04.2011 | 72.0 |
| 24. | 25.04.2011 | 72.8 |
| 25. | 04.05.2011 | 71.4 |
| 26. | 23.05.2011 | 71.4 |
| 27. | 06.06.2011 | 71.1 |
| 28. | 20.06.2011 | 71.4 |
| 29. | 01.03.2012 | 71.9 |
| 30. | 12.04.2012 | 72.0 |
| 31. | 16.04.2012 | 72.0 |
| 32. | 20.04.2012 | 72.8 |
| 33. | 23.04.2012 | 72.4 |
| 34. | 27.04.2012 | 72.0 |
| 35. | 30.04.2012 | 73.5 |
| 36. | 09.05.2012 | 73.0 |
| 37. | 16.05.2012 | 69.5 |
| 38. | 21.01.2013 | 73.5 |



**Рис. 6.** Динамический протокол биоимпедансного обследования самбиста после фильтрации данных и построения коридора индивидуальных норм.

ФУ — фазовый угол; %СММ — доля скелетно-мышечной массы в тощей массе; %ЖМ — доля жировой массы в общей массе тела.

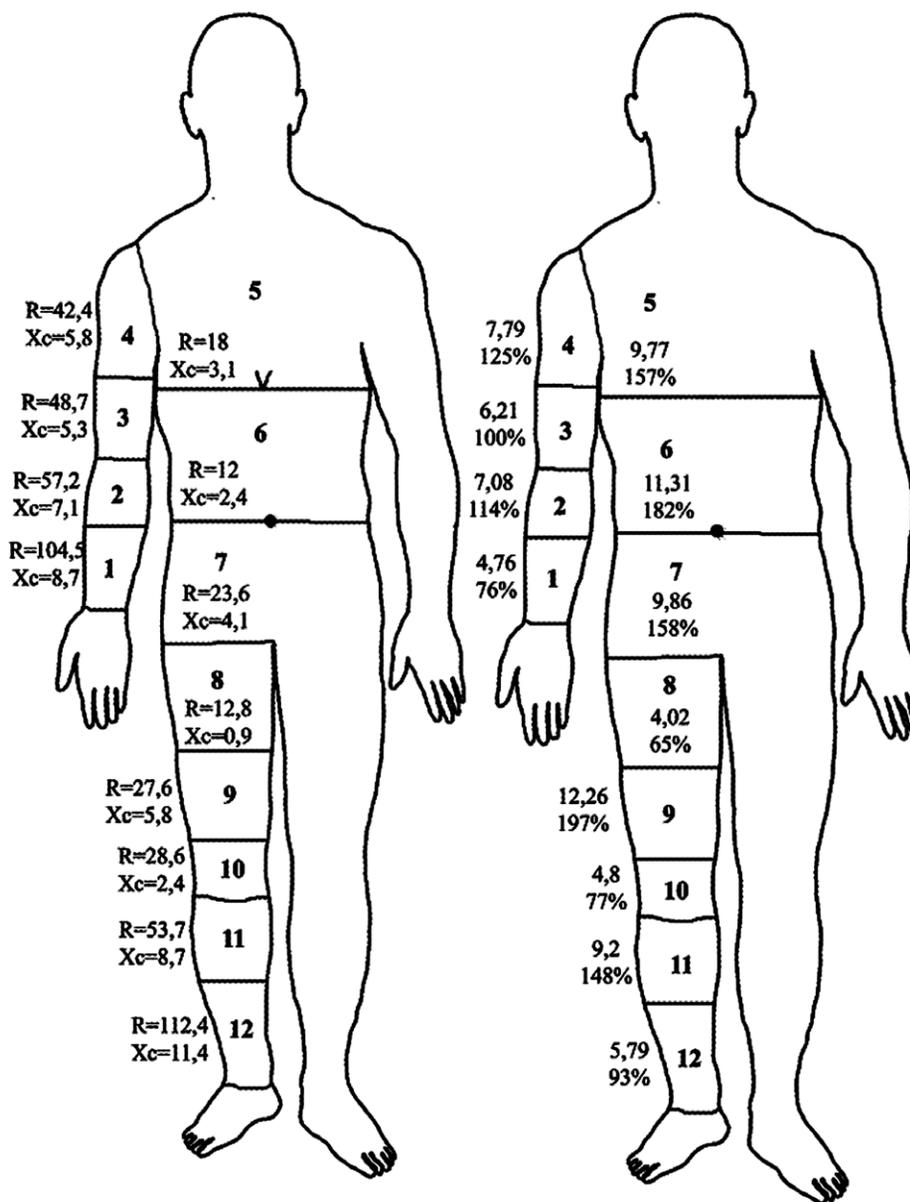
**Fig. 6.** Dynamic results sheet of bioimpedance study of a sambo sportsman after data filtering and construction of individual norm corridor.

ФУ — phase angle; %СММ — the proportion of musculoskeletal mass in the lean mass; %ЖМ — the proportion of fat mass in the total body weight.

Периодичность пересмотра полученных границ зависит от демонстрируемых спортсменом результатов.

Отсутствие привязки значений ФУ к антропометрическим параметрам при измерениях кисть–стопа, с одной стороны, создаёт преимущества простоты измерения, с другой — свидетельствует о возможности дальнейшего совершенствования этого диагностического инструмента. Некоторые направления совершенствования уже очевидны — это специализация для более однородных участков измерения. Такие исследования известны: например, описанные в книге «Биоимпедансный анализ состава тела человека» [8]. На рис. 7 представлены результаты одного из фрагментов этой работы: внутри контура человека, разделённого на 12 зон измерения в отведении кисть–стопа,

на левом изображении помещены данные первичных измерений активного сопротивления (R) и реактивного сопротивления (Xc), на правом — рассчитанные значения ФУ и соотношения (в процентах) локального и интегрального (в отведении кисть–стопа) значений ФУ. Измерения проводились на практически здоровом мужчине в возрасте 22 лет. Получены интегральные значения: R=540 Ом, Xc=59 Ом, ФУ=6,23°. Изучение правой части рис. 7 показало, что некоторые участки вдоль пути прохождения измерительного тока имеют значения ФУ выше, чем интегральное, а некоторые — ниже. Как правило, выше значения ФУ в тех участках, где в сечении, поперечном по отношению к направлению измерительного тока, отношение площади, занятой мышечной тканью, выше площади, занятой костной



**Рис. 7.** Пример значений локальных измерений активного сопротивления (R), реактивного сопротивления (Xc), фазового угла и процентного соотношения с интегральным значением фазового угла, измеренным в отведении кисть–стопа.

**Fig. 7.** Example of values for local measurements of resistance (R), reactance (Xc), phase angle and percentage with integral value phase angle measured in the hand–foot lead.

тканью. Например, значения ФУ верхних сегментов предплечья, плеча и голени выше, чем в нижних сегментах. При исследовании фрагментов скелетных мышц значения ФУ в направлении поперёк мышечных волокон на 20–30% выше, чем вдоль волокон. При поперечном прохождении измерительного тока неоднородность тканей выше. В бёдре значение ФУ верхней части ниже, чем в нижней части, поскольку в верхней части выше доля подкожного жира и крупных сосудов. Высокие значения ФУ во всех трёх сегментах туловища отражают наличие сложноструктурированных объектов — внутренних органов.

Таким образом, одним из перспективных направлений развития биоимпедансных исследований человека может стать выработка диапазонов характерных значений ФУ для определённых состояний, которые могут быть использованы в диагностике активной стадии заболеваний, наблюдении за процессами лечения и реабилитации. В спортивной медицине и фитнесе анализ значений ФУ локальных мышечных зон позволит более точно и надёжно обосновывать назначения упражнений, выявлять зоны перетренированности и недостаточного восстановления мышц.

Скорость обменных процессов в организме человека в течение суток может существенно меняться, реагируя на внешние и внутренние воздействия. Как один из корреляторов скорости обменных процессов, ФУ тоже проявляет вариативность, изменяясь в ту же сторону, что и основной обмен. Циркадианные исследования [8] выявили достаточно высокую вариативность в течение суток значений ФУ, которая может составлять около 6–8%. Известны исследования по оценке колебаний ФУ во время и после приёма пищи [8, 14]. Время влияния фактора приёма пищи было оценено в диапазоне 2–4 ч [8].

Ещё большие значения (до 10%) «вызванной» вариативности ФУ можно наблюдать даже после небольших физических нагрузок. Так, в эксперименте с выполнением 20 отжиманий от пола на руках (рис. 8) получены графики изменений внеклеточной жидкости и ФУ в руке, туловище, ноге и отведении кисть–стопа. Согласно протоколу, первые 5 мин велись фоновые измерения в положении лёжа на спине. Далее видна запись высокоамплитудных артефактов движения во время выполнения отжиманий, затем испытуемый снова принял позу лёжа на спине. Заметно, что после выполнения упражнений значения всех параметров существенно изменились: особенно видно, как повысилась гидратация руки, понизилась гидратация ноги, снизились значения ФУ руки, повысились значения ФУ ноги. Далее ожидалось, что начнётся процесс восстановления, но графики мониторинга показали, что ещё в течение по крайней мере 10 мин процессы увеличения гидратации и снижения ФУ руки шли всё в том же направлении. Несмотря на то что медленное восстановление после этого началось, его окончания экспериментатор не стал дожидаться, так как, судя по начальной скорости процесса, ждать пришлось бы не менее 6–10 ч. На графике внеклеточной жидкости туловища относительные изменения

степени гидратации невелики из-за большого объёма жидкости в туловище, незначительного объёма оттока в руки. Тем не менее снижение ФУ в туловище весьма заметно. В ноге на фоне оттока внеклеточной жидкости мы видим подъём значений ФУ. В отведении кисть–стопа мы видим графики, получившиеся суперпозицией графиков всех трёх зон, входящих в это отведение. Так, по внеклеточной жидкости график отведения кисть–стопа имеет форму, подобную графику изменений внеклеточной жидкости в туловище. Динамика изменений ФУ для каждого отведения имеет направленность, противоположную направленности изменений внеклеточной жидкости для каждого рассмотренного отведения. Это указывает на механизм изменений ФУ: приход внеклеточной жидкости в виде изменения заполнения венозных сосудов кровью (ФУ крови примерно 1,5–1,7° [15]) шунтирует объекты с мышечной структурой и внутренними органами, имеющими значительно более высокие значения ФУ (8–12°).

Аналогично происходит изменение ФУ и при других событиях, связанных с централизацией и децентрализацией кровообращения и кровенаполнения, изменениями в конечностях, имеющими окклюзионную и гиперемическую природу. Рассмотренные выше механизмы влияют и на точность определения всех остальных параметров состава тела. Для максимальной компенсации влияния указанных механизмов написаны правила проведения и подготовки процедуры биоимпедансных исследований, описанные, в частности, в национальном руководстве «Парентеральное и энтеральное питание» [16].

## ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ ПУБЛИКАЦИЙ

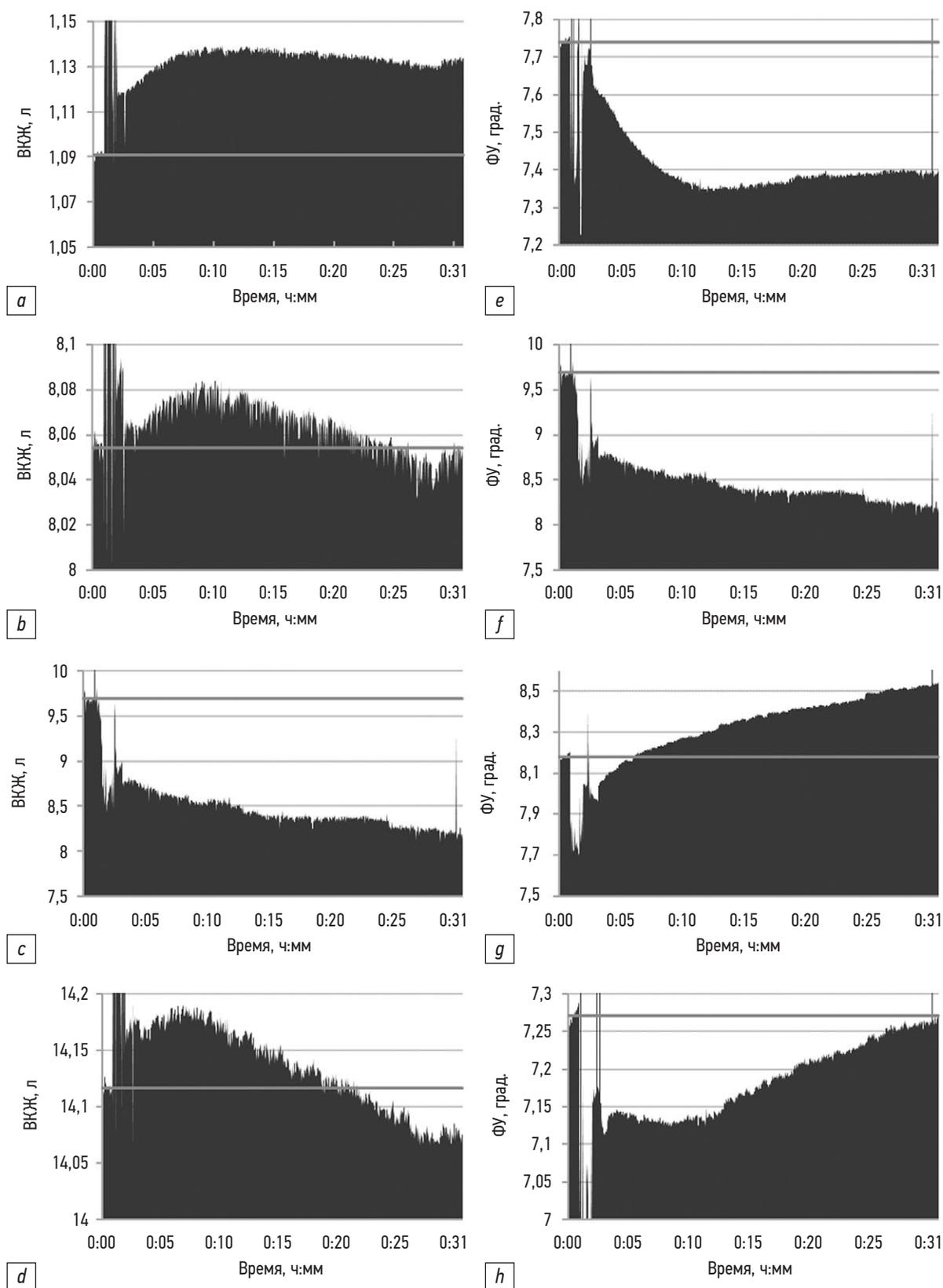
В современных зарубежных публикациях можно найти достаточно много оригинальных статей и даже несколько обзоров с методиками использования значений ФУ в клинической и спортивной медицине.

Большую часть обзорных публикаций составляют статьи, рассматривающие одну из четырёх основных категорий:

- 1) прогностическая ценность у пациентов с различными нозологиями;
- 2) оценка статуса питания;
- 3) связь значений ФУ и физической нагрузки;
- 4) нормативные значения для здоровых лиц или пациентов с определёнными заболеваниями.

Наиболее распространены обзоры о прогностическом значении ФУ и связи с выживаемостью у пациентов с различными нозологиями, поскольку объединяют пациентов различных групп, чаще всего онкологических больных.

Первая обзорная публикация «Фазовый угол и векторный анализ импеданса: клиническая значимость и применимость параметров импеданса» датируется 2012 г. и посвящена общим вопросам, особенно прогностическому значению ФУ [17]. Авторы обзора выделили основные обсуждаемые в литературе детерминанты ФУ: возраст, пол, индекс массы тела, опросник для оценки нутритивного статуса пациента (SGA), преальбумин, С-реактивный белок,



**Рис. 8.** Графики изменения значений внеклеточной жидкости (*a–d*) и фазового угла (*e–h*) для правой руки (*a, e*), туловища (*b, f*), правой ноги (*c, g*), в отведении кисть–стопа (*d, h*). В каждом фрагменте записи слева направо слитно видны записи фонового состояния, артефактов измерения при выполнении упражнения и 30-минутного процесса восстановления.

**Fig. 8.** Graphs of changes in the values of extracellular fluid (*a–d*) and phase angle (*e–h*) for the right arm (*a, e*), for the trunk (*b, f*), for the right leg (*c, g*), in the hand–foot abduction (*d, h*). Records of the background state, of measurement artifacts during the exercise, of 30-minute recovery process are continuously visible from left to right in each part of the registration.

интерлейкин-6, некоторые заболевания. Наибольший интерес в этом обзоре представляет таблица прогностических значений фазового угла у пациентов с различными заболеваниями. В зависимости от источника и нозологической группы прогностически значимая в отношении выживаемости, смертности или прогрессирования заболеваний точка отсечения варьирует от 3,0–4,0° для пациентов на гемодиализе до 5,6–6,0° у пациентов с вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ), перитониальным диализом и раком молочной железы. Обнаруженные авторами многочисленные исследования подтверждают прогностическое значение ФУ в отношении смертности или послеоперационных осложнений в различных клинических условиях.

Ещё один систематический обзор, посвящённый оценке связи между значениями ФУ и смертности, опубликован L.M. Garlini и соавт. в 2018 г. [18]. Исследование проводилось в нескольких электронных базах данных и включало публикации, в которых ФУ использовался в качестве предиктора, а в качестве результата — показатель смертности/выживаемости. Авторы проанализировали 48 из отобранных первичным поиском 455 работ, в 42 из которых была показана корреляция между значениями ФУ и смертностью.

На основе информации, собранной из проанализированных исследований в этом обзоре, можно сделать вывод, что доказательства корреляции между ФУ и смертностью существенны, особенно для пациентов с нефрологическими и онкологическими заболеваниями. О пациентах с ВИЧ и заболеваниями печени статей было найдено меньше, но они не менее убедительно подтверждают эту связь.

В том же году был опубликован ещё один обзор, посвящённый прогностическому значению ФУ. Но он уже касался только онкологических пациентов [19]. Поиск проводился в электронных базах данных статей по состоянию на август 2017 г. В свой обзор авторы включили девять исследований с участием 1496 пациентов. В описываемых авторами работах низкий уровень ФУ был связан с худшим статусом питания, оцениваемым по индексу массы тела, уровню сывороточного альбумина, трансферрина и безжировой массе. Все проанализированные исследования показали значительную связь между ФУ и общей выживаемостью: у пациентов с низкими значениями ФУ выживаемость была хуже.

Ещё один метаанализ о прогностической ценности ФУ у взрослых онкологических пациентов был выпущен в 2021 г. [20]. В это исследование было включено 14 работ с участием 2625 пациентов. Положительная и значимая корреляция между ФУ и выживаемостью при раке была подтверждена, как и значительная прогностическая роль ФУ для выживаемости пациентов: при низких значениях ФУ вероятность выживания на 23% ниже, чем при высоких.

Схожие выводы можно обнаружить в более раннем обзоре «Значение анализа биоэлектрического импеданса и фазового угла в оценке недостаточности питания и качества жизни у онкологических больных: всесторонний обзор», опубликованном O. Grundmann и соавт. в 2015 г. [21]. Авторы отмечают, что больные раком часто жалуются

на недоедание и кахексию, что усложняет курс лечения и влияет на результаты, и что использование БИА и измерений ФУ может принести пользу при клиническом ведении онкологических больных несколькими способами: в плане профилактики, диагностики, прогноза. В проанализированных авторами работах значения ФУ чаще всего оценивались и коррелировали с нутритивным статусом и выживаемостью.

Об оценке питания при циррозе печени с акцентом на ФУ в 2016 г. писали S.A. Fernandes и соавт. [22]. Белково-энергетическая недостаточность является распространённым состоянием у пациентов с циррозом печени, приводящим к худшему прогнозу, осложнениям, низкому качеству жизни и снижению выживаемости. Среди способов оценки состояния питания есть антропометрические методы, такие как оценка кожной складки трицепса, окружности руки, окружности мышц руки и индекса массы тела, а также неантропометрические методы, такие как опросник «Субъективная глобальная оценка» (SGA), сила сжатия кисти на недоминантной руке и БИА. Белково-энергетическая недостаточность часто недооценивается в клинических условиях у пациентов с циррозом печени из-за ограничений методов оценки питания в этой популяции. БИА — полезный метод, но он не может быть показан пациентам с ненормальным телосложением. В этих ситуациях использовался ФУ, что может стать важным инструментом оценки состояния питания в любой ситуации. ФУ может рассматриваться как индикатор питания при циррозе печени. Ранняя характеристика состояния питания у пациентов с циррозом печени означает раннее вмешательство в питание, что положительно влияет на общий прогноз пациентов.

В другой работе, обзоре 2017 г. известных авторов H.C. Lukaski и соавт. «Оценка недоедания и прогноза у взрослых с помощью биоэлектрического импедансного анализа: фазовый угол и отношение импеданса» [23], рассматривалось применение ФУ в оценке питания. Недоедание влияет на прогноз исхода заболевания у многих групп пациентов. Биоимпедансный анализ предлагает практический подход к выявлению недоедания и прогнозу путём оценки качества клеточных мембран всего тела и отображения распределения жидкости для человека.

Два новых применения БИА предоставляют возможности для безопасной, быстрой и неинвазивной оценки состояния питания и прогноза. Один метод использует одночастотные измерения для определения фазового угла, оценки состояния питания и соотношения его с прогнозом, смертностью и функциональными результатами. Другой подход использует соотношение значений импеданса на нескольких частотах для индикации изменённого распределения жидкости и прогноза динамики изменения состояния.

Использование базовых измерений БИА, независимо от использования регрессионных моделей и предположений о постоянном химическом составе безжировой массы, открывает новые возможности для практической клинической оценки нарушения пищевого статуса и прогноза среди госпитализированных пациентов и пожилых людей, которые

потенциально могут способствовать улучшению ухода за пациентами и показателей клинических результатов.

Исследованиям ФУ как инструмента оценки статуса питания пациентов с нервной анорексией посвящена работа 2017 г. T. Małacka-Massalska и соавт. [24]. На практике используются разные методы оценки статуса питания, в том числе история диеты, весовые показатели и данные анкетирования, физикальное обследование, антропометрические измерения, биохимические измерения, функциональные тесты, а также БИА или адипометрия. ФУ является ещё одним параметром, который всё чаще используется при мониторинге состояния питания. Он пропорционален клеточной массе тела. Его прямая корреляция со статусом клеточного питания была документально подтверждена. Высокие значения ФУ указывают на благополучие, а низкие значения — на плохое состояние клеток.

Значения ФУ у пациентов с нервной анорексией намного ниже, чем у здоровых людей, а в процессе лечения наблюдается увеличение значения ФУ, что указывает на потенциальную возможность использования ФУ для мониторинга результатов лечения, при этом он остаётся более надёжным параметром оценки питания, улучшения состояния у пациентов с нервной анорексией, чем просто индекс массы тела.

Все указанные обзоры демонстрируют, что низкие значения ФУ связаны с неблагоприятными ситуациями и прогнозом. Существует ряд публикаций, в которых авторы пытаются использовать ФУ как диагностический параметр. Так, в 2020 г. был опубликован систематический обзор O. Di Vincenzo и соавт. [25] о значениях ФУ при саркопении. Авторы обработали результаты 225 исследований, найденных в нескольких электронных базах данных, из которых лишь 13 соответствовали критериям включения. Выбранные исследования были сосредоточены на (а) изменениях ФУ, вызванных саркопенией; (б) распространённости саркопении, связанной с ФУ; (в) определении границ ФУ при саркопении; (г) оценке саркопении и ФУ как предикторов клинических исходов. В качестве предпосылки своей работы авторы указывают многочисленность сведений о том, что ФУ связан с клинической оценкой статуса питания, распределением жидкости, клеточной массой, мышечной силой и является эффективным предиктором различных клинических исходов. Именно поэтому можно ожидать взаимосвязь между низкими значениями ФУ и саркопенией (определяемой низкой массой скелетных мышц и нарушением мышечной функции). Саркопения была связана со значительно более низким ФУ в 7 исследованиях из 8, в то время как 5 исследований из 6 сообщили о высокой распространённости саркопении у пациентов с низким ФУ. Для идентификации саркопении были получены различные значения пороговой точки — от 4,05° до 5,05°. ФУ и саркопения были независимыми предикторами выживаемости у онкологических больных и госпитализированных герiatricких пациентов. В работе сделан вывод, что данные из выбранных статей демонстрируют снижение ФУ у субъектов с саркопенией, а распространённость саркопении

выше у субъектов с низким ФУ. Таким образом, к списку неблагоприятных ситуаций, сопровождающихся снижением ФУ, добавляется саркопения.

Несколько ранее та же группа исследователей опубликовала обзор о благоприятных прогнозах, связанных с ФУ [26]. O. Di Vincenzo и соавт. подготовили систематический обзор об использовании ФУ в спорте по материалам PubMed, Scopus и Web of Science до июня 2019 г. Критерии отбора включали исследования субъектов, которые систематически занимаются спортом на любительском и профессиональном уровне. Тридцать пять статей соответствовали критериям включения (21 поперечное исследование, 14 — продольных). Всего несколько, но убедительных исследований показали, что средний показатель ФУ выше у спортсменов по сравнению с контрольной группой. Для одного и того же вида спорта наблюдается большая вариативность ФУ, в то время как до сих пор неясно, в какой степени ФУ различается в разных видах спорта. Чёткой связи между ФУ и спортивными достижениями или тренировкой/нетренировкой не обнаружено.

Можно утверждать, что по конкретному виду спорта следует собирать гораздо больше данных систематическим образом и за период времени, необходимый для определения изменений и тенденций. Это ещё более важно в случае интервенционных исследований.

В 2018 г. E. Mundstock и соавт. [27] опубликовали систематический обзор и метаанализ с целью оценить взаимосвязь между физической активностью и ФУ. В соответствии с протоколом написания систематического обзора и метаанализа PRISMA авторы отобрали 9 статей. Представление о разработанности темы физической активности и ФУ даёт первоначальный поиск авторов при отборе статей для метаанализа (первоначально было отобрано более 4600 уникальных записей). Выводом проделанной авторами работы стало в целом широко известное в спортивной медицине заключение о более высоких значениях ФУ у тренированных, физически активных людей по сравнению с малоактивными, а также о возможности увеличить значение ФУ с помощью тренировок. При этом авторы определили направления исследований для различных типов, интенсивности и частоты упражнений, которые необходимо провести, чтобы найти наилучшее соотношение доза–эффект.

Таким образом, все эти обзоры подтверждают, что более высокие значения ФУ соответствуют лучшему состоянию организма, и что ФУ может претерпевать динамические изменения у отдельно взятого пациента. Такая особенность ФУ требует детального понимания вариативности значений в зависимости от разных условий. В работе бразильских исследователей R. Mattiello и соавт. 2020 г. «Значения фазового угла: систематический обзор и метаанализ с участием более 250 000 испытуемых» [28] осуществлена попытка оценки средних значений ФУ у здоровых людей в рамках метаанализа. В качестве исходных данных исследователи использовали 46 работ из 17 стран, включающие в общей сложности данные почти 250 000 пациентов. Несомненным

достоинством данной статьи является попытка построения половозрастной динамики значений ФУ с захватом редко исследуемых возрастов младенчества и раннего детства. Значение ФУ у итальянских и бразильских детей от 0 до 2 лет составляет 3,1–3,6°. В последующем анализе использованы гетерогенные данные разных этнических групп, но даже на такой выборке просматриваются общие закономерности увеличения значений к 20 годам. Неравноценность возрастных групп по этническому составу не позволила авторам детально оценить динамику ФУ. В действительности, значения фазового угла достаточно плавно снижаются после 20 лет (см. рис. 5).

В 2013 г. по схожей теме уже опубликован обзор на испанском языке [29]. Авторы при анализе половозрастных норм цитируют ряд работ [11, 30, 31] и приходят к выводу, что нормы варьируют в зависимости от популяции. Авторы отмечают также, что большое количество клинических исследований предлагает ФУ в качестве полезного прогностического маркера при таких клинических состояниях, как цирроз печени и рак груди, толстой кишки, поджелудочной железы и лёгких; положительная связь между ФУ и выживаемостью наблюдалась также у хирургических и ВИЧ-инфицированных пациентов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фазовый угол уже признан удобным в применении инструментом индивидуальной диагностики, а также удобным параметром при скрининговых обследованиях. При высоких значениях он отражает степень тренированности мышечной системы, при низких — тяжесть катаболических нарушений вследствие имеющихся заболеваний или обездвиживания.

В оценке питания, где использование технологии БИА привело к построению развёрнутых оценок, включающих общее питание, белковое питание, степень гидратации организма и скорость обменных процессов, надежды на замену этого анализа оценкой одной величины фазового угла не оправдались. Информация о степени рассматриваемых в статье катаболических нарушений в протоколе БИА содержится также в параметре «активная клеточная масса», который отражает содержание белковой компоненты тканей организма и интерпретируется как достаточность или недостаточность белковой компоненты питания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barnett A., Bagno S. The physiological mechanisms involved in the clinical measure of phase angle: circuits simulating the phase angle properties of the body; correlations with experimental findings in normal and pathological states // *Am J Physiology*. 1935. Vol. 114, N 2. P. 366–382 doi: 10.1152/ajplegacy.1935.114.2.366
2. Barnett A. The phase angle of normal human skin // *J Physiol*. 1938. Vol. 93, N 4. P. 349–366. doi: 10.1113/jphysiol.1938.sp003645
3. Bozler E.L., Cole K.S. Electric impedance and phase angle of muscle in rigor // *J Cell Comparat Physiology*. 1935. Vol. 6, N 2. P. 229–241. doi: 10.1002/jcp.1030060205

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Источник финансирования.** Поисково-аналитическая работа проведена на личные средства авторского коллектива.

**Конфликт интересов.** Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

**Участие авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли равный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Д.В. Николаев — разработка концепции статьи, анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи; С.П. Щелькалина — сбор и анализ литературных источников, написание текста и редактирование статьи, подготовка иллюстраций.

**Благодарности.** Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам и редколлегии журнала «Клиническое питание и метаболизм» за ценные комментарии и методическую помощь, которые позволили значительно улучшить качество научной статьи, а также Романовой Вере Сергеевне, научному сотруднику НТЦ «МЕДАСС» за помощь в поиске литературных источников по теме обзора.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. D.V. Nikolaev — development of the article concept, analysis of literary sources, writing and editing the article; S.P. Shchelykalina — collection and analysis of literary sources, writing and editing the article, preparing illustrations. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Acknowledgments.** The authors express their deep gratitude to the reviewers and the editorial board of the journal “Clinical Nutrition and Metabolism” for valuable comments and methodological assistance, which significantly improved the quality of the scientific article, and to Vera Sergeevna Romanova, a researcher at the Scientific Research Center “Medas” for help in finding sources for a review of recent publications.

4. Cole K.S., Curtis H.J. Electric impedance of the squid giant axon during activity // *J Gen Physiology*. 1939. Vol. 22, N 5. P. 649–670. doi: 10.1085/jgp.22.5.649
5. Cole K., Curtis H. Electrical impedance of nerve during activity // *Nature*. 1938. Vol. 142. P. 209–210. doi: 10.1038/142209b0
6. Cole K.S. Electric phase angle of cell membranes // *J Gen Physiol*. 1932. Vol. 15, N 6. P. 641–649. doi: 10.1085/jgp.15.6.641
7. Selberg O., Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and

patients with liver cirrhosis // *Eur J Appl Physiol*. 2002. Vol. 86, N 6. P. 509–516. doi: 10.1007/s00421-001-0570-4

8. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. Москва: Наука, 2009. 392 с.

9. Chertow G.M., Lowrie E.G., Wilmore D.W., et al. Nutritional assessment with bioelectrical impedance analysis in maintenance hemodialysis patients // *J Am Soc Nephrol*. 1995. Vol. 6, N 1. P. 75–81. doi: 10.1681/ASN.V6175

10. Marini E., Buffa R., Contreras M., et al. Effect of influenza-induced fever on human bioimpedance values // *PLoS One*. 2015. Vol. 10, N 4. P. e0125301. doi: 10.1371/journal.pone.0125301

11. Bony-Westphal A., Danielzik S., Dörhöfer R.P., et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index // *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2006. Vol. 30, N 4. P. 309–316. doi: 10.1177/0148607106030004309

12. Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А., и др. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. Москва: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 493 с.

13. Николаев Д.В., Щелькалина С.П. Лекции по биоимпедансному анализу состава тела человека. Москва: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ, 2016. 152 с.

14. Slinde F., Rossander-Hulthén L. Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition // *Am J Clin Nutr*. 2001. Vol. 74, N 4. P. 474–478. doi: 10.1093/ajcn/74.4.474

15. Малахов М.В., Николаев Д.В., Смирнов А.В., и др. Оценка гематологических и биохимических показателей крови методом биоимпедансной спектроскопии // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2011. № 1. С. 20–23.

16. Хубутия М.Ш., Попова Т.С., Салтанов А.И. Парентеральное и энтеральное питание: национальное руководство. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 800 с.

17. Norman K., Stobäus N., Pirlich M., Bony-Westphal A. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis—clinical relevance and applicability of impedance parameters // *Clin Nutr*. 2012. Vol. 31, N 6. P. 854–861. doi: 10.1016/j.clnu.2012.05.008

18. Garlini L.M., Alves F.D., Ceretta L.B., et al. Phase angle and mortality: a systematic review // *Eur J Clin Nutr*. 2019. Vol. 73, N 4. P. 495–508. doi: 10.1038/s41430-018-0159-1

19. Pereira M.M., Queiroz M.D., de Albuquerque N.M., et al. The prognostic role of phase angle in advanced cancer patients: a systematic review // *Nutr Clin Pract*. 2018. Vol. 33, N 6. P. 813–824. doi: 10.1002/ncp.10100

20. Arab A., Karimi E., Vingrys K., Shirani F. Is phase angle a valuable prognostic tool in cancer patients' survival? A systematic review and

meta-analysis of available literature // *Clin Nutr*. 2021. Vol. 40, N 5. P. 3182–3190. doi: 10.1016/j.clnu.2021.01.027

21. Grundmann O., Yoon S.L., Williams J.J. The value of bioelectrical impedance analysis and phase angle in the evaluation of malnutrition and quality of life in cancer patients—a comprehensive review // *Eur J Clin Nutr*. 2015. Vol. 69, N 12. P. 1290–1297. doi: 10.1038/ejcn.2015.126

22. Fernandes S.A., de Mattos A.A., Tovo C.V., Marroni C.A. Nutritional evaluation in cirrhosis: Emphasis on the phase angle // *World J Hepatol*. 2016. Vol. 8, N 29. P. 1205–1211. doi: 10.4254/wjh.v8.i29.1205

23. Lukaski H.C., Kyle U.G., Kondrup J. Assessment of adult malnutrition and prognosis with bioelectrical impedance analysis: phase angle and impedance ratio // *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2017. Vol. 20, N 5. P. 330–339. doi: 10.1097/MCO.0000000000000387

24. Małacka-Massalska T., Popiółek J., Teter M., et al. Application of phase angle for evaluation of the nutrition status of patients with anorexia nervosa // *Psychiatr Pol*. 2017. Vol. 51, N 6. P. 1121–1131. doi: 10.12740/PP/67500

25. Di Vincenzo O., Marra M., Di Gregorio A., et al. Bioelectrical impedance analysis (BIA) — derived phase angle in sarcopenia: A systematic review // *Clin Nutr*. 2021. Vol. 40, N 5. P. 3052–3061. doi: 10.1016/j.clnu.2020.10.048

26. Di Vincenzo O., Marra M., Scalfi L. Bioelectrical impedance phase angle in sport: a systematic review // *J Int Soc Sports Nutr*. 2019. Vol. 16, N 1. P. 49. doi: 10.1186/s12970-019-0319-2

27. Mundstock E., Amaral M.A., Baptista R.R., et al. Association between phase angle from bioelectrical impedance analysis and level of physical activity: Systematic review and meta-analysis // *Clin Nutr*. 2019. Vol. 38, N 4. P. 1504–1510. doi: 10.1016/j.clnu.2018.08.031

28. Mattiello R., Amaral M.A., Mundstock E., Ziegelmann P.K. Reference values for the phase angle of the electrical bioimpedance: Systematic review and meta-analysis involving more than 250,000 subjects // *Clin Nutr*. 2020. Vol. 39, N 5. P. 1411–1417. doi: 10.1016/j.clnu.2019.07.004

29. Llamas L., Baldomero V., Iglesias M.L., Rodota L.P. Values of the phase angle by bioelectrical impedance; nutritional status and prognostic value. (In Spanish) // *Nutr Hosp*. 2013. Vol. 28, N 2. P. 286–295. doi: 10.3305/nh.2013.28.2.6306

30. Barbosa-Silva M.C., Barros A.J., Wang J., et al. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex // *Am J Clin Nutr*. 2005. Vol. 82, N 1. P. 49–52. doi: 10.1093/ajcn.82.1.49

31. Kyle U.G., Genon L., Karsegard V.L. Percentiles (10, 25, 75 and 90th) for phase angle (PhA), determined by bioelectrical impedance analysis (BIA) in 2740 healthy adults aged 20–75 yr // *Clin Nutr*. 2004. Vol. 23. P. 758.

## REFERENCES

1. Barnett A, Bagno S. The physiological mechanisms involved in the clinical measure of phase angle: circuits simulating the phase angle properties of the body; correlations with experimental findings in normal and pathological states. *Am J Physiology*. 1935;114(2):366–382. doi: 10.1152/ajplegacy.1935.114.2.366

2. Barnett A. The phase angle of normal human skin. *J Physiol*. 1938;93(4):349–366. doi: 10.1113/jphysiol.1938.sp003645

3. Bozler EL, Cole KS. Electric impedance and phase angle of muscle in rigor. *J Cell Comparat Physiology*. 1935;6(2):229–241. doi: 10.1002/jcp.1030060205

4. Cole KS, Curtis HJ. Electric impedance of the squid giant axon during activity. *J Gen Physiology*. 1939;22(5):649–670. doi: 10.1085/jgp.22.5.649

5. Cole K, Curtis H. Electrical impedance of nerve during activity. *Nature*. 1938;142:209–210. doi: 10.1038/142209b0

6. Cole KS. Electric phase angle of cell membranes. *J Gen Physiol*. 1932;15(6):641–649. doi: 10.1085/jgp.15.6.641

7. Selberg O, Selberg D. Norms and correlates of bioimpedance phase angle in healthy human subjects, hospitalized patients, and patients with liver cirrhosis. *Eur J Appl Physiol*. 2002;86(6):509–516. doi: 10.1007/s00421-001-0570-4

8. Nikolaev DV, Smirnov AV, Bobrinskaya IG, Rudnev SG. Bioelectric impedance analysis of human body composition. Moscow: Nauka; 2009. 392 p. (In Russ).
9. Chertow GM, Lowrie EG, Wilmore DW, et al. Nutritional assessment with bioelectrical impedance analysis in maintenance hemodialysis patients. *J Am Soc Nephrol*. 1995;6(1):75–81. doi: 10.1681/ASN.V6175
10. Marini E, Buffa R, Contreras M, et al. Effect of influenza-induced fever on human bioimpedance values. *PLoS One*. 2015;10(4):e0125301. doi: 10.1371/journal.pone.0125301
11. Bosity-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer RP, et al. Phase angle from bioelectrical impedance analysis: population reference values by age, sex, and body mass index. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2006;30(4):309–316. doi: 10.1177/0148607106030004309
12. Rudnev SG, Soboleva NP, Sterlikov SA, et al. Bioimpedance study of body composition in the Russian population. Moscow: RIO TSNIIOIZ; 2014. 493 p. (In Russ).
13. Nikolaev DV, Shchelykalina SP. Bioimpedance analysis of the human body composition: Lectures. Moscow: RIO TSNIIOIZ; 2016. 152 p. (In Russ).
14. Slinde F, Rossander-Hulthén L. Bioelectrical impedance: effect of 3 identical meals on diurnal impedance variation and calculation of body composition. *Am J Clin Nutr*. 2001;74(4):474–478. doi: 10.1093/ajcn/74.4.474
15. Malakhov MV, Nikolayev DV, Smirnov AV, et al. Evaluation of blood hematological and biochemical parameters by bioimpedance spectroscopy. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2011;(1):20–23. (In Russ).
16. Khubutiya MS, Popova TS, Saltanov AI. Parenteral and enteral nutrition: A national guide. Moscow: GEOTAR-Media; 2014. 800 p. (In Russ).
17. Norman K, Stobäus N, Pirlich M, Bosity-Westphal A. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis—clinical relevance and applicability of impedance parameters. *Clin Nutr*. 2012;31(6):854–861. doi: 10.1016/j.clnu.2012.05.008
18. Garlini LM, Alves FD, Ceretta LB, et al. Phase angle and mortality: a systematic review. *Eur J Clin Nutr*. 2019;73(4):495–508. doi: 10.1038/s41430-018-0159-1
19. Pereira MM, Queiroz MD, de Albuquerque NM, et al. The prognostic role of phase angle in advanced cancer patients: a systematic review. *Nutr Clin Pract*. 2018;33(6):813–824. doi: 10.1002/ncp.10100
20. Arab A, Karimi E, Vingrys K, Shirani F. Is phase angle a valuable prognostic tool in cancer patients' survival? A systematic review and meta-analysis of available literature. *Clin Nutr*. 2021;40(5):3182–3190. doi: 10.1016/j.clnu.2021.01.027
21. Grundmann O, Yoon SL, Williams JJ. The value of bioelectrical impedance analysis and phase angle in the evaluation of malnutrition and quality of life in cancer patients—a comprehensive review. *Eur J Clin Nutr*. 2015;69(12):1290–1297. doi: 10.1038/ejcn.2015.126
22. Fernandes SA, de Mattos AA, Tovo CV, Marroni CA. Nutritional evaluation in cirrhosis: Emphasis on the phase angle. *World J Hepatol*. 2016;8(29):1205–1211. doi: 10.4254/wjh.v8.i29.1205
23. Lukaski HC, Kyle UG, Kondrup J. Assessment of adult malnutrition and prognosis with bioelectrical impedance analysis: phase angle and impedance ratio. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2017;20(5):330–339. doi: 10.1097/MCO.0000000000000387
24. Małacka-Massalska T, Popiółek J, Teter M, et al. Application of phase angle for evaluation of the nutrition status of patients with anorexia nervosa. *Psychiatr Pol*. 2017;51(6):1121–1131. doi: 10.12740/PP/67500
25. Di Vincenzo O, Marra M, Di Gregorio A, et al. Bioelectrical impedance analysis (BIA) — derived phase angle in sarcopenia: A systematic review. *Clin Nutr*. 2021;40(5):3052–3061. doi: 10.1016/j.clnu.2020.10.048
26. Di Vincenzo O, Marra M, Scalfi L. Bioelectrical impedance phase angle in sport: a systematic review. *J Int Soc Sports Nutr*. 2019;16(1):49. doi: 10.1186/s12970-019-0319-2
27. Mundstock E, Amaral MA, Baptista RR, et al. Association between phase angle from bioelectrical impedance analysis and level of physical activity: Systematic review and meta-analysis. *Clin Nutr*. 2019;38(4):1504–1510. doi: 10.1016/j.clnu.2018.08.031
28. Mattiello R, Amaral MA, Mundstock E, Ziegelmann PK. Reference values for the phase angle of the electrical bioimpedance: Systematic review and meta-analysis involving more than 250,000 subjects. *Clin Nutr*. 2020;39(5):1411–1417. doi: 10.1016/j.clnu.2019.07.004
29. Llamas L, Baldomero V, Iglesias ML, Rodota LP. Values of the phase angle by bioelectrical impedance; nutritional status and prognostic value. (In Spanish). *Nutr Hosp*. 2013;28(2):286–295. doi: 10.3305/nh.2013.28.2.6306
30. Barbosa-Silva MC, Barros AJ, Wang J, et al. Bioelectrical impedance analysis: population reference values for phase angle by age and sex. *Am J Clin Nutr*. 2005;82(1):49–52. doi: 10.1093/ajcn.82.1.49
31. Kyle UG, Genon L, Karsegard VL. Percentiles (10, 25, 75 and 90th) for phase angle (PhA), determined by bioelectrical impedance analysis (BIA) in 2740 healthy adults aged 20–75 yr. *Clin Nutr* 2004;23:758.

## ОБ АВТОРАХ

\* Щелькалина Светлана Павловна, к.м.н.;  
адрес: Россия, Москва, 117997, ул. Островитянова, д. 1;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-8949>;  
eLibrary SPIN: 9804-0820; e-mail: svetlanath@gmail.com

Николаев Дмитрий Викторович;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-5896>;  
eLibrary SPIN: 5322-6751; e-mail: dvn@medass.ru

## AUTHORS' INFO

\* Svetlana P. Shchelykalina, MD, Cand. Sci. (Med.);  
address: 1, Ostrovityanova street, Moscow, 117997, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3292-8949>;  
eLibrary SPIN: 9804-0820; e-mail: svetlanath@gmail.com

Dmitry V. Nikolaev;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-5896>;  
eLibrary SPIN: 5322-6751; e-mail: dvn@medass.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author