

О.А. Нагибович, Г.А. Смирнова, А.И. Андриянов,
Е.В. Кравченко, И.А. Коновалова

Возможности биоимпедансного анализа в диагностике ожирения

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

Резюме. Использование дополнительных параметров, получаемых с помощью биоимпедансного анализа, позволяет корректно устанавливать или исключать диагноз ожирения при проведении обследования мужчин. Нами предложен показатель «индекс массы жира», который обладает наибольшей чувствительностью и специфичностью в отношении диагностики ожирения. Использование ROC-анализа позволило установить пороговые значения (точки отсечения) в выборках ряда показателей биоимпедансометрии для диагностики ожирения по известным градациям индекса массы тела согласно классификации Всемирной организации здравоохранения. Так, для области висцерального жира эта граница соответствует $103,95 \text{ см}^2$, индекса массы жира – $7,33 \text{ кг/м}^2$, массы жира – $22,45 \text{ кг}$, процента содержания жира в организме – $24,55\%$ и степени абдоминального ожирения – $0,94\%$. Превышение вышеуказанных порогов может быть использовано в качестве дополнительных критериев для диагностики ожирения. Показано существование фенотипической и метаболической неоднородности лиц с нормальной массой тела и страдающих ожирением. Подтверждено, что при ожирении $93,3\%$ пациентов являются метаболически нездоровыми, а $6,7\%$ – метаболически здоровы. Подобная закономерность прослеживается и при нормальной массе тела: метаболически здоровой является большая часть (92,4%), а небольшая часть людей (7,6%) – метаболически нездоровы. В настоящее время не для всех показателей, полученных с помощью биоимпедансного анализа, существуют нормативные значения, поэтому при комплексном обследовании мужчин использование оптимального порога отсечения для изученных показателей поможет обеспечить выявление лиц с истинным ожирением. Полученные результаты должны повысить диагностическую ценность биоимпедансного анализа состава тела и помочь проводить эффективную оценку лечебных и профилактических мероприятий при ожирении путем сопоставления рассматриваемых показателей в динамике.

Ключевые слова: биоимпедансный анализ, ROC-анализ, индекс массы тела, индекс массы жира, диагностика ожирения, висцеральный жир, абдоминальное ожирение, маркеры ожирения.

Введение. Исследования различных авторов [1, 2, 6, 15, 16] свидетельствуют, о том что ожирение является существенным фактором риска развития некоторых хронических неинфекционных заболеваний. Причем ожирение – это не только избыточный объем жировой ткани, но и сложный комплекс метаболических нарушений, приводящих к различным патогенетическим процессам в организме.

В повседневной практике основным показателем, используемым для диагностики и оценки тяжести ожирения, является индекс массы тела (ИМТ). В настоящее время существует несколько классификаций оценки статуса питания по ИМТ. Наиболее распространенной и используемой в мире является классификация Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [18].

При этом современная диагностика ожирения не ограничивается определением массы тела (МТ), вычислением ИМТ, измерением окружностей и их соотношений. В последние годы доступным способом диагностики ожирения во многих медицинских учреждениях стал биоимпедансный анализ (БИА), который позволяет получать значения параметров

состава тела [4, 5, 9, 11]. Это высокоинформативный и неинвазивный способ, который можно использовать как в амбулаторно-поликлинических условиях, так и в условиях стационара. Он позволяет проводить оценку содержания висцеральной жировой ткани, обладающей максимальной гуморальной активностью и являющейся более неблагоприятным фактором сердечно-сосудистого риска, чем ожирение как таковое [10, 15–17]. Кроме того, он может выявлять состояния так называемого «ожирения без ожирения», при котором ИМТ находится в пределах нормальных значений, а количество жировой массы существенно выше нормы [13, 14]. В реальной практике иногда встречается и другая ситуация, когда значение ИМТ превышает референтные значения, но за счет сильно развитой мускулатуры пациента.

Известно, что не все тучные пациенты имеют одинаково неблагоприятный метаболический профиль. Y. Matsuzawa, T. Funahashi, T. Nakamura [12], O. Rotar et al. [13] выделяют группу лиц с «метаболически здоровым ожирением», а некоторых пациентов с ИМТ, находящимся в пределах нормы,

относят к «метаболически тучным». Эти данные диктуют необходимость выявления подобных состояний и разработки дополнительных нормативов для диагностики ожирения, включая применение такого способа, как БИА.

Цель исследования. Установить пороги отсечения маркеров диагностики ожирения у мужчин при использовании мультимодальной биоимпедансометрии.

Материалы и методы. Обследованы 226 мужчин в возрасте от 21 до 44 лет. Для определения состава тела использовали биоимпедансный анализатор «InBody-720» фирмы «Biospace» (Южная Корея). Помимо МТ и вычисленного на ее основе ИМТ, с помощью БИА были получены показатели, определяющие жировую составляющую организма: масса жира тела (МЖ), область висцерального жира (ОВЖ), степень абдоминального ожирения (САО) и процент содержания жира в организме (ПСЖО). Эти показатели были использованы в качестве маркеров для диагностики ожирения.

Для более точной оценки жировой массы конкретного человека нами предложен показатель «индекс массы жира» (ИМЖ), который представляет собой частное от деления МЖ в килограммах, определенной с помощью БИА, и квадрата роста в метрах.

$$ИМЖ = МЖ / P^2 \text{ (кг/м}^2\text{)}$$

ROC-анализ с построением ROC-кривой (Receiver operating characteristic – рабочая характеристика приёмника) использовался для оценки качества модели (в нашем случае показателей БИА, выбранных в качестве маркеров по разделению двух классов). Для этого применялась характеристика площади (AUC) под ROC-кривой. Известно, что чем выше значение площади под ROC-кривой, тем лучше качество модели.

Идеальная модель обладает 100%-ной чувствительностью и специфичностью. Однако на практике добиться этого невозможно, более того, невозможно одновременно повысить и чувствительность, и

специфичность модели. Компромисс находится с помощью так называемого порога отсечения, так как пороговое значение определяется соотношением чувствительности и специфичности. В этих случаях принято говорить о задаче нахождения оптимального порога отсечения (ОПО) [3, 7, 8].

Нами критерием ОПО было выбрано требование максимальной суммарной чувствительности (Se) и специфичности (Sp) модели, т. е. ОПО = макс (Se + Sp).

В качестве классификатора или обучающей выборки был выбран показатель ИМТ по классификации ВОЗ [18]. В ROC-анализе по обучающей выборке ИМТ-1 был избран порог отсечения: «норма» (1-я группа, n=74) и «предожирение+ожирение» (2-я группа, n=151); по выборке ИМТ-2: «норма+предожирение» (3-я группа, n=196) и «ожирение» (4-я группа, n=29). В группу «ожирение» отнесли индивидов, страдающих ожирением 1 и 2 степени.

Статистическая обработка материала осуществлялась с использованием программных продуктов Microsoft Excel и IBM SPSS 20.0.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что нормальные значения МТ имеют около 32% обследованных лиц, почти 54% – имеют избыточную массу тела или предожирение. При этом ожирение 1-й и 2-й степени выявлено только у 12% человек (табл. 1).

Таблица 1
Количество обследованных мужчин, распределенных по градациям ИМТ классификации ВОЗ

Градация ИМТ	Нормативы ИМТ, кг/м ²	n	%
Недостаточная масса тела	17–18,49	1	0,44
Нормальная масса тела	18,5–24,99	74	32,74
Избыточная масса тела (предожирение)	25–29,99	122	53,98
Ожирение 1 степени	30–34,99	25	11,06
Ожирение 2 степени	35–39,99	4	1,77

Таблица 2
Результаты ROC-анализа по обучающим выборкам ИМТ-1 и ИМТ-2 показателей БИА

Показатель БИА	ROC-анализ по ИМТ	AUC	Стандартная ошибка (Co)	Асимптотическая значимость (AZн)	ДИ	ОПО тестовой переменной	Se	Sp
ОВЖ, см ²	1	0,920	0,017	0,0	0,886–0,954	73,05	0,842	0,840
	2	0,959	0,020	0,0	0,919–0,999	103,95	0,900	0,904
ИМЖ, кг/м ²	1	0,911	0,018	0,0	0,876–0,947	4,69	0,836	0,840
	2	0,969	0,016	0,0	0,938–1,000	7,33	0,933	0,924
МЖ, кг	1	0,908	0,019	0,0	0,871–0,945	14,75	0,829	0,827
	2	0,958	0,020	0,0	0,920–0,996	22,45	0,900	0,898
ПСЖО, %	1	0,857	0,024	0,0	0,809–0,905	18,65	0,789	0,800
	2	0,929	0,025	0,0	0,880–0,978	24,55	0,900	0,873
САО, %	1	0,885	0,022	0,0	0,842–0,928	0,88	0,809	0,787
	2	0,912	0,031	0,0	0,852–0,971	0,94	0,800	0,807

При проведении ROC-анализа по обучающей выборке ИМТ-1 выявлено, что тестовая переменная ОВЖ имеет площадь под ROC-кривой AUC, равную 0,920 при стандартной ошибке 0,017, и асимптотический 95% доверительный интервал (ДИ) в диапазоне от 0,886 до 0,954 (рис. 1).

По обучающей выборке ИМТ-2 тестовая переменная ОВЖ имеет площадь под ROC-кривой, равную 0,959 при стандартной ошибке 0,020, и асимптотический 95% ДИ в диапазоне от 0,919 до 0,999 (рис. 2).

Затем по аналогичной схеме был проведен ROC-анализ для ИМЖ, МЖ, ПСЖО и САО. Показано, что по выборке ИМТ-2 площадь под кривой всегда больше, чем по выборке ИМТ-1. Данная закономерность наблюдается по всем оцениваемым показателям (табл. 2). На этом основании можно считать порог отсечения для каждого изученного параметра по выборке ИМТ-

2 более прогностически точным при диагностике ожирения.

Таким образом, наибольшей чувствительностью (0,933) и специфичностью (0,924) из оцениваемых показателей обладает предложенный ИМЖ, его ОПО равен 7,33 кг/м². Несколько меньшая чувствительность и специфичность характерна для ОВЖ с ОПО, равным 103,95 см². На наш взгляд, превышение порогов ИМЖ и ОВЖ должно быть использовано при диагностике истинного ожирения на этапах скрининга или подтверждения диагноза ожирения наряду с обычным определением ИМТ.

Установлено, что у 12,2–20,3% мужчин с нормальной МТ по ИМТ значения показателей жировой составляющей, полученных с помощью БИА, свидетель-

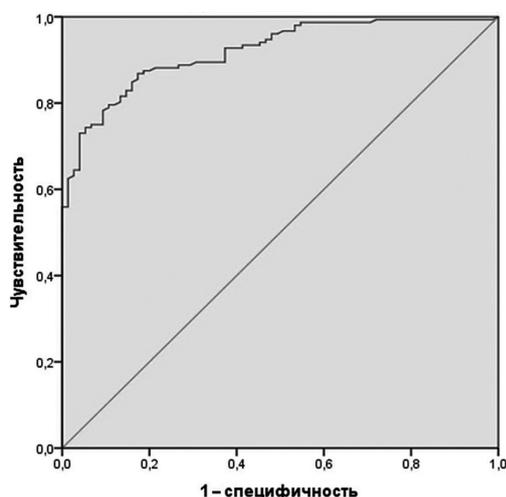


Рис. 1. ROC-кривая, описывающая порог отсечения по обучающей выборке ИМТ-1 для ОВЖ

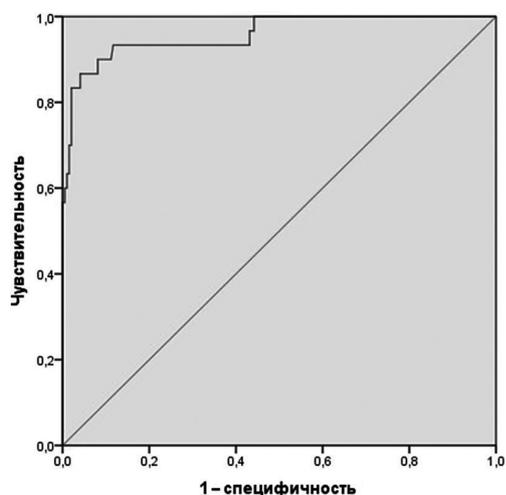


Рис. 2. ROC-кривая, описывающая порог отсечения по обучающей выборке ИМТ-2 для ОВЖ

Таблица 3

Распределение мужчин с нормальным ИМТ относительно показателей жировой составляющей тела (по выборке ИМТ-1)

Показатель	1-я группа			
	n		%	
Распределение относительно порогового значения	↑	↓	↓	↓
ПСЖО	15	59	20,3	79,7
ОВЖ	12	62	16,2	83,8
МЖ	13	61	17,6	82,4
САО	9	65	12,2	87,8
ИМЖ	12	62	16,2	83,8

Таблица 4

Распределение мужчин с высоким ИМТ относительно показателей жировой составляющей тела (по выборке ИМТ-1)

Показатель	2-я группа			
	n		%	
Распределение относительно порогового значения	↓	↓	↓	↑
ПСЖО	32	120	21,1	78,9
ОВЖ	24	128	15,8	84,2
МЖ	26	126	17,1	82,9
САО	37	115	24,3	75,7
ИМЖ	25	127	16,4	83,6

ствовали о наличии предожирения и/или ожирения (табл. 3). Напротив, среди обследованных с диагнозом «предожирение и/или ожирение» 16,4–24,3% мужчин имеют нормальные значения жировой составляющей (табл. 4).

Полагаем, что с использованием БИА можно достаточно точно диагностировать истинное предожирение и/или ожирение.

Применив более «мягкий» подход для отнесения мужчин к здоровым и, соответственно, более «стро-

Таблица 5

Распределение мужчин с нормальной и избыточной МТ относительно показателей жировой составляющей тела (по выборке ИМТ-2)

Показатель	3-я группа			
	n		%	
Распределение относительно порогового значения	↑	↓	↓	↓
ПСЖО	25	172	12,7	87,3
ОВЖ	19	178	9,6	90,4
МЖ	20	177	10,2	89,8
САО	30	167	15,2	84,8
ИМЖ	15	182	7,6	92,4

Таблица 6

Распределение мужчин, страдающих ожирением, относительно показателей жировой составляющей тела (по выборке ИМТ-2)

Показатель	4-я группа			
	n		%	
Распределение относительно порогового значения	↓	↑	↑	↑
ПСЖО	3	27	10	90
ОВЖ	3	27	10	90
МЖ	3	27	10	90
САО	6	24	20	80
ИМЖ	2	28	6,7	93,3

гий» критерий для объединения их в группу больных, страдающих ожирением, мы получили аналогичную закономерность. Оказалось, что при нормальной МТ от 7,6 до 15,2% обследованных мужчин имеют показатели жировой составляющей, свидетельствующие об ожирении (табл. 5). В то же время у лиц с явным ожирением от 6,7 до 20% имели «ожирение без ожирения» (табл. 6).

В настоящее время для таких показателей, как МЖ, САО и ИМЖ (полученных с помощью БИА), не существует нормативных значений. При комплексном обследовании мужчин использование порога отсечения для данных показателей БИА обеспечит выявление лиц с истинным ожирением.

Заключение. Для диагностики ожирения в качестве дополнительных критериев, полученных с помощью БИА, могут использоваться пороговые значения (точки отсечения) таких показателей, как ПСЖО, ОВЖ, МЖ и САО. Нами предложен показатель ИМЖ, обладающий наибольшей чувствительностью и специфичностью в отношении диагностики ожирения при пороге, равном 7,33 кг/м². В итоге использование дополнительных параметров, получаемых с помощью БИА, позволяет корректно устанавливать или

исключать диагноз ожирения у мужчин. Результаты, полученные в ходе данного исследования, должны повысить диагностическую ценность БИА и помочь проводить эффективную оценку лечебных и профилактических мероприятий при ожирении путем сопоставления рассматриваемых показателей в динамике.

Литература

1. Бойцов, С.А. Профилактика хронических неинфекционных заболеваний: рекомендации / С.А. Бойцов. – М.: ГНИЦПМ, 2013. – 128 с.
2. Бутрова, С.А. От эпидемии ожирения к эпидемии сахарного диабета / С.А. Бутрова // Международный эндокринологический журнал. – 2013. – № 3. – С. 19–24.
3. Григорьев, С.Г. Роль и место логистической регрессии и гост-анализа в решении медицинских диагностических задач / С.Г. Григорьев, Ю.В. Лобзин, Н.В. Скрипченко // Журнал инфектологии. – 2016. – Т. 8, № 4. – С. 36–45.
4. Мартиросов, Э.Г. Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе / Э.Г. Мартиросов, С.Г. Руднев – М.: Физическая культура, 2010. – 120 с.
5. Николаев, Д.В. Лекции по биоимпедансному составу тела человека / Д.В. Николаев, С.П. Щелькалина. – М.: РИО ЦНИИОИЗ МЗ РФ, 2016. – 152 с.
6. Смирнова, Г.А. Взаимосвязь заболеваемости курсантов Военно-медицинской академии с их функциональным состоянием, статусом питания и успеваемостью / Г.А. Смирнова // Вестн. Росс. воен.-мед. акад. – Прилож. – 2014. – № 2 (46). – С. 39–40.
7. Файнзильберг, Л.С. Гарантированная оценка эффективности диагностических тестов на основе усиленного ROC-анализа / Л.С. Файнзильберг, Т.Н. Жук // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 5. – С. 3–13.
8. Fawcett, T. ROC Graphs: Notes and Practical Considerations for Researchers. – Kluwer Acad. Publ. – 2004. – 38 p.
9. Fidanza, F. Body fat in adult man: semicentenary of fat density and skinfolds / F. Fidanza // Acta Diabetol, 2003. – Vol. 40. – P. 242–248.
10. Goodpaster, B.H. Metabolic Flexibility in Health and Disease / B.H. Goodpaster, L.M. Sparks // Cell Metab. – 2017. – Vol. 2, № 25 (5). – P. 1027–1036.
11. Jaffrin, M.Y. Body composition determination by bioimpedance: an update / M.Y. Jaffrin // Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care. – 2009. – Vol. 12. – P. 482–486.
12. Matsuzawa, Y. The Concept of Metabolic Syndrome: Contribution of Visceral Fat Accumulation and Its Molecular Mechanism / Y. Matsuzawa, T. Funahashi, T. Nakamura // Journal of Atherosclerosis and Thrombosis. – 2011. – Vol. 18, № 8. – P.629–639.
13. Rotar, O. Metabolically healthy obese and metabolically unhealthy non-obese phenotypes in a Russian population/ O. Rotar [et al.] // Eur J Epidemiol. – 2016. – Dec 30. doi: 10.1007/s10654-016-0221-z. [Epub ahead of print].
14. Marques-Vidal, P. Normal weight obesity: relationship with lipids, glycaemic status, liver enzymes and inflammation / P. Marques-Vidal [et al.] // Nutr Metab Cardiovasc Dis. – 2010. – Vol. 20. – P.669–675.
15. Yusuf, S. Obesity and the risk of myocardial infarction in 27,000 participants from 52 countries: a case control study / S. Yusuf [et al.] // Lancet. – 2005. – Vol. 5. – P. 1640–1649.
16. Boban, M. Obesity dilemma in the global burden of cardiovascular diseases / M. Boban [et al.] // Int J. Clin. Pract. – 2014. – Vol. 68, № 2. – P. 173–179.
17. Peckmezian, T. A systematic review and narrative synthesis of interventions for uncomplicated obesity: weight loss, well-being

and impact on eating disorders / T. Peckmezian, P. Hay // J. Eat Disord. – 2017. – Vol. 1. – P. 5–15.

18. WHO expert consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. // Lancet. – 2004. – P. 157–163.

O.A. Nagibovich, G.A. Smirnova, A.I. Andriyanov, E.V. Kravchenko, I.A. Konovalova

Possibilities of bioimpedance analysis in the diagnosis of obesity

***Abstract.** The use of additional parameters obtained with the help of bioimpedance analysis allows correctly to establish or exclude the diagnosis of obesity when conducting a survey of men. We proposed the «fat mass index» index, which has the greatest sensitivity and specificity in the diagnosis of obesity. The use of ROC-analysis allowed setting threshold values (cut-off points) in samples of a number of bioimpedance indicators for diagnosing obesity according to known grades of body mass index according to the classification of the World Health Organization. Thus, for the visceral fat area, this boundary corresponds to 103,95 cm², the fat mass index is 7,33 kg / m², the fat mass is 22,45 kg, the percentage of body fat is 24,55% and the degree of abdominal obesity is 0, 94%. Exceeding the above thresholds can be used as additional criteria for diagnosing obesity. The existence of phenotypic and metabolic heterogeneity of persons with normal body weight and obese patients is shown. It was confirmed that 93,3% of patients are metabolically unwell, and 6,7% are metabolically healthy. A similar pattern is also observed with normal body weight: a larger pool (92,4%) is metabolically healthy, and a small proportion of people (7,6%) are metabolically unwell. At present, normative values do not exist for all parameters obtained with the help of bioimpedance analysis; therefore, in the complex survey of men, the use of the optimal cut-off threshold for the studied indicators will help to identify individuals with true obesity. The results obtained should increase the diagnostic value of bioimpedance analysis of body composition and help to conduct an effective evaluation of curative and preventive measures for obesity by comparing the considered indicators in dynamics.*

***Key words:** diagnosis of obesity, bioimpedance analysis, body mass index, obesity mass index, ROC-analysis, optimal cut-off value of obesity markers.*

Контактный телефон: 8-921-797-03-83; e-mail: smirnova2006@gmail.com