

Выбор оптимальных методик для определения статуса питания военнослужащих

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

Резюме. В нашей стране и за рубежом в последнее время в качестве одного из основных показателей статуса питания, помимо индекса массы тела, считается процент содержания жира в организме, который можно определить достаточно широким спектром методик. В повседневной практике военного врача часто нет сложных и дорогостоящих приборов для определения жировой составляющей организма, например таких, которые широко распространены в рамках биоимпедансного анализа состава тела. Приводится много вариантов способов определения жировой составляющей организма. Это калиперометрические методики (методика Durnin – Womersley, J. Matiegka в модификации М.М. Дьяконова, Джексона – Поллока, Gallagher и др.) и обхватные методики (методики, используемые в военно-морских и сухопутных силах Соединенных Штатов Америки, методика, разработанная в Юношеской христианской организации, и ее модификация). Полученные результаты сопоставлялись с результатами биоимпедансного анализа состава тела. Для сравнения точности совпадения результатов применялся метод среднеквадратичной ошибки модели, проводился корреляционный анализ данных, строились регрессионные модели.

Выявлены наиболее информативные методики определения жировой составляющей организма, которые рекомендовано использовать в практике военного врача на разных уровнях медицинского обеспечения военнослужащих. Жировую массу можно оценивать по процентному содержанию жира в организме, определяемому с помощью калиперометрической методики Джексона-Поллока при наличии калипер-циркуля или обхватной методики, используемой в военно-морских силах Соединенных Штатов Америки.

Ключевые слова: статус питания, военнослужащие, процентное содержание жира в организме, биоимпедансный анализ, метод среднеквадратичной ошибки модели, индекс массы тела, калиперометрические и обхватные методики оценки жировой массы тела.

Введение. При наличии многообразия методик для оценки статуса питания возникает вопрос о выборе наиболее простых и информативных среди них. В практике военного врача не всегда есть возможность для анализа состава тела использовать биоимпедансный анализ (БИА) состава тела, двухэнергетическую рентгеновскую денситометрию, методику инфракрасного отражения, нейтронный активационный анализ, простую фотонную и двухфотонную абсорбциометрию, моноэнергетическую и двухэнергетическую рентгеновскую абсорбциометрию, рентгеновскую компьютерную томографию, а также магнитно-резонансную томографию. Поэтому необходимо выявить наиболее простые методики, применение которых позволит получить результаты, соответствующие результатам, полученным при применении биоимпедансного анализа.

В нашей стране и за рубежом в последнее время в качестве одного из основных показателей статуса питания, помимо индекса массы тела (ИМТ), рассматривается процент содержания жира в организме (ПСЖО), который можно определить достаточно широким спектром методик. При содержании жира менее 5–7% часто отмечаются дистрофические изменения со стороны внутренних органов, поэтому определение этого показателя имеет большое

значение для оценки статуса питания и общего состояния здоровья.

Цель исследования. Определить ПСЖО наибольшим количеством известных методик и выявить наиболее близкие к полученным результаты с помощью биоимпедансного анализа.

Материалы и методы. Обследовано 830 мужчин в возрасте от 17 до 44 лет, у которых с помощью разных методик определялся ПСЖО. Для его определения использовались калиперометрические и обхватные методики, а также биоимпедансный анализатор состава тела «InBody-720» фирмы «Biospace» (Южная Корея). Определялись следующие показатели: возраст (В, годы); рост, (Р, см); масса тела (МТ, кг); окружность талии (ОТ, см); окружность шеи (ОШ, см); кожно-жировые складки с правой стороны (КЖС, мм): над серединой бицепса (КЖСБ, мм); над серединой трицепса (КЖСТ, мм); под лопаткой (КЖСЛ, мм); в паховой области на 2 см выше середины пупартовой связки (КЖСП, мм), на животике на расстоянии от пупка 5 см (КЖСЖ, мм). Вычислялись индекс массы тела (ИМТ, кг/м²), жировая масса тела (ЖМТ, кг), процент содержания жировой ткани в организме (ПСЖО, %), Σ – сумма КЖС ($\Sigma_{\text{КЖС}}$, мм).

Калиперометрические методики. Методика Durnin – Womersley [1, 10] предназначена для вычисления возрастного коэффициента D для дифференцирования ПСЖО по возрастным категориям. Коэффициент вычисляется на основе десятичного логарифма (КЖСБ, КЖСТ, КЖСЛ, КЖСП) по формулам, приведенным в таблице 1.

Таблица 1

Формулы для вычисления коэффициента D по методу Durnin-Womersley для разных возрастных групп

Возраст, лет	Коэффициент D
17–19	$D=1,1620-0,0630 \times (\log \Sigma)$
20–29	$D=1,1631-0,0632 \times (\log \Sigma)$
30–39	$D=1,1625-0,0645 \times (\log \Sigma)$
40–49	$D=1,1620-0,0700 \times (\log \Sigma)$
50 и более	$D=1,1715-0,0779 \times (\log \Sigma)$

Далее ПСЖО определяется по формуле:

$$ПСЖО = MT \times (4,95/D - 4,5) \times 100 / MT = 495/D - 450 \quad (1)$$

Методика Durnin [11] предназначена для определения ПСЖО у женщин и мужчин от 16 до 72 лет и определяется по формуле:

$$ПСЖО = 495 / (1,1509 - 0,0715 \times \log \Sigma \text{ (КЖСБ, КЖСТ, КЖСЛ, КЖСП)}) - 450 \quad (2)$$

Методика J. Matiegka в модификации М.М. Дьяконова [2] основана на сопоставлении средней толщины трех КЖС с площадью поверхности тела при вычислении ЖМТ и ПСЖО и определяется по формуле:

$$ПСЖО = (КЖСТ + КЖСЛ + КЖСЖ) \times (134MT + 52,4P) \times 51,5 / MT \quad (3)$$

Наиболее часто формулы для оценки ЖМТ получают путём калибровки регрессионных зависимостей на основе сопоставления результатов калиперометрии с одной из эталонных методик, в качестве которых могут служить гидростатическая, двухэнергетическая рентгеновская денситометрия или совокупность методик, основанных на 4-компонентной модели состава тела. Этим формулам соответствует множество различных схем выбора участков измерений. К наиболее распространенным формулам для оценки ПСЖО относятся:

1. Формула Jackson – Pollock для здоровых мужчин 18–60 лет [13]:

$$ПСЖО = 495 / (1,109380 - 0,0008267 \times \Sigma_3 + 0,0000016 \times \Sigma_3^2 - 0,0002574 \times B) - 450 \quad (4)$$

2. Формула Gallagher для женщин и мужчин, полученная на основе четырёхкомпонентной модели состава тела и учитывающая половые и возрастные различия, а также значения ИМТ [12]. Показатель «Пол» принимает значения «0» – для женщин, «1» – для мужчин:

$$ПСЖО = 64,5 - 848 / ИМТ + 0,079 \times B - 16,4 \times Пол + 0,05 \times B + 39 / ИМТ \quad (5)$$

3. Формула для вычисления ПСЖО с учетом ИМТ и возраста [8]:

$$ПСЖО = 1,39 \times ИМТ + 0,16 \times B - 19,34 \quad (6)$$

Достаточно большое количество формул для определения ПСЖО основано на обхватных показателях антропометрии. Некоторые авторы полагают, что ПСЖО, полученное путем измерения различных окружностей тела, имеет наиболее тесные корреляционные связи с уровнем функциональных резервов и физической работоспособности человека [3, 4].

Окружностные методики. Методика определения ПСЖО для мужчин с использованием обхватных показателей применяется в Вооруженных силах Соединенных Штатов Америки [5]. ПСЖО в ней определяется по формуле:

$$ПСЖО = 0,74 \times ОТ - 1,249 \times ОШ + 0,528 \quad (7)$$

Методика определения ПСЖО для мужчин, используемая в Военно-морских силах Соединенных Штатов Америки, на основании нескольких измерений дает относительно точные результаты. Измерения проводятся в дюймах. ПСЖО определяется по формуле:

$$ПСЖО = (86,01 \times \log(ОТ - ОШ)) - (70,041 \times \log P) + 36,76 \quad (8)$$

Формула, основанная на измерении МТ и ОТ, разработана в Юношеской христианской организации (УМСА). Все измерения проводятся в дюймах и фунтах. ПСЖО определяется по формуле:

$$ПСЖО = 100 \times (4,15 \times ОТ - 0,082 \times МТ - 98,42) / МТ \quad (9)$$

Модифицированная формула УМСА [7]:

$$ПСЖО = 100 \times (-0,082 \times МТ + 4,15 \times ОТ - 94,42) / МТ \quad (10)$$

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при применении вышеперечисленных методик определения ПСЖО величина этого показателя иногда имеет отрицательные значения (табл. 2). Как правило, это данные, полученные при использовании окружностных методик: ПСЖО_{ВС США}, ПСЖО_{ВМС США}, ПСЖО_{УМСА}, ПСЖО_{модиф.УМСА}. Э.Г. Мартиросов, С.Г. Руднев, Д.В. Николаев и др. [5, 6] объясняют это явление тем, что при малом содержании подкожного жира окружностные методики «не работают» и поэтому в таких случаях необходимо использовать калиперометрические или биоимпедансные методики определения ПСЖО.

Полагаем, что отрицательные значения ПСЖО, полученные у обследуемых при применении окружностных методик, обусловлены тем, что в нашей выборке было довольно большое количество 17-летних подростков с небольшим процентом жировой ткани (хотя подобное можно было наблюдать и в других возрастных группах). При этом при использовании

Таблица 2

Значения статистик ПСЖО, определенного с помощью различных методик у обследуемых лиц

Показатель	\bar{X} средн.	Станд. откл.	Ошиб. сред	Макс. знач.	Мин. знач.	Медиана
ПСЖО _{Durnin – Womersley}	11,13	5,76	0,20	43,98	2,41	9,66
ПСЖО _{Durnin}	25,23	5,92	0,21	47,74	13,07	24,24
ПСЖО _{BC США}	9,49	5,78	0,20	41,03	-2,81	8,22
ПСЖО _{ВМС США}	14,73	7,43	0,26	46,49	-3,05	13,52
ПСЖО _{Matiegka – Дьяконова}	17,23	10,47	0,36	82,24	4,85	13,91
ПСЖО _{ИМТ}	16,32	5,40	0,19	47,98	7,11	15,15
ПСЖО _{УМСА}	7,58	6,77	0,23	32,09	-9,75	6,62
ПСЖО _{модиф. УМСА}	10,12	6,49	0,23	33,83	-6,68	9,12
ПСЖО _{Jackson – Pollock}	11,17	6,42	0,22	40,27	2,57	9,13
ПСЖО _{Gallagher}	15,30	5,26	0,18	34,72	2,90	14,74
ПСЖО _{БИА}	12,36	6,65	0,23	46,30	3,00	10,80

окружностных методик из 830 результатов было получено: по формуле ПСЖО_{BC США} – 4 случая с отрицательными значениями, по формуле ПСЖО_{ВМС США} – 2 случая из того же количества, по формуле ПСЖО_{УМСА} – 78 случаев, а по формуле ПСЖО_{модиф. УМСА} – 26. Таким образом, при массовых обследованиях для вычисления ПСЖО вполне возможно применение формулы ПСЖО_{BC США}, а также ПСЖО_{ВМС США}. Процент «непопаданий» будет весьма незначителен. В таких случаях для уточнения значений ПСЖО в приемных комиссиях военных учебных заведений и военкоматов при отсутствии возможности использовать калиперометрические или биоимпедансные методики мы рекомендуем использовать обхватные методики ПСЖО_{ВМС США} и ПСЖО_{BC США}.

В то же время калиперометрические методики не всегда дают точные результаты при определении ПСЖО у людей с большим содержанием подкожного жира, так как иногда трудно правильно захватить слишком большую жировую складку [5, 6], поэтому для тучных людей наиболее предпочтительны именно окружностные методики.

Анализируя средние арифметические данные ПСЖО, полученные при использовании разных методик (табл. 2), можно увидеть, что наиболее близко к средним значениям ПСЖО_{БИА} были расположены средние данные ПСЖО_{Jackson – Pollock}, ПСЖО_{Matiegka – Дьяконова} и ПСЖО_{Durnin – Womersley}. Из окружностных методик сюда можно отнести ПСЖО_{ВМС США}.

Для сравнения точности совпадения результатов, полученных с помощью использованных методик, мы применили метод среднеквадратичной ошибки модели (MSE) [7, 9]. Для вычисления MSE все отдельные остатки регрессии возводятся в квадрат, суммируются и сумма делится на общее число ошибок. Расчет производится по формуле:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$$

где MSE – среднеквадратичная ошибка; y_i – наблюдаемое значение; \hat{y}_i – соответствующее предсказанное значение.

Остатки регрессии – это разности между наблюдаемыми значениями и значениями, предсказанными изучаемой регрессионной моделью. В нашем случае наблюдаемые значения – это данные из выборки ПСЖО, полученные по конкретной исследуемой методике, а значениями, предсказанными изучаемой регрессионной моделью, являются значения ПСЖО_{БИА}. Чем лучше регрессионная модель согласуется с данными, тем меньше величина остатков и тем более близко располагаются исследуемые данные от исходных (ПСЖО_{БИА}).

Таким образом, сравнивались значения по каждому человеку в выборках данных ПСЖО, определенных с помощью различных методик. Выявлено, что наименьшие значения MSE, по сравнению со значениями ПСЖО_{БИА}, имеют такие методики, как ПСЖО_{Jackson – Pollock} и ПСЖО_{ВМС США} (рис. 1).

Установлено, что все методики определения ПСЖО имеют между собой высокосвязные корреляционные связи, но наиболее тесно связаны между собой выборки данных, полученные с помощью

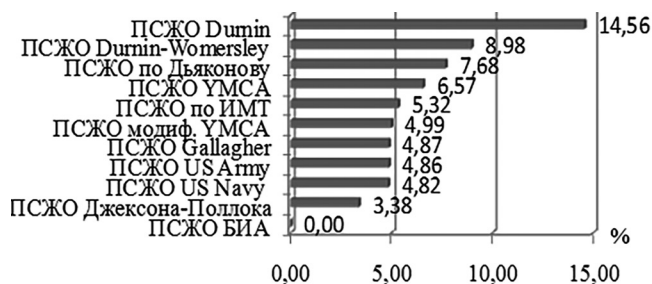


Рис. 1. Среднеквадратическая ошибка отличия значений ПСЖО_{БИА}, определенных с помощью биоимпедансометрии, от значений ПСЖО, определенных с помощью других методик

одинаковых способов измерения (окружностные с окружностными и калиперометрические с калиперометрическими). Поэтому необходимо было выяснить, каким образом связаны все эти выборки с ПСЖО_{БИА}, полученным биоимпедансным путем. Данные корреляционного анализа (табл. 3) получены

Таблица 3
Коэффициенты корреляции ПСЖО, полученных с помощью различных методик, с ПСЖО_{БИА} у обследованных лиц

Методика	Коэффициент корреляции
ПСЖО _{Durnin – Womersley}	0,851
ПСЖО _{Durnin}	0,841
ПСЖО _{ВМС США}	0,809
ПСЖО _{ВМС США}	0,828
ПСЖО _{Matiegka – Дьяконова}	0,851
ПСЖО _{ИМТ}	0,846
ПСЖО _{УМСА}	0,774
ПСЖО _{модиф УМСА}	0,770
ПСЖО _{Gallagher}	0,813
ПСЖО _{Jackson – Pollock}	0,854

при сопоставлении выборок данных калиперометрических и обхватных методик определения ПСЖО с выборкой данных ПСЖО_{БИА}. Несмотря на то, что все связи являются высокосвязными, наиболее тесные корреляционные связи ПСЖО_{БИА} имеет с ПСЖО, полученными с помощью калиперометрических методик: ПСЖО_{Jackson – Pollock}, ПСЖО_{Durnin – Womersley}, ПСЖО_{Matiegka – Дьяконова}.

Сопоставляя выборки, определенные с помощью этих методик, с выборкой ПСЖО_{БИА}, используя регрессионные модели, можно увидеть, что наибольшее совпадение из калиперометрических методик имеет методика ПСЖО_{Jackson – Pollock} (рис. 2), а из обхватных – ПСЖО_{ВМС США} (рис. 3).

Заключение. Выявлены наиболее информативные методики определения ЖМТ, которые можно использовать в практике военного врача на разных уровнях медицинского обеспечения военнослужащих. ЖМТ оценивается по ПСЖО, определенным с помощью калиперометрической методики Jackson-Pollock или обхватной методики ВМС США.

Литература

1. Вологжанин, Д.А. Справочные материалы по оценке статуса питания и проведению энтеральной нутриционной поддержки: учебное пособие / Д.А. Вологжанин, И.Е. Хорошилов, Е.Ю. Струков. – СПб.: Агентство Инфо Ол, ВМА, 2009. – 108 с.
2. Дьяконов, М.М. Основы санитарного надзора за энергетической адекватностью питания военнослужащих / Дьяконов М.М. – Л.: ВМА, 1989. – 36 с.
3. Кудерков, С.А. Контроль за физическим состоянием военнослужащих США / С.А. Кудерков, П.П. Макаров // Зарубежное военное обозрение. – 1990. – № 8. – С. 13–15.

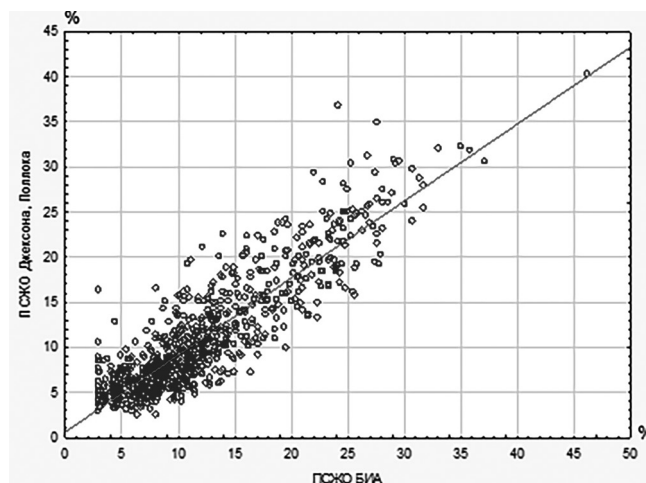


Рис. 2. Регрессионная модель зависимости ПСЖО_{Jackson – Pollock} по отношению к ПСЖО_{БИА}

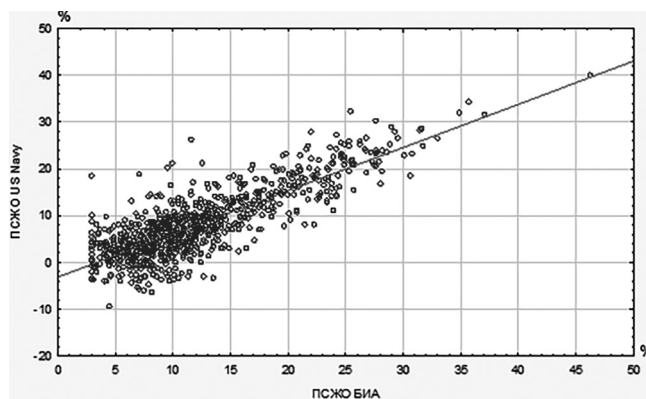


Рис. 3. Регрессионная модель зависимости ПСЖО_{ВМС США} по отношению к ПСЖО_{БИА}

4. Макаров, П.П. Современные подходы к коррекции нарушений статуса питания / П.П. Макаров. – СПб.: ВМА, 2002. – 15 с.
5. Мартиросов, Э.Г. Применение антропологических методов в спорте, спортивной медицине и фитнесе / Э.Г. Мартиросов, С.Г. Руднев, Д.В. Николаев. – М.: Физическая культура, 2010. – 120 с.
6. Николаев, Д.В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д.В. Николаев [и др.] – М.: Наука, 2009. – 392 с.
7. Одейчук, А.Н. Обобщенный критерий эффективности моделей прогнозирования временных рядов в информационных системах / А.Н. Одейчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2009. – № 1 (70). – С. 113–119.
8. Смирнова, Г.А. Конституция и статус питания / Г.А. Смирнова. – СПб.: ВМА, 2007. – 240 с.
9. Щербаков, М.В. Коннективистские модели идентификации динамики систем на коротких интервалах наблюдения с заданным множеством классов поведения / М.В. Щербаков, Н.Л. Щербакова, И.П. Козлов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 83–91.
10. Durnin, J. V. G. A. Body fat assessed from total body density and its estimation from skin fold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 Years / J. V. G. A. Durnin, J. Womersley. – Institute of Physiology, The University: Glasgow G12 8QQ. – 1974. – 153 p.

11. Durnin, J.V.G.A. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness / J.V.G.A. Durnin, M.M. Rahaman // Br. J. Nutr. – 1967. – Vol. 21, № 3. – P. 681–689.
12. Gallagher, D. Healthy percent age body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index / D. Gallagher, S.B. Heymsfield, M. Heo // Am. J. Clin. Nutr. – 2000. – Vol. 72. – P. 694–701.
13. Jackson, A.S. Generalized equations for predicting body density of men / A.S. Jackson, M.L. Pollock // Br. J. Nutr. – 1978. – Vol. 40, № 3. – P. 497–504.

G.A. Smirnova, E.V. Kravchenko, I.A. Kononova

The selection of optimal methods for the determining the nutritional status of soldiers

Abstract. *In our country and abroad in recent years as one of the main indicators of the status of nutrition, in addition to the body mass index, is the percentage of body fat, which can be determined by a fairly wide range of techniques. In the daily practice of a military doctor, there are often no complex and expensive devices to determine the fat component of the body, such as a widespread bioimpedance analysis of body composition. The article provides many options for determining the fat component of the body. It coliperometric facts technique (the technique of Durnin – Womersley, J. Matiegka in the modification of M. M. Dyakonov, Jackson – Pollock, Gallagher, and others) and circumferential techniques (methods, used in the naval and land forces of the United States of America, the methodology developed in the Y. M. C. A. and its modification). The results were compared with the results of bioimpedance analysis of body composition. To compare the accuracy of the coincidence of the results obtained by the methods used, the method of the mean square error of the model was used. Then the correlation analysis was carried out and regression models were built.*

The comparative analysis revealed the most informative methods of determining the fat component of the body, which are recommended to use in the practice of a military doctor at different levels of medical care for soldiers. Fat mass can be estimated by the percentage of fat in the body, determined using the caliper-Pollock method, in the presence of calliper-compass, or circumferential technique used in the naval forces of the United States of America.

Key words: *nutritional status, military personnel, percentage body fat, bioelectrical impedance analysis method the root mean square error of the model, body mass index, coliperometric facts and circumferential methods for the assessment of body fat mass.*

Контактный телефон: 8-921-797-03-83; e-mail: vmeda-nio@mail.ru