Биоимпедансный анализ: основы метода, протокол обследования и интерпретация результатов (лекция)

[1]Николаев Д.В., [2] Руднев С.Г.
[1]Научно-технический центр “МЕДАСС”,
[2]Институт вычислительной математики РАН

РЕЗЮМЕ: Одним из современных методов морфологической и функциональной диагностики в спортивной медицине является биоимпедансный анализ состава тела. В настоящей лекции, открывающей цикл лекций по биоимпедансному анализу в спортивной медицине, рассматриваются физические основы метода, описаны существующие методики биоимпедансных измерений и способы интерпретации результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биоимпедансный анализ, компонентный состав тела, электропроводность биологических тканей, основной обмен, индекс массы тела, безжировая (тощая) масса, скелетно-мышечная масса, активная клеточная масса, общая вода организма, внеклеточная жидкость, спортивная медицина.

[1]Nikolaev D.V., [2]Rudnev S.G.
[1]Scientific research centre “MEDASS”,
[2]Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences

ABSTRACT: Bioimpedance analysis of human body composition is one of the contemporary methods of morphological and functional diagnosis. In this opening lecture on the method application in sports medicine, physical basics, existing techniques and the examples of data interpretation of bioimpedance measurements are considered.

KEYWORDS: bioelectric impedance analysis, body composition, tissue resistivity, basic metabolic rate, body mass index, fat-free (lean) mass, skeletal muscle mass, body cell mass, total body water, extracellular water, sports medicine

Введение

Объективная количественная оценка состояния физической работоспособности спортсмена является необходимым условием контроля эффективности тренировочного процесса и прогноза спортивных достижений. Наряду с традиционными антропометрическими методами для этих целей широко применяются биофизические методы [1,2]. Наиболее распространённым из них является *биоимпедансный анализ* (БИА) – оперативный, неинвазивный и высокоинформативный метод современной нутриметаболомики, используемый в клинических, амбулаторных и полевых условиях [3,4].

Биоимпедансный анализ состава тела – это диагностический метод, позволяющий на основе измеренных значений электрического сопротивления тела человека и антропометрических данных оценить абсолютные и относительные значения параметров состава тела и метаболических коррелятов, соотнести их с интервалами нормальных значений признаков, оценить резервные возможности организма и риски развития ряда заболеваний.

Антропометрические индексы и, в частности, индекс массы тела (ИМТ) являются эпидемиологически значимыми индикаторами риска заболеваний. Вместе с тем, использование их на индивидуальном уровне для оценки жироотложения имеет серьезные недостатки. Использование ИМТ в диагностике ожирения и других нарушений трофического статуса обладает низкой диагностической чувствительностью – порядка 50% [5]. Иллюстрацией этого служит рис. 1, где сопоставлены оценки жировой массы в процентах от массы тела и ИМТ у здоровых взрослых москвичей (n=5077). Коэффициент детерминации (r^2) составил 0,55 для мужчин и 0,68 для женщин [3]. Из рисунка видно, что одним и тем же значениям ИМТ соответствуют широкие диапазоны значений процента жировой массы.

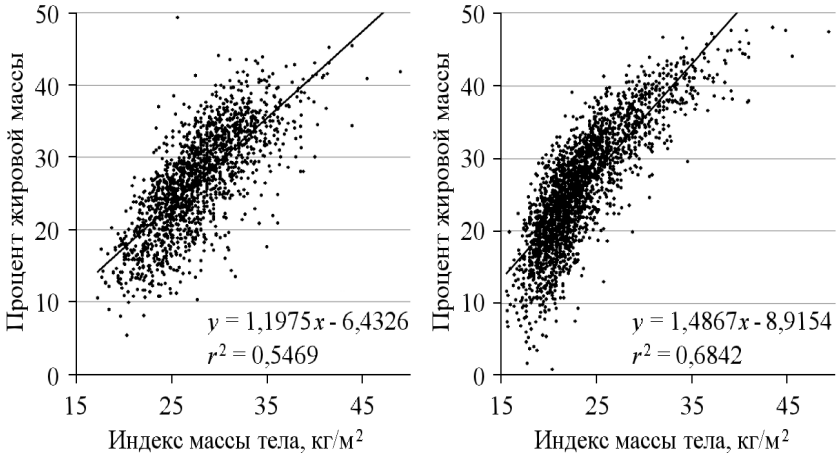


Рис. 1. Диаграммы рассеяния значений %ЖМТ в зависимости от ИМТ, слева – для мужчин, справа – для женщин

Биоимпедансный анализ дает возможность получить достоверные оценки липидного, белкового и водного обмена и ряда метаболических коррелятов. Для измерений используются специальные устройства – биоимпедансные анализаторы состава тела с программным обеспечением.

История и классификация методов биоимпедансного анализа состава тела

Первые применения биоимпедансного анализа для изучения состава тела человека связывают с работами французского анестезиолога A. Thomasset [6], выполненными в начале 1960-х. Метод основан на измерении полного электрического сопротивления (импеданса) тела. Термин «биоимпеданс» стал общепринятым в зарубежных публикациях второй половины 20 века для характеристики электрических свойств биологических объектов, имеющих клеточную структуру. Электрический импеданс Z биологических тканей имеет две компоненты – активное R и реактивное сопротивление Xc, которые связаны соотношением $Z^2 = R^2 + Xc^2$. Субстратом активного сопротивления являются биологические жидкости (вне- и внутриклеточная), обладающие ионным механизмом проводимости. Субстратом реактивного сопротивления являются клеточные мембраны. Для оценки общей воды организма, безжировой и скелетно-мышечной массы (ОВО, БМТ, СММ) используются значения активного сопротивления на частоте 50 кГц, а внеклеточной жидкости (ВКЖ) – на частоте 5 кГц. По величине реактивной составляющей импеданса рассчитываются значения основного обмена (ОО) и активной клеточной массы (АКМ).

E. Hoffer и соавт. [7] показали наличие высокой корреляции между индексом импеданса и величиной ОВО, что открыло возможности для применения метода в исследованиях состава тела. Первые серийные биоимпедансные анализаторы появились в США в конце 1970-х [2]. В многочисленных зарубежных публикациях показана точность и надежность биоимпедансных оценок состава тела в сравнении с эталонными методами [8,9]. В 2004-2009 гг. в ГУ НИИ питания РАМН проводилась верификация оценок жировой массы и основного обмена, получаемых отечественным биоимпедансным анализатором АВС-01 «Медасс». В качестве эталона использовали данные рентгеновской денситометрии и непрямой калориметрии для тех же пациентов. Была установлена высокая корреляция оценок значений признаков (r^2=0,94 для ЖМТ и r^2=0,82 для ОО) [10,11]. Таким образом, биоимпедансный анализ состава тела позволяет с успехом заменять более дорогостоящие и длительные исследования, не применимые в полевых условиях.

Методики биоимпедансных измерений принято классифицировать по нескольким признакам [4]: *по частоте зондирования* (одно-, двух-, многочастотные), *по участкам измерений* (региональные, интегральные, полисегментные), *по тактике измерений* (однократные, мониторные). В спортивной медицине применяются двухчастотные интегральные методики измерений с расположением электродов на щиколотке и запястье, а также полисегментные многочастотные методики.

Физические основы метода

Биоимпедансный анализ состава тела основан на различиях электропроводности тканей организма ввиду разного содержания в них жидкости и электролитов (табл.1). Так, например, активное сопротивление жировой ткани примерно в 10-15 раз выше, чем у большинства других тканей, составляющих безжировую массу тела.

Таблица 1.

Типичные значения удельного электрического сопротивления биологических жидкостей и тканей [12]

Наименование	Удельное сопротивление, Ом × м
Спинномозговая жидкость	0,65
Кровь	1,5
Нервно-мышечная ткань	1,6
Легкие без воздуха	2,0
Скелетные мышцы	3,0
Печень	4,0
Кожа	5,5
Жировая ткань	15
Костная ткань	150

В теоретических исследованиях была описана наблюдаемая в эксперименте зависимость импеданса от частоты зондирующего тока [13]. На рис. 2 эта зависимость показана в виде дуги окружности в координатах R, Xc.

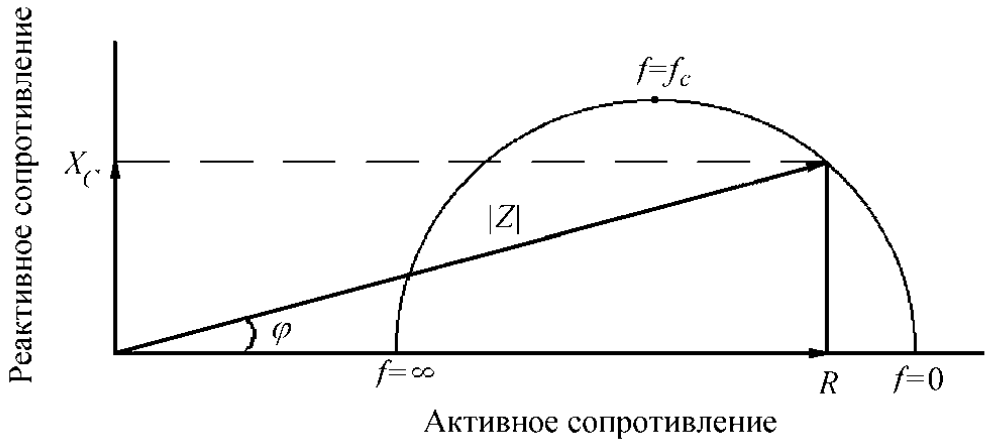


Рис. 2. Зависимость величины импеданса от частоты зондирующего тока [4]

В области низких частот величина импеданса практически равна активному со-

противлению, а реактивное сопротивление близко к нулю. С увеличением частоты зондирующего тока *f* реактивное сопротивление возрастает до определенного максимума, и при дальнейшем увеличении частоты снижается. Для достаточно высоких частот импеданс будет снова представлен лишь активным сопротивлением.

При изменении частоты тока меняется угол между вектором импеданса и осью активного сопротивления (см. рис. 2). Данный угол имеет название *фазового угла* и определяется как арктангенс отношения реактивного и активного сопротивлений: φ = arctg (Xc/R). Установлена связь фазового угла импеданса с параметрами функционального состояния организма и трофического статуса [14].

Методика интегрального исследования

Оборудование для биоимпедансного исследования включает:

- биоимпедансный анализатор АВС-01 “Медасс” (рис. 3), подключенный к персональному компьютеру с установленным специальным программным обеспечением;
- кушетку, надувной матрас или гимнастический мат шириной не менее 85-90 см
- ростомер, весы, сантиметровую ленту

Рис. 3. Биоимпедансный анализатор АВС-01 «Медасс»

Процедура обследования начинается с антропометрических измерений. Определяют длину, массу тела, обхваты талии и бедер. Затем в компьютерной программе заводится учетная запись пациента с указанием ФИО, пола, даты рождения. В карточку текущего обследования вносятся данные антропометрических измерений. Биоимпедансное измерение выполняют в положении пациента лежа на спине (рис. 4). Одноразовые биоадгезивные электроды устанавливают, как показано на рис. 5. Измерение выполняют с использованием зондирующего тока очень низкой, безопасной амплитуды,

что дает возможность не ограничивать количество и длительность повторных измерений. Единственное ограничение метода – исследование не рекомендовано лицам с вживленным кардиостимулятором.

Рис. 4. Положение тела пациента при обследовании [4]

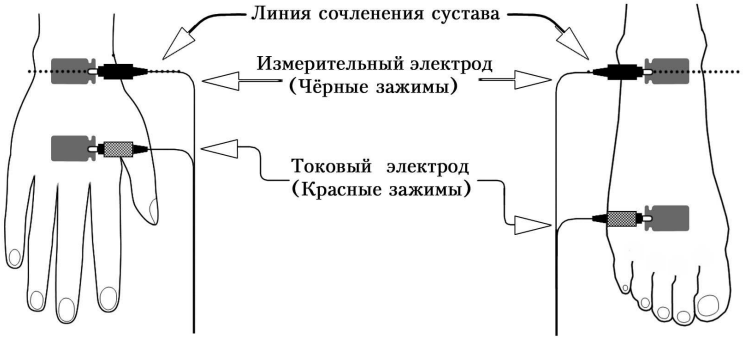


Рис. 5. Схема расположения электродов на руках и на ногах [3]

В практике биоимпедансных измерений принято проводить исследование по утрам, перед завтраком [4]. Затраты времени на исследование одного пациента составляют 2-3 минуты.

Интерпретация результатов исследования

1. **Экспресс-анализ**

В протоколе биоимпедансного исследования состава тела отражены оценки следующих параметров (рис. 6): основной обмен (ОО), фазовый угол (ФУ), индекс массы тела (ИМТ), жировая масса тела (ЖМТ), безжировая (тощая) масса (БМТ), активная клеточная масса (АКМ), процентное содержание АКМ в безжировой массе (%АКМ), скелетно-мышечная масса (СММ), процентное содержание скелетно-мышечной массы в безжировой массе (%СММ), удельный (нормированный на площадь поверхности тела) основной обмен (УОО), общая вода организма (ОВО), объем внеклеточной жидкости (ВКЖ), индекс талия-бедра (ИТБ), а также процентное содержание жира в теле (%ЖМТ).

Указанные оценки представлены на фоне графических шкал нормальных значений показателей, учитывающих пол, возраст и рост индивида. Участки шкал, лежащие левее нижней границы нормы, соответствуют низким значениям, правее – высоким. Справа от шкал указан процент от нормы для каждого из параметров.

Индекс массы тела отражает соотношение веса и роста. У спортсменов высокие значения ИМТ нередко связаны с развитием мышечной, а не жировой ткани.

Величина избытка или дефицита жировой массы позволяет оценить примерные сроки коррекции данного нарушения. Согласно литературным данным, адекватная диетотерапия у пациентов с избыточной массой тела позволяет снижать жировую массу в среднем на 500 г в неделю.

Положение маркера на шкале тощей (безжировой) массы указывает на конституциональные особенности индивида. Так, положение маркера вблизи середины Интервала нормальных значений принято связывать с нормостеническим телосложением. В кардиологии значения безжировой массы используются для уточнения диагноза гипертрофии левого желудочка.

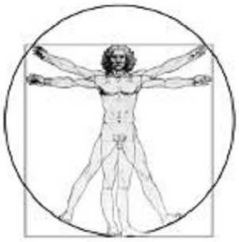
Пониженное значение АКМ свидетельствует о дефиците белковой компоненты питания, что может быть вызвано как общим недостатком белка в рационе, так и индивидуальными особенностями усвоения отдельных видов белкового питания конкретным спортсменом.

%АКМ в тощей массе служит коррелятом двигательной активности и физической работоспособности спортсменов. У действующих мастеров спорта в циклических и игровых видах значения %АКМ, как правило, превышают 62-63%. Низкие значения %АКМ у здоровых индивидов принято связывать с гиподинамией.

Значение СММ относительно интервала нормальных значений используется для общей характеристики физического развития.

Величина %СММ в тощей массе является одной из трех ключевых характеристик физической работоспособности спортсмена, наряду с %ЖМТ и фазовым углом.

Положение маркера удельного основного обмена УОО указывает на относительную интенсивность обменных процессов. Причиной изменений УОО могут быть эндокринологические нарушения, воздействия лекарственных препаратов, переходные состояния, связанные с большими объемами физической нагрузки и др.



SPORT

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Пациент: Ан-к Антон

Базовые данные			
Дата обследования	07.10.2007 11:42:27	Окружность талии, см / Окружность бедер, см	86 / 97
Возраст, лет	20	Активное и реактивное сопротивления, Ом	438 / 62
Рост, см	181	Фазовый угол, град.	8.09
Вес, кг	90.0	Основной обмен, ккал/сут.	1994

Состав тела

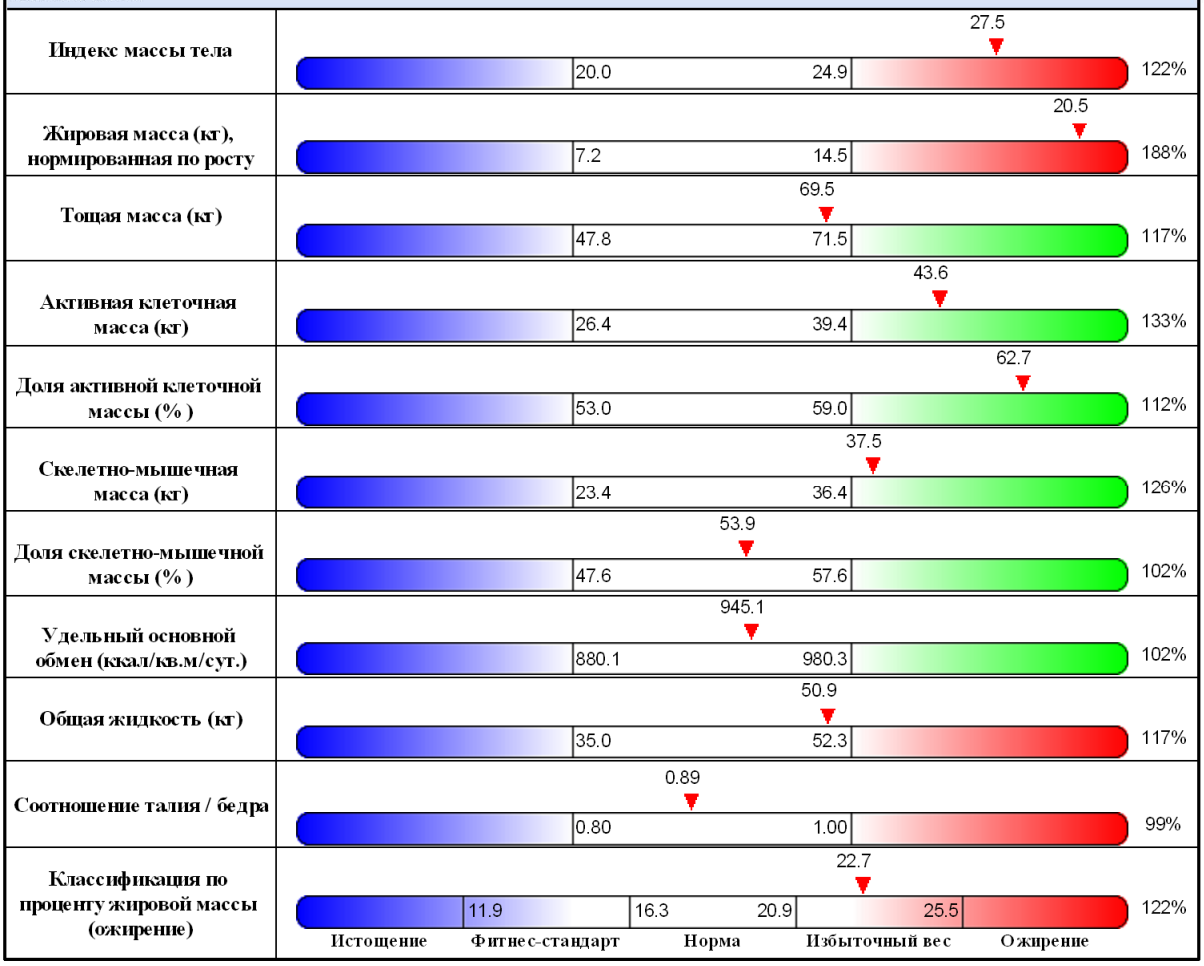
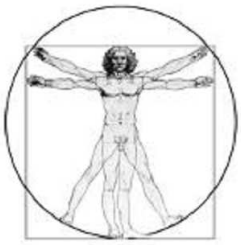


Рис. 6. Протокол исследования состава тела футболиста

Большинство наблюдаемых нарушений состояния гидратации в клинической практике связано с изменениями объема внеклеточной жидкости. Изменения клеточной гидратации наблюдаются редко: при отравлениях, ожогах, за несколько часов до смерти у больных с полиорганной недостаточностью. Внеклеточные отеки чаще регистрируются при нефрологических и кардиологических заболеваниях, локальных отеках конечностей различной этиологии. Повышенная внеклеточная гидратация у здоровых людей может быть связана с задержкой жидкости, например, из-за потребления продуктов с повышенным содержанием поваренной соли. Процедуры сгонки веса в спорте приводят к кратковременному снижению содержания внеклеточной жидкости.

Шкалы отношения обхватов талии и бедер и процента жировой массы используются совместно для диагностики висцерального ожирения и оценки риска развития метаболического синдрома. Кроме того, шкала %ЖМТ позволяет выявить истощение, избыточный вес и ожирение. Интервал нормальных значений %ЖМТ разбит на два: «норма» и «фитнес-стандарт», что соответствует верхним и нижним интервалам нормальных значений.

На рис. 6 показан первичный протокол состава тела футболиста 20 лет. Избыток жировой массы составляет 6 кг. Увеличенные значения тощей и скелетно-мышечной массы указывают на эндоморфный тип телосложения. Повышенное значение АКМ указывает на отсутствие проблем с потреблением и усвоением белковой части рациона питания. Доля АКМ соответствует высокому уровню двигательной активности. Значения СММ и %СММ свидетельствуют о хорошем физическом развитии. Положение маркеров УОО, ОВО и отношения обхватов талии и бедер соответствуют норме. Избыточный вес по %ЖМТ – нередкая ситуация для футболистов, испытывающих спорадические анаэробные нагрузки. Незначительное увеличение отношения обхватов талии и бедер указывает на отсутствие абдоминального ожирения и невысокий риск развития метаболического синдрома.



SPORT

НТЦ "Медасс"

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

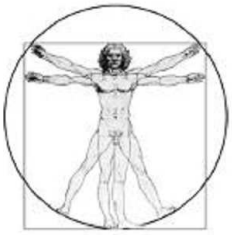
Пациент: Д-ев Владимир

Базовые данные			
Дата обследования	09.01.2010 12:47:51	Сопрот. (акт. на 5 и 50 кГц, реакт. на 50 кГц), Ом	470 / 378 / 52
Возраст, лет	27	Фазовый угол (50 кГц), град.	7.83
Рост, см / Вес, кг	175 / 78.0	Внутриклеточная жидкость, кг	31.8
Окр. талии / Окр. бедер, см	71 / 82	Основной обмен, ккал/сут.	1985

Состав тела			
Индекс массы тела	25.5	20.0 – 24.9	89 / 113%
Жировая масса (кг), нормированная по росту	7.8	7.0 – 14.0	22 / 74%
Тощая масса (кг)	70.2	44.2 – 66.7	90 / 127%
Активная клеточная масса (кг)	43.3	24.4 – 36.7	98 / 142%
Доля активной клеточной массы (%)	61.7	53.0 – 59.0	97 / 110%
Скелетно-мышечная масса (кг)	39.5	21.4 – 33.7	97 / 143%
Доля скелетно-мышечной массы (%)	56.3	49.3 – 59.3	65 / 104%
Удельный основной обмен (ккал/кв.м/сут.)	1028.6	882.7 – 984.8	97 / 110%
Общая жидкость (кг)	51.4	32.4 – 48.7	91 / 127%
Внеклеточная жидкость (кг)	19.6	13.0 – 19.5	85 / 121%
Соотношение талия / бедра	0.87	0.80 – 1.00	37 / 96%
Классификация по проценту жировой массы (ожирение)	10.0	13.2 – 17.6 – 22.2 – 26.8 (Истощение, Фитнес-стандарт, Норма, Избыточный вес, Ожирение)	7 / 50%

Рис. 7. Протокол исследования состава тела бодибилдера

На рис. 7 представлен протокол исследования состава тела 27-летнего бодибилдера с резко выраженной гипертрофией мышечной массы. Абсолютные значения жировой массы соответствуют норме, а относительные – “истощению” из-за высокого содержания безжировой массы. Справа от графических шкал, над значениями процента от средних, показаны перцентильные оценки относительно общей популяции.



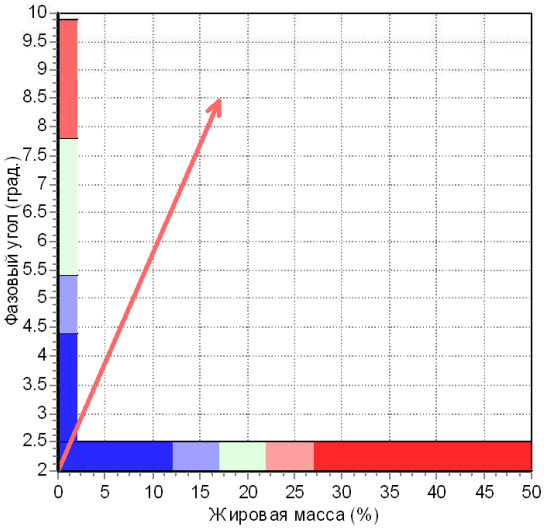
SPORT

НТЦ "Медасс"

Оценка состояния по фазовому углу биоимпеданса

Пациент: А-н Семен

Фазовый угол биоимпеданса является важным параметром, отражающим состояние клеток организма, уровень общей работоспособности и интенсивности обмен веществ.
Фазовый угол биомпеданса измеряется на частоте 50кГц.
На первом графике совместно показаны значения фазового угла и процентного содержания жира.



Клинические нормы фазового угла:

- менее 4,4 градуса - существенно ниже нормы;

- от 4,4 до 5,4 градуса - ниже нормы;

- от 5,4 до 7,8 градуса - в норме;

- более 7,8 градуса - выше нормы.

Ваш фазовый угол: 8.4 град.

Нормы содержания жира

для Вашей половозрастной группы:

- менее 12% - истощение;

- от 12% - до 17% - пониженное содержание жира,

- от 17% - до 22% - в норме;

- от 22% - до 27% - повышенное содержание жира;

- более 27% - ожирение.

Ваше содержание жира: 17%

Нормальные значения величины фазового угла зависят от пола и возраста. На втором графике показаны возрастные изменения диапазона значений фазового угла и его среднего значения для здоровых людей. Красная стрелка указывает на величину Вашего фазового угла.

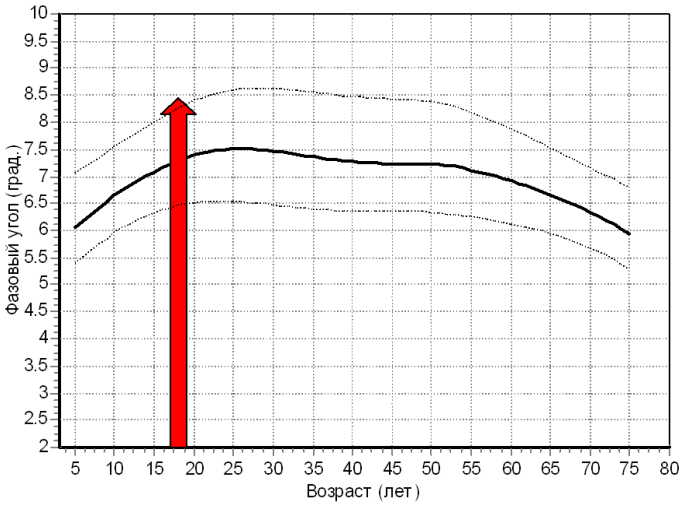


Рис. 8. Протокол фазового угла спортсмена

Информацию о состоянии метаболизма обследуемого также дает протокол фазового угла, представленный на рис. 8. Верхняя диаграмма характеризует соответствие

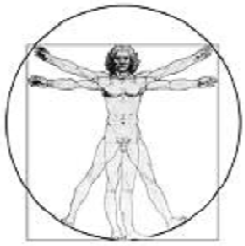
фазового угла и жировой массы диапазонам нормальных значений. Нижняя диаграмма позволяет учесть возрастные изменения интервала нормальных значений фазового угла. На ней изображена соответствующая полу индивида популяционная кривая и кривые, ограничивающие область значений фазового угла в интервале плюс минус одно стандартное отклонение.

Значения фазового угла принято интерпретировать следующим образом: ФУ < 4,4° – высокая вероятность катаболических сдвигов; 4,4° < ФУ < 5,4° – гиподинамия; 5,4° < ФУ < 7,8° - норма; 7,8° < ФУ – повышенные значения, характерные для спортсменов. Низкие значения фазового угла встречаются у больных онкологическими заболеваниями, при гепатите, СПИДе, циррозе печени, туберкулезе, и ассоциированы с низким периодом дожития. По величине фазового угла в спорте высших достижений прогнозируется предстартовая работоспособность спортсмена.

2. Протоколы динамических наблюдений

Анализ динамических наблюдений позволяет оценить эффективность и корректировать тактику тренировочного процесса спортсмена, прогнозировать изменения физической работоспособности в результате пиковых нагрузок в соревновательный период или вынужденного снижения физической активности после травм и заболеваний.

Текущий протокол (рис. 9) генерируется программой с момента второго исследования. Он содержит таблицу антропометрических и биоимпедансных параметров, гистограмму изменений от первого до заключительного исследования.



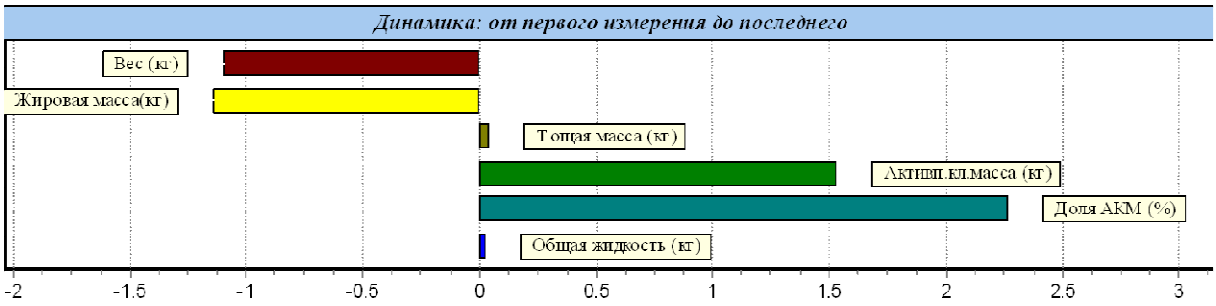
SPORT

НТЦ "Медасс"

Оценка состава тела (биоимпедансный анализ)

Пациент: А-н Семен

Возраст: 18лет



Результаты измерений								Норма
Дата измерения	18.08.2007	02.10.2008	17.10.2008	06.11.2008	27.11.2008	19.12.2008	19.01.2009	
Время измерения	12:06:54	11:53:01	13:28:14	12:52:26	11:54:36	10:55:31	12:24:26	
R50 (Ом)	446	446	443	457	445	444	443	
Xc50 (Ом)	66	66	62	69	65	69	71	
Фазовый угол (град)	8.45	8.37	7.97	8.58	8.37	8.84	9.11	5,4 - 7,8
Вес (кг)	**80.0**	**79.5**	**78.0**	**78.5**	**79.0**	**79.5**	**78.9**	
Изменение веса (кг)		-0.5	-1.5	0.5	0.5	0.5	-0.6	
Полн. измен. веса (кг)		-0.5	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	-1.1	
Индекс массы тела	24.7	24.5	24.1	24.2	24.4	24.5	24.4	20.0 - 24.9
Окружность талии (см)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Окружность бедер (см)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Индекс талия/бедра	0	0	0	0	0	0	0	0.80-1.00
Тощая масса (кг)	**66.4**	**66.3**	**66.3**	**65.2**	**66.3**	**66.5**	**66.4**	47.2 - 70.7
Жировая масса (кг)	**13.6**	**13.2**	**11.7**	**13.3**	**12.7**	**13.0**	**12.5**	7.2 - 14.4
Изменение ЖМ (кг)		-0.4	-1.5	1.6	-0.6	0.3	-0.5	
Полн. измен. ЖМ (кг)		-0.4	-1.9	-0.3	-0.9	-0.6	-1.1	
Жировая масса (%)	**17.0**	**16.6**	**15.0**	**16.9**	**16.0**	**16.3**	**15.8**	17 - 22
Мышечная масса (кг)	36.8	36.7	36.9	36.0	36.8	36.8	36.9	23.0 - 35.9
Мышечная масса (%)	55.4	55.3	55.7	55.2	55.4	55.4	55.5	54.8 - 60.3
Акт.клет.масса (кг)	**42.5**	**42.3**	**41.3**	**42.1**	**42.3**	**43.5**	**44.1**	26.0 - 38.9
Изменение АКМ (кг)		-0.2	-1.0	0.7	0.2	1.2	0.6	
Полн. измен. АКМ (кг)		-0.2	-1.2	-0.5	-0.2	1.0	1.5	
Доля АКМ (%)	64.0	63.8	62.3	64.5	63.7	65.4	66.3	53 - 59
Общая жидкость (кг)	48.6	48.5	48.6	47.7	48.6	48.7	48.6	34.6 - 51.7
Изменение ОЖ (кг)		-0.1	0.0	-0.8	0.8	0.1	-0.1	
Твердые фракции (кг)	17.8	17.8	17.8	17.5	17.8	17.8	17.8	
Внеклет. масса (кг)	23.9	24.0	25.0	23.2	24.1	23.0	22.4	
Основной обмен (ккал)	1959	1952	1921	1944	1952	1990	2008	
Удельн. обм. (ккал/кв.м)	979.6	978.2	970.1	979.6	980.8	997.6	1009.0	

Рис. 9. Текущий протокол биоимпедансных исследований

Графическая форма отчета (см. рис. 10) генерируется программой биоимпедансного анализатора после проведения третьего исследования и описывает динамику активной клеточной массы, жировой массы и общей массы тела. Дополнительно может строиться график изменений пяти произвольно выбранных параметров состава тела. Наиболее показательный набор параметров мониторинга для спортсменов включает ФУ, %ЖМТ, %СММ. Такое представление данных удобно для анализа тенденций изменения параметров состава тела. В качестве примера на рис. 10 показан графический протокол изменений состава тела 19-летнего футболиста в период с 19.11.2008 по 26.01.2009. На графике видно резкое увеличение %ЖМТ и снижение величины фазового угла в результате увеличения питания и уменьшения физических нагрузок в период новогодних праздников. Снижение %СММ выражено менее заметно. Данный пример показывает высокую чувствительность метода к краткосрочным изменениям структурных (%ЖМТ, %СММ) и функциональных (фазовый угол) показателей, которые невозможно или достаточно трудно определить традиционными антропометрическими методами.

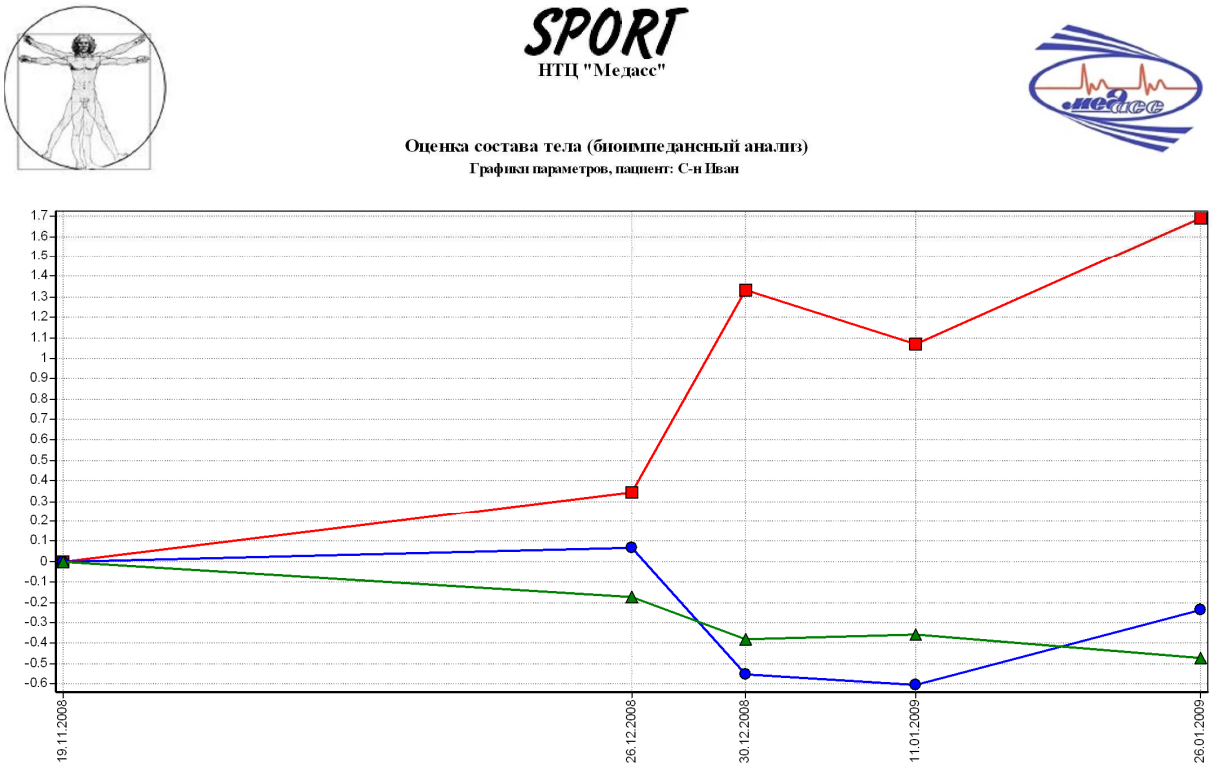


Рис. 10. Графический протокол биоимпедансных исследований. Красным обозначены изменения %ЖМТ, синим – фазового угла, зеленым – %СММ

Региональные и полисегментные методики оценки состава тела

Один из способов биоимпедансных полисегментных измерений предполагает размещение пар токовых и потенциальных электродов на обеих руках и ногах аналогично рис. 4. Автоматическое переключение измерительных и токовых цепей между электродами дает значения импедансов рук, ног и туловища. Таким образом, в дополнение к параметрам всего тела получают оценки параметров регионов тела и асимметрии конечностей (рис. 11). Эта информация может быть использована как в спортивной медицине, так и в клинических исследованиях – например, для характеристики выраженности локальных отеков конечностей.

В полисегментных исследованиях оцениваются два дополнительных интегральных показателя: объем циркулирующей крови (ОЦК) и масса висцерального жира.

Регионы	Акт. сопр. R (Ом) 5 кГц	50 кГц	Фаз.угол (град.) 50 кГц	БЖМ (кг)		ЖМ (кг)		Объем дин.(л)	Объем (л)	Объемы жидкостей (л) ECW	TBW	ICW
Пр.рука	208.3	180.9	6.1	6.36	-2.17	1.67	6.74	8.03	7.64	1.63	19.35	17.72
Лев.рука	216.8	187.6	6.6	6.22		1.78		8.00	7.64	1.57	19.35	17.78
Лев.нога	177.0	158.7	4.8	17.61	0.00	8.96	0.00	26.57	25.96	3.66	14.46	10.80
Пр.нога	195.6	174.0	5.0	17.61		8.96		26.57	25.96	3.32	14.46	11.15
Туловище	23.0	20.4	14.1	37.20		46.53		83.73	85.52	14.85	-5.41	-20.26

Интегральные параметры:

R50 (Ом)	375.5	ECW - Внеклеточная жидкость (л)	25.0					Рост (см)	174.0
R5 (Ом)	427.3	TBW - Общая вода организма (л)	62.2					Объем тела (л)	152.7
Xc50 (Ом)	35.7	ICW - Внутриклеточная жидкость (л)	37.2					Масса тела (кг)	152.9
Phi50 (град.)	5.4	Безжировая масса тела (кг)	85.0	(%МТ)	55.6			Плотность (кг/л)	1.0
		Жировая масса тела (кг)	67.9	(%МТ)	44.4				
		Активная клеточная масса (кг)	43.1	(%БЖМ)	50.7				
		Скелетно-мышечная масса (кг)	36.9	(%БЖМ)	43.4				
		Объем циркулирующей крови (л)	8.93	(%БЖМ)	10.5	(%ECW)	35.7		
		Висцеральный жир (кг)	22.4	(%ЖМ)	33.0	(%БЖМ)	26.4	(%АКМ)	52.0

Рис. 11. Фрагмент протокола программы ABC01-0454 для полисегментных измерений

Заключение

Проведенные отечественные и зарубежные исследования свидетельствуют о взаимосвязи физической работоспособности спортсменов и спортивных достижений с показателями компонентного состава тела [2, 15, 16]. Биоимпедансный анализ – наиболее распространенный метод исследования состава тела, дающий в руки тренеров и спортивных врачей современный инструмент для объективной оценки и контроля состояния спортсмена. В представленной работе описаны физические основы метода и общие подходы к анализу и интерпретации результатов обследования. В нашей следующей публикации в журнале «Спортивная медицина: наука и практика» будет представлен обзор результатов исследований состава тела спортсменов с практическими рекомендациями по применению биоимпедансного анализа в спорте.

Литература

1. Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., et al. Human body composition (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. 533p.
2. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 256с.
3. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г. и др. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392с.
4. Мартиросов Э.Г., Руднев С.Г., Николаев Д.В. Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе: учебное пособие для студентов вузов. М.: Физическая культура, 2010. 119с.
5. Russell C.A., Elia M. Nutrition screening survey in the UK in 2007. British Association of Parenteral and Enteral Nutrition, 2008. 39p.
6. Thomasset A. Bio-electrical properties of tissue impedance measurements // Lyon Med. 1962. V.207. P.107-118.
7. Hoffer E.C., Meador C.K., Simpson D.C. Correlation of whole-body impedance with total body water volume // J. Appl. Physiol. 1969. V.26. P.531-534.
8. Janssen I., Heymsfield S.B., Baumgartner R.N., et al. Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis // Am. J. Clin. Nutr. 2000. V.89, N.2. P.465-471.
9. Segal K.R., Van Loan M., Fitzgerald P.I. et al. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four- site cross-validation study // Am. J. Clin. Nutr. 1988. V.47, N.1. P.7-14.
10. Васильев А.В., Хрущева Ю.В., Попова Ю.П. и др. Одночастотный метод биоимпедансного анализа состава тела у больных с сердечно-сосудистой патологией – новые методические подходы // Сб. тр. науч.-практ. конф. “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М., 2005. С.152-159.
11. Хрущева Ю.В., Зубенко А.Д., Чедия Е.С. и др. Верификация и описание возрастной изменчивости биоимпедансных оценок основного обмена // Сб. тр. науч.-практ. конф. “Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы”. М., 2009. С.353-357.
12. Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические системы: Электрические свойства и биофизические механизмы // ТИИЭР. 1980. Т.68, №1. С.121-132.

13. Cole K.S., Cole R.H. Dispersion and absorption in dielectrics // J. Chem. Phys. 1941. V.9. P.341-351.
14. 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. V.86, N.6. P.509-516.
15. Башкиров П.Н., Лутовинова Н.Ю., Уткина М.И. и др. Строение тела и спорт. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. 236с.
16. Stewart A.D., Sutton L. Body composition in sport, exercise and health. L.: Routledge, 2012. 232p.