

Особенности оценки водных секторов и статуса гидратации организма с помощью биоимпедансных анализаторов состава тела

К. В. Выборная

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Абсолютное количество общей, внеклеточной и внутриклеточной воды организма напрямую зависит от габаритных размеров и компонентного состава тела, поэтому для оценки статуса гидратации организма используют относительные показатели водных секторов организма (в процентах от массы тела) и коэффициенты распределения воды в организме: ВнекВ/ОВО и ВнекВ/ВнукВ.

Цель. Определить, в чем состоит разница оценки распределения воды и статуса гидратации организма с помощью биоимпедансных анализаторов различных модификаций и фирм-производителей.

Результаты и обсуждение. При использовании для оценки статуса гидратации и оценки распределения воды в организме биоимпедансных анализаторов следует иметь в виду, что они имеют отличные друг от друга нормативные значения индексов ВнекВ/ОВО и ВнекВ/ВнукВ. Полученные значения следует трактовать только согласно нормативам, представленным в инструкциях пользователя к тому анализатору, на котором была проведена оценка. Главные отличия оценки разными анализаторами состоят в том, что нормальные значения индекса увеличиваются с возрастом исследуемого при измерении анализаторами InBody и Accuniq и уменьшаются при измерении анализатором Медасс. При этом в анализаторах Accuniq и Медасс границы норм зависят от пола и возраста и имеют значения выше, чем у InBody.

Заключение. По результатам анализа литературных данных и инструкций пользователя к анализаторам InBody, Accuniq и Медасс было показано, что различные значения и разнонаправленные тенденции изменения индексов ВнекВ/ОВО и ВнекВ/ВнукВ с увеличением возраста обследованных могут быть связаны как с различным положением тела во время измерения с помощью биоимпедансных анализаторов различных производителей, так и с различными нормативами значений индексов, разработанных на популяциях, имеющих свои особенности гидратационного статуса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водные сектора организма, общая вода организма, внеклеточная вода, внутриклеточная вода, биоимпедансные анализаторы, статус гидратации организма, ВнекВ/ВнукВ, ВнекВ/ОВО, ABC-01 Медасс, Accuniq BC310, InBody.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Автор статьи заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках темы FGMF-2022-0004 «Разработка инновационных подходов к оптимизации питания высококвалифицированных спортсменов с целью улучшения адаптационного потенциала и спортивной формы».

Features of assessing water sectors and body hydration status using bioimpedance body composition analyzers

K. V. Vybornaya

Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

SUMMARY

Introduction. The absolute amount of total, extracellular and intracellular water of the body directly depends on the overall dimensions and component composition of the body, therefore, to assess the hydration status of the body, relative indicators of the water sectors of the body are used (as a percentage of body weight) and coefficients of water distribution in the body are used: ECW/TBW and ECW/ICW.

Purpose. Determine what the difference is in assessing water distribution and body hydration status using bioimpedance analyzers of various modifications and manufacturers.

Results and discussion. When the bioimpedance analyzers using to assess hydration status and the distribution of water in the body, it should be borne in mind that they have different standard values for the ECW/TBW and ECW/ICW indices. The obtained values should be interpreted only in accordance with the standards presented in the user instructions for the analyzer on which the assessment was carried out. The main differences between assessments by different analyzers are that normal index values increase with the age of the subject when measured by the InBody and Accuniq analyzers and decrease when measured by the Medass analyzer. At the same time, in the Accuniq and Medass analyzers, the normal limits depend on gender and age and have values higher than in InBody.

Conclusion. Based on the results of the analysis of literature data and user instructions for the InBody, Accuniq and Medass analyzers, it was shown that different values and multidirectional trends in changes in the ECW/TBW and ECW/ICW indices with increasing age of the examined people can be associated both with different body positions during measurement using bioimpedance analyzers from different manufacturers, and with different standards for index values developed on populations with their own characteristics of hydration status.

KEYWORDS: water sectors of the body, total body water, extracellular water, intracellular water, bioimpedance analyzers, body hydration status, ECW/TBW and ECW/ICW indices, ABC-01 Medass, Accuniq BC 310, InBody.

CONFLICT OF INTEREST. The author of the article declares that there is no conflict of interest.

Funding source. The work was carried out within the framework of the scientific theme FGMF-2022-0004 «Development of innovative approaches to optimizing the nutrition of highly qualified athletes in order to improve the adaptive potential and sports form».

Введение

Общая вода организма (ОВО) представляет собой наибольший по массе компонент состава тела и обеспечивает процессы транспорта веществ в организме. Процентное содержание воды в организме зависит от возраста, пола

и уровня физической подготовки. При рождении содержание воды в организме человека составляет примерно 80 %, к достижению человеком взрослого возраста вода составляет около 65 %. Количество воды в организме напрямую

зависит от количества жировой и мышечной ткани. Следует учитывать, что мышечная ткань содержит больше воды, чем жировая. В связи с этим существуют половые различия в содержании воды. Так как женщины имеют больший процент жира и меньший процент мышц, чем мужчины, у них меньше содержание воды в организме. Если индивид физически активный, количество воды в организме может увеличиваться в зависимости от увеличения мышечной массы тела. Женщины и мужчины с высоким процентом мышц в организме будут иметь и более высокий процент воды в организме, чем менее физически активные люди того же возраста и массы тела с меньшим количеством мышечной массы.

Оценить ОВО можно несколькими методами:

1. Методом разведения индикаторов.
2. Расчетным методом, основанным на измерении антропометрических параметров.
3. Аппаратным методом с помощью биоимпедансных анализаторов состава тела.

Метод разведения индикаторов является эталонным методом, который используют для сравнения результатов исследований, полученных расчетным и аппаратным методами [1–4].

Расчетный метод определения общей воды организма.

Расчет ОВО на основе данных антропометрии был предложен Р. Watson et al. в 1980 году [1]. Исследование было выполнено на основе литературных данных; из нескольких научных публикаций были взяты индивидуальные значения объема общей воды организма 458 взрослых мужчин и 265 взрослых женщин, полученные методом разведения индикаторов, а также значения их длины тела (ДТ), массы тела (МТ) и возраста. Значения этих параметров были использованы для получения уравнений прогнозирования общего количества воды в организме для взрослого человека любого возраста:

$$TBW = 2,447 \text{ (liters)} - 0,09516 A \text{ (years)} + 0,1074 \text{ height (cm)} + 0,3362 \text{ weight (kg)} - \text{для мужчин} \quad (1),$$

$$TBW = -2,097 \text{ (liters)} + 0,1069 \text{ height (cm)} + 0,2466 \text{ weight (kg)}, - \text{для женщин} \quad (2),$$

где TBW (total body water) – общая вода организма (ОВО), liters – литры, A (years) – возраст (лет), height (cm) – длина тела (см), weight (kg) – масса тела (кг).

Прогнозирование ОВО по формулам (1) и (2) у людей с долей жира в организме, превышающей среднее значение для данного пола на 20% и выше (т.е. >40% от массы тела у мужчин и >53% от массы тела у женщин), дает большие погрешности, т.к. жировая ткань содержит от 10 до 30% воды, и у людей с выраженным ожирением очень большая доля МТ приходится на относительно безводную жировую ткань.

Аппаратный метод определения общей воды организма. При помощи биоимпедансного анализа объем общей воды организма рассчитывают по формулам Kushner & Schoeller (1986), используя значение измеренного резистивного импеданса, т.е. активного сопротивления на частоте

50 Герц (R 50), и индекс импеданса R 50 ($DT^2/R 50$), выражающийся отношением длины тела, возведенной в квадрат, к резистивному импедансу R 50. В исследовании Kushner & Schoeller (1986) [2] ОВО, измеренное с помощью биоэлектрического импедансного анализа (БИА), напрямую сравнивалось с количеством ОВО, оцененным методом разбавления изотопов дейтерия у 58 обследуемых. Авторами было показано, что индекс импеданса $DT^2/R 50$ был наиболее значимой переменной, чем вес, рост и/или возраст, используемой для прогнозирования ОВО, определенной методом разведения (D_2O -TBW). В сочетании со значением МТ были разработаны следующие уравнения прогноза ($R = 0,99$; $SE = 1,75$ л):

$$ОВО, \text{ кг} = 0,3963 \times DT^2/R 50 + 0,143 \times MT + 8,399 - \text{для мужчин старше 18 лет} \quad (3),$$

$$ОВО, \text{ кг} = 0,3821 \times DT^2/R 50 + 0,1052 \times MT + 8,3148 - \text{для женщин старше 18 лет} \quad (4),$$

где ОВО – общая вода организма, $DT^2/R 50$ – индекс импеданса R 50, МТ – масса тела (кг).

Уравнения (3) и (4) работают одинаково хорошо для людей как с нормальной массой тела, так и с ожирением. Уравнения, апробированные на независимой выборке, определяли D_2O -TBW с хорошими коэффициентами корреляции (0,96 и 0,93), общей ошибкой (2,34 и 2,89 л) и небольшой разницей между средним прогнозируемым и измеренным D_2O -TBW ($-1,4 \pm 2,05$ и $-0,48 \pm 2,83$ л).

Аппаратный метод определения внеклеточной воды организма.

Patel et al. в 1994 году изучали сопоставление результатов оценки общей и внеклеточной воды организма (ВнеКВ), полученных методами золотого стандарта (метод разведения индикаторов: однократная пероральная доза смеси оксида дейтерия 10 г и брома 30 ммоль), и одночастотным и многочастотным биоимпедансными анализаторами (БИ-анализаторами) [3]. Исследование проходило на условно здоровых мужчинах (n=8) и женщинах (n=6) – добровольцах в возрасте 25–46 лет. Было показано, что средние оценки многочастотного биоимпеданса (МБИ) и одночастотного биоимпеданса (ОБИ) для ОВО составили 41,2 и 42,1 л соответственно и статистически не отличались от значения 41,2 л, полученного методом разведения оксида дейтерия. Для ВнеКВ средние значения МБИ и ОБИ составили 19,5 и 24,8 л соответственно и значительно отличались от значения 18,8 л ($p=0,013$ и $p=0,001$ соответственно), полученного методом разведения брома. Этим исследованием было показано, что многочастотный БИ-анализатор является более точным и менее предвзятым предиктором содержания ВнеКВ организма.

При помощи биоимпедансного анализа содержание в организме ВнеКВ определяют по формуле Deurenberg et al. (1995), используя значение измеренного активного сопротивления на частоте 5 Герц (R5) и индекс импеданса R5 ($DT^2/R5$), выражающийся отношением длины тела, возведенной в квадрат, к резистивному импедансу R5 [4]. Авторами статьи была изучена взаимосвязь между ОВО и ВнеКВ, измеренными путем разведения оксида дейтерия и бромидом соответственно, а также

импеданса и индекса импеданса ($\Delta T^2/\text{импеданс}$) на частотах 1, 5, 50 и 100 кГц. После поправки на ОВО ВнЕКВ коррелировала только с индексом импеданса на частотах 1 и 5 кГц. После поправки на ВнЕКВ ОВО лучше всего коррелировала с индексом импеданса на частоте 100 кГц. Были разработаны формулы прогнозирования ВнЕКВ (на 1 и 5 кГц) и ОВО (на 50 и 100 кГц). Ошибки прогноза для ВнЕКВ и ОВО составили 1,0 и 1,7 кг соответственно (коэффициент вариации 5%). Применение формул прогнозирования на независимой популяции выявило небольшое завышение ОВО и ВнЕКВ, что в значительной степени можно объяснить различиями в проверочной группе в распределении воды в организме и в телосложении, т. е. составе тела. Формула для прогнозирования количества ВнЕКВ с использованием значения индекса импеданса R 5 следующая:

$$\text{ВнЕКВ} = 0,189 \times \Delta T^2/R5 + 0,0675 \times \text{МТ} - 0,02 \times \text{Возраст (лет)} + 2,53 \quad (5).$$

где ВнЕКВ – внеклеточная вода организма, $\Delta T^2/R5$ – индекс импеданса R 5, МТ – масса тела (кг).

Отношение импеданса на частоте 1 кГц к импедансу на частоте 100 кГц коррелировало с индексом распределения воды в организме, определяемого как отношение внеклеточной воды к общей воде организма (ВнЕКВ/ОВО). Однако эта связь была недостаточно сильна, чтобы ее можно было использовать в качестве оценки в биоимпедансном анализе. Авторами сделан вывод, что независимое прогнозирование показателей ВнЕКВ и ОВО с использованием импеданса на низкой и высокой частотах соответственно возможно, но смещение зависит от распределения воды в организме и от типа телосложения измеряемого субъекта.

Порядок расчета компонентного состава тела и водных секторов организма при измерении с помощью биоимпедансных анализаторов. Далее на примере формул, встроенных в программное обеспечение БИ-анализатора ABC-01 Медасс, показано, как БИ-анализаторы «измеряют» компонентный состав тела и водные сектора организма [5].

Алгоритм «измерения» зависит от возраста и имеет разную последовательность. Так, для взрослых людей старше 18 лет сначала по формулам (Kushner, Schoeller, 1986) [2, 5], используя измеренное значение активного сопротивления R 50, рассчитывается количество ОВО с учетом пола:

$$\text{ОВО, кг} = 0,3963 \times \Delta T^2/R50 + 0,143 \times \text{МТ} + 8,399 - \text{для мужчин старше 18 лет} \quad (3).$$

$$\text{ОВО, кг} = 0,3821 \times \Delta T^2/R50 + 0,1052 \times \text{МТ} + 8,3148 - \text{для женщин старше 18 лет} \quad (4).$$

В норме ОВО составляет около 73 % тощей массы тела (ТМТ); из этого постоянный коэффициент гидратации тощей массы тела (ТМТ) считается равным 0,73 [5]. На основе значений ОВО, с учетом относительного постоянства гидратации ТМТ у взрослых людей, по формуле вычисляют количество ТМТ:

$$\text{ТМТ, кг} = \text{ОВО, кг}/0,732 \quad (6).$$

У детей до 18 лет, напротив, сначала рассчитывают ТМТ по формуле (Houtkooper et al., 1992) [5]:

$$\text{ТМТ} = 0,61 \times \Delta T^2/R50 + 0,25 \times \text{МТ} + 1,31 \quad (7),$$

а затем вычисляют количество ОВО, используя коэффициент гидратации ТМТ:

$$\text{ОВО} = k \times \text{ТМТ} \quad (8),$$

где k – коэффициент гидратации тощей массы тела.

На основе данных о зависимости коэффициента гидратации тощей массы от возраста в работе (Heymisfield et al., 2000) [5] величину k для детей младше 10 лет вычисляют приближенно по формуле:

$$k = 0,758 + (0,732 - 0,758) \times (\text{Возраст} - 5)/5 \quad (9),$$

а в возрасте старше 10 лет считают постоянной, равной 0,732, как и во взрослой популяции.

Далее для обследуемых всех возрастных групп расчет следующий. Жировую массу тела (ЖМТ) вычисляют как разность между массой тела и тощей массой тела:

$$\text{ЖМТ (кг)} = \text{МТ (кг)} - \text{ТМТ (кг)} \quad (10).$$

Активную клеточную массу (АКМ) вычисляют по формуле (Lautz et al., 1992) [5] с использованием значения логарифма фазового угла:

$$\text{АКМ (кг)} = 0,3 \times \text{ТМТ (кг)} \times \ln(\text{ФУ}) \quad (11).$$

Скелетно-мышечную массу (СММ) у детей старше 10 лет и взрослых рассчитывают по формуле (Janssen et al., 2000) [5]:

$$\text{СММ (кг)} = 0,401 \times \Delta T^2/R50 + 3,825 \times \text{Пол} - 0,071 \times \text{Возраст (лет)} + 5,102 \quad (12).$$

У детей младше 10 лет, а также при длине тела не более 140 см к указанной формуле применяются поправки, реализованные в программном обеспечении анализатора ABC-01 Медасс [5].

Содержание в организме внеклеточной воды рассчитывают по формуле (Deurenberg et al., 1995) [4, 5]:

$$\text{ВнЕКВ} = 0,189 \times \Delta T^2/R50 + 0,0675 \times \text{МТ} - 0,02 \times \text{Возраст (лет)} + 2,53 \quad (5).$$

Содержание в организме внутриклеточной воды (ВнукВ) рассчитывают как разность между ОВО и ВнЕКВ:

$$\text{ВнукВ} = \text{ОВО} - \text{ВнЕКВ} \quad (13).$$

Величину основного обмена (ВОО) рассчитывают по формуле, реализованной в программном обеспечении анализатора ABC-01 Медасс (Хрущёва и соавт., 2009), с использованием значения АКМ:

$$\text{ВОО, ккал/сут} = 31,6 \times \text{АКМ, кг} + 615,7 \quad (14).$$

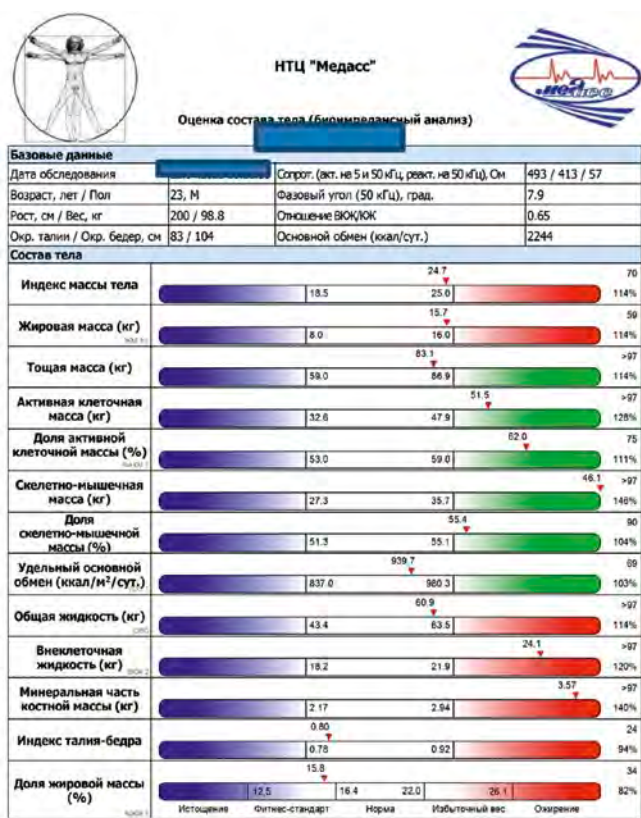
Цель работы – определить, в чем состоит разница оценки водных секторов и статуса гидратации организма с помощью биоимпедансных анализаторов различных модификаций и фирм-производителей.

Результаты и обсуждение

Оценка распределения воды в организме и статуса гидратации с помощью индексов (коэффициентов) методом биоимпедансометрии

С 2006 года для оценки компонентного состава тела сотрудниками лаборатории антропонутириологии и спортивного питания (ФГБУН ФИЦ питания и биотехнологии, Москва) используется биоимпедансный анализатор состава тела и водных секторов организма ABC-01 Медасс (ООО НТЦ «Медасс», Россия). В 2021 году для изучения показателей состава тела в режиме тестирования в лабораторию был поставлен БИ-анализатор ACCUNIQ BC 310 (SELVAS Healthcare Inc., Daejeon, Южная Корея). После одного из обследований студенческой баскетбольной команды [6] при выгрузке данных и расшифровке протоколов оценки состава тела, полученных на ACCUNIQ BC 310, а также при сравнении данных с результатами протоколов ABC-01 Медасс внимание привлекла шкала оценки одного из показателей, а именно «ECW ratio» (Extra cellular water ratio), т.е. отношения объема внеклеточной воды к объему общей воды, используемого для оценки распределения воды в организме. Данная шкала представлена на рис. 1.2 (в составе общего протокола) и 2.6 (фрагмент протокола крупно) и визуальна раскрашена так, что при расшифровке можно говорить либо о наличии выраженного отека, либо о неправильной цветовой раскраске шкалы, т.е. неправильной визуализации шкалы, которая может приводить к ошибкам трактовки результатов измерения.

В соответствии с рис. 1.2 значение коэффициента ВнЕКВ/ОВО из протокола AccunIQ BC 310 равно 0,399



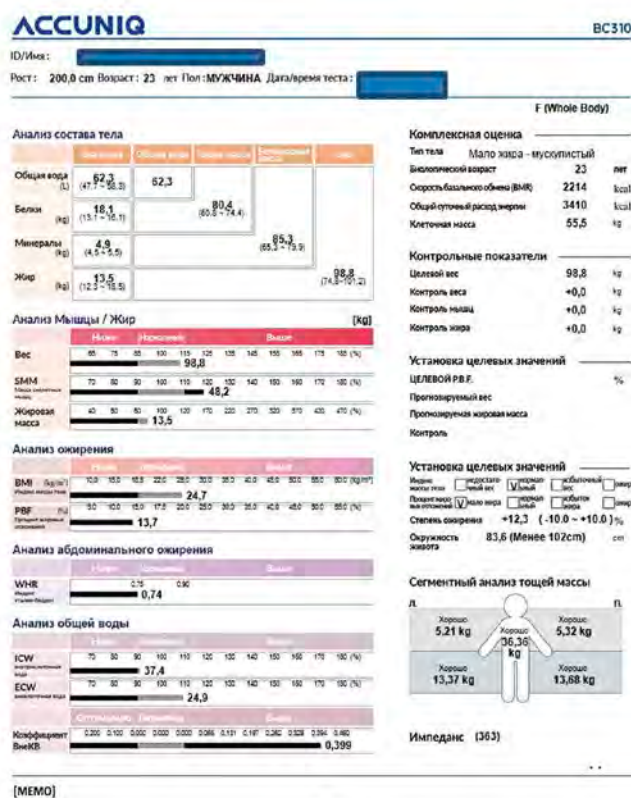
1.1

Рисунок 1. Результатирующие протоколы обследования одного спортсмена с помощью двух БИ-анализаторов: ABC-01 Медасс (1.1) и ACCUNIQ BC 310 (1.2)

и имеет трактовку «Выше», а в соответствии с табл. 2 – трактовку «Норма». Несмотря на то что шкала имеет некорректную цветовую раскраску, трактовку и некорректный числовой диапазон, расчет коэффициента произведен правильно. При рассмотрении протоколов всех баскетболистов [6] значения коэффициента ВнЕКВ/ОВО находились в границах «Выше» по протоколам и в границах «Норма» – по табл. 2.

Результатирующие протоколы обследования одного из спортсменов с помощью двух БИ-анализаторов (ABC-01 Медасс и ACCUNIQ BC 310) представлены на рис. 1.1 и 1.2; основные результаты измерения состава тела и водных секторов организма этого же спортсмена представлены в табл. 1.

Как уже было показано ранее, разница в результатах измерения данными анализаторами – закономерное биомедицинское явление, связанное с разным положением тела измеряемого и, соответственно, с разным распределением воды организма, разными результатами биоимпедансных оценок активного и реактивного сопротивления и, как следствие, разными результатами оценки как лабильных компонентов массы тела, так и показателей водных секторов организма [6]. Зависимость, связанная с разным положением тела, как уже отмечалось при обследовании на мужской спортивной группе, следующая: при измерении испытуемого в положении стоя показатели сопротивления уменьшаются, а значит, увеличиваются показатели оценки водных секторов и мышечного компонента и снижаются значения жировой массы тела, что также соответствует разнице результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 1.1 и 1.2.



1.2

Таблица 1

Основные результаты измерения состава тела и водных секторов организма одного спортсмена, полученные с помощью 2 БИ-анализаторов – ABC-01 Медасс и ACCUNIQ BC 310

БИ-анализатор	ЖМТ (кг)	ЖМТ (%)	СММ (кг)	ОВО (кг)	ВнукВ (кг)	ВнекВ (кг)	ВнекВ/ОВО	ВнекВ/ВнукВ
ABC-01 Медасс	15,7	15,8	46,1	60,9	36,8	24,1	0,396	0,650
Accuniq BC310	13,5 (↓)	13,7 (↓)	48,2 (↑)	62,3 (↑)	37,4 (↑)	24,9 (↑)	0,399	0,666

Примечание: стрелками обозначены повышенные (↑) или пониженные (↓) значения Accuniq BC310 по сравнению с ABC-01 Медасс.

Как известно, абсолютное количество ОВО, ВнекВ и ВнукВ напрямую зависит от габаритных размеров и компонентного состава тела [6, 7], и для оценки статуса гидратации организма используют коэффициенты распределения воды в организме (коэффициенты внеклеточной воды), рассчитываемые как отношение количества внеклеточной воды организма к общей воде (ВнекВ/ОВО) или к внутриклеточной воде (ВнекВ/ВнукВ).

На рис. 2 представлены фрагменты протоколов измерения состава тела с помощью БИ-анализаторов InBody 770 [8] (2.1), Inbody 720 [9] (2.2), Tanita MC-980 [10] (2.3), Tanita MC-780 [11] (2.4), Accuniq BC 720 [12] (2.5), Accuniq BC 310 [13] (2.6) и ABC-01 Медасс [5] (2.7), отражающие шкалы оценки индекса распределения воды в организме ВнекВ/ОВО или ВнекВ/ВнукВ (в зависимости от настроек анализатора). Видно, что шкала InBody 770 и Accuniq BC 720 имеют как цифровое значение индекса, так и границы значений. Для анализатора InBody 770 границы обозначены как недостаточное (до 0,359, состояние дегидратации), нормальное (0,360–0,389, нормальный статус гидратации) и избыточное значение (0,390 и выше). При этом в инструкции к анализаторам InBody S10 есть также градация, разделяющая избыточные значения на состояние умеренного отека (0,390–0,399) и состояние выраженного отека (выше 0,400), хотя шкала на протоколе InBody S10 выглядит идентично шкале InBody 770. Нормативные значения не зависят от пола и возраста и предназначены для оценки взрослого контингента, являющегося представителями среднестатистической популяции, но не для детской популяции и не для спортивного контингента.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации биоимпедансного анализатора Inbody 720 [9] отчетность

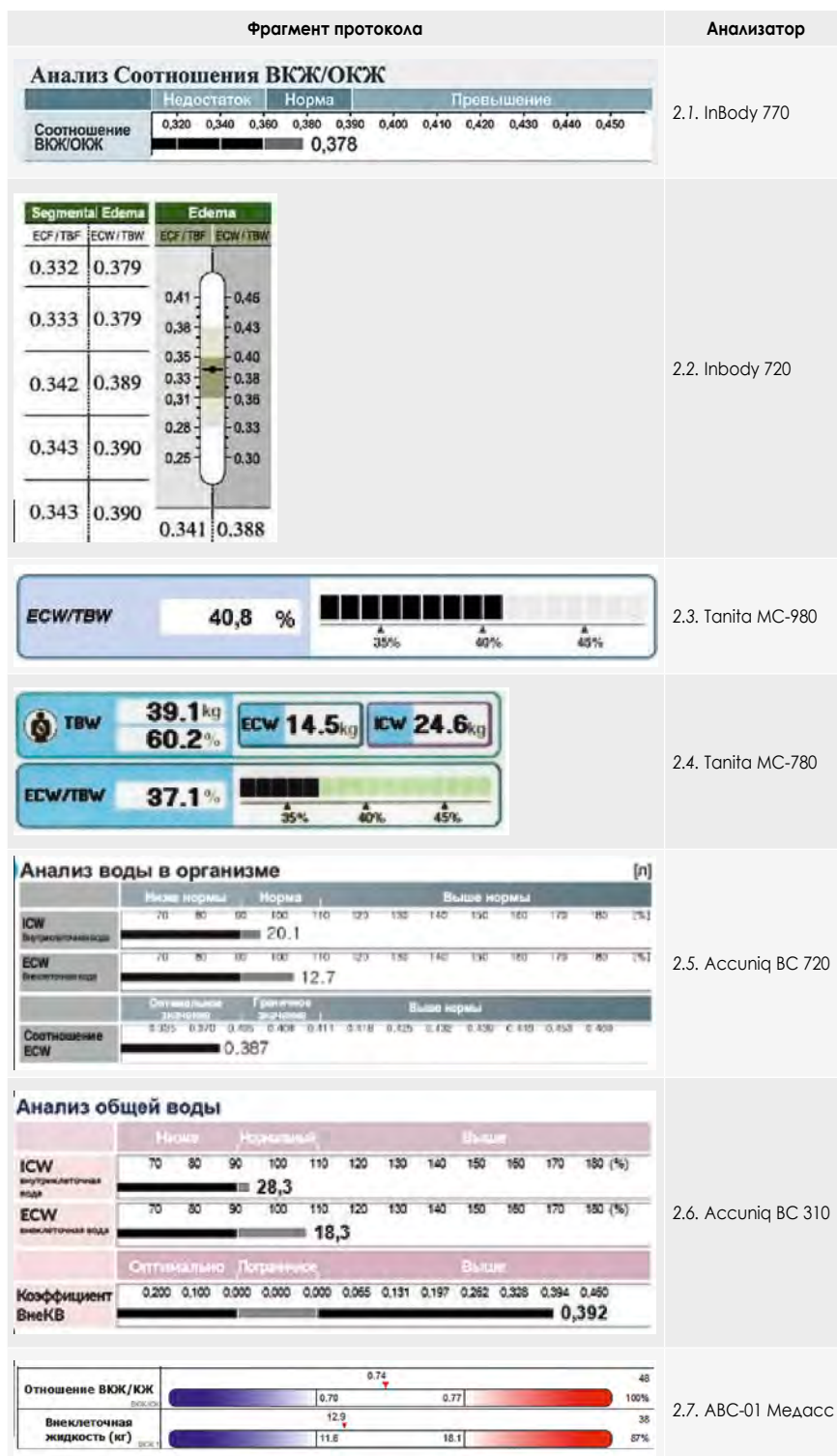


Рисунок 2. Фрагменты протоколов измерения состава тела с помощью различных БИ-анализаторов, отражающие шкалы оценки индекса распределения воды в организме ВнекВ/ОВО или ВнекВ/ВнукВ (в зависимости от настроек анализатора)

Таблица 2
Границы значений индекса ВнecB/OBO, используемые для интерпретации данных в протоколах оценки состава тела анализаторами ACCUNIQ [13]

Возраст обследуемых, лет	Словесная расшифровка индекса ВнecB/OBO, используемая в анализаторах ACCUNIQ		
	Норма	Граничное (слабый отек)	Чрезмерное (отек)
Мужчины			
Моложе 20 лет	<0,400	0,401–0,408	>0,409
21–30	<0,402	0,403–0,409	>0,410
31–40	<0,404	0,405–0,411	>0,412
41–50	<0,406	0,407–0,413	>0,414
51–60	<0,408	0,409–0,416	>0,417
61–70	<0,410	0,411–0,418	>0,419
71–80	<0,413	0,414–0,422	>0,423
Старше 81 года	<0,416	0,417–0,424	>0,425
Женщины			
Моложе 20 лет	<0,400	0,401–0,408	>0,409
21–30	<0,403	0,404–0,410	>0,411
31–40	<0,405	0,406–0,412	>0,413
41–50	<0,407	0,408–0,414	>0,415
51–60	<0,410	0,411–0,418	>0,419
61–70	<0,413	0,414–0,422	>0,423
71–80	<0,416	0,417–0,424	>0,425
Старше 81 года	<0,418	0,419–0,426	>0,427

означает избыточное накопление серозной жидкости в тканевых пространствах, результатом которого являются отеки. График на *рис. 2.2* показывает отношение внеклеточной воды организма к общей воде организма (ECW/TBW; ВнecB/OBO) и отношение внеклеточной жидкости ко всей жидкости в организме (ECF/TBF; ВнecЖ/ОЖО). Нормальный уровень показателей ВнecB/OBO колеблется в пределах 0,360–0,390; ВнecЖ/ОЖО – в пределах 0,310–0,340. Такой уровень поддерживается в здоровом организме. Обычно при увеличении объема внеклеточной воды увеличивается показатель отечности. При старении и недоедании мышечные клетки «морщатся» и пустоты между морщинками заполняются водой. Как результат показатель внеклеточной воды возрастает. Inbody 720 показывает как сегментарный (на *рис. 2.2 слева*), так и общий (на *рис. 2.2 справа*) показатель отечности.

В анализаторах Tanita MC-980 и Tanita MC-780 (*рис. 2.3, 2.4*) показатели внеклеточной (ВнecB, ECW, extra cellular water), внутриклеточной (ВнecK, ICW, intra cellular water) воды, а также индекс ВнecB/OBO (ECW/TBW, ECW ratio) определяются для возраста 18–99 лет обоего пола. В инструкции производителя к приборам [10, 11] не указаны нормативные границы индекса ВнecB/OBO. Индекс представлен значением отношения внеклеточной воды к общей воде организма, умноженным на 100, и представляет вид двузначного числа и одного десятичного знака после запятой, что является отличием от других БИ-анализаторов, где значение индекса представлено отношением внеклеточной воды к общей воде организма и имеет значение всегда ниже

единицы, т. е. ноль целых и 3 тысячных знака после запятой. Сама шкала имеет три отметки: 35, 40 и 45 %, без указания нижних/нормальных/верхних (превышающих) границ индекса, а также не имеет словесной расшифровки полученного значения, что не дает представления об оценке статуса гидратации обследуемого.

Нормативные значения, используемые в БИ-анализаторах AccunIQ, зависят от пола и возраста (*рис. 3.1, 3.2*), представлены в инструкциях пользователя [13] и имеют значения, представленные в *табл. 2*.

В БИ-анализаторе российского производства ABC-01 Медасс также есть возможность оценки статуса гидратации с помощью двух индексов – ВнecB/OBO и ВнecB/ВнecK. В соответствии с данными скринингового обследования населения Российской Федерации [5], которые легли в основу нормативов для оценки уровня физического развития с помощью БИ-анализатора ABC-01, индексы имеют возрастные границы норм и определены для контингента от 5 до 85 лет, а также зависят от пола.

В связи с тем, что существуют различные границы нормативных значений, а также различная тенденция изменения значений с увеличением возраста обследуемых для индекса ВнecB/OBO (или ВнecB/ВнecK) при измерении анализаторами трех фирм производителей (InBody, AccunIQ и ABC-01 Медасс), было принято решение изучить литературу, имеющуюся в открытом доступе, касающуюся нормативных значений индексов ВнecB/OBO и ВнecB/ВнecK, разработанных для различных анализаторов с использованием данных различных популяционных групп.

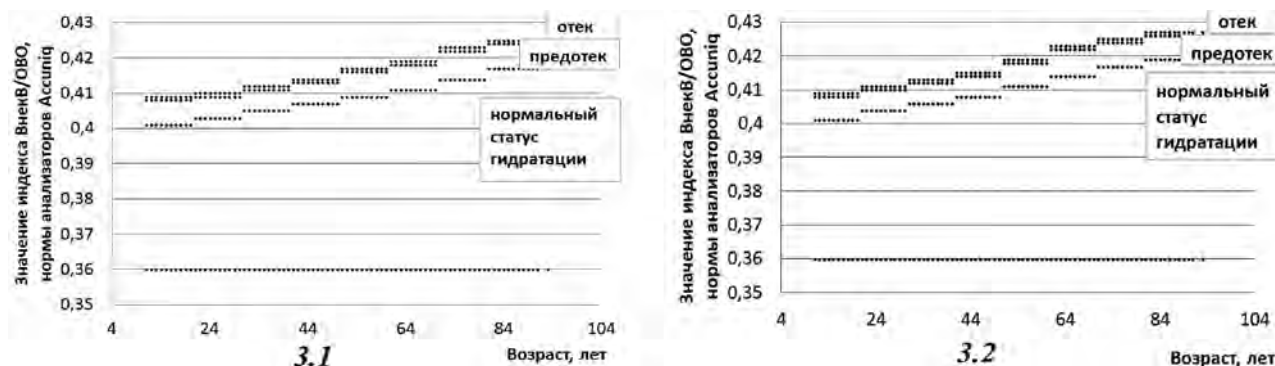


Рисунок 3. Тенденции изменения значений индекса ВнecB/OBO в зависимости от увеличения возраста обследованных и их пола в соответствии с нормативами анализаторов ACCUNIQ

Возрастные изменения индексов ВнЕКВ/ОВО и ВнЕКВ/ВнЕКВ. В статье Lopot с соавт. (2002) [14] рассматривается метод количественного определения оптимального сухого веса у диализных пациентов на основе соотношения ВнЕКВ/ОВО и его связи с возрастом. В попытке найти подходящий маркер статуса гидратации человека на основе данных биоимпеданса была обнаружена значительная корреляция между соотношением ВнЕКВ/ОВО и возрастом у здоровых людей. Авторы пишут, что если предположить, что вся избыточная жидкость у диализных пациентов находится исключительно в межклеточном пространстве, т.е. во внеклеточной жидкости, и что распределение их общей воды в состоянии оптимального сухого веса соответствует распределению здорового человека того же возраста, то соотношение ВнЕКВ/ОВО до диализа можно использовать для количественного определения оптимального сухого веса и/или ультрафильтрации для достижения этого веса. Практическое измерение биоимпеданса для оценки соотношения ВнЕКВ/ОВО в группе диализных пациентов, как до, так и после диализа, подтвердило почти исключительно внеклеточное происхождение ультрафильтрации, а также нормализацию соотношения ВнЕКВ/ОВО к концу диализа.

В зарубежной литературе последних 20 лет были обнаружены данные, указывающие на увеличение значения ВнЕКВ/ОВО с увеличением возраста. Так, Patel R. V. с соавт. (1994) и Lopot с соавт. (2002) указывают [3, 14] на возможность существования этнической, гендерной и возрастной «специфичности» эталонного значения индекса ВнЕКВ/ОВО в сравнении с возрастными характеристиками здоровья, а также на возможную

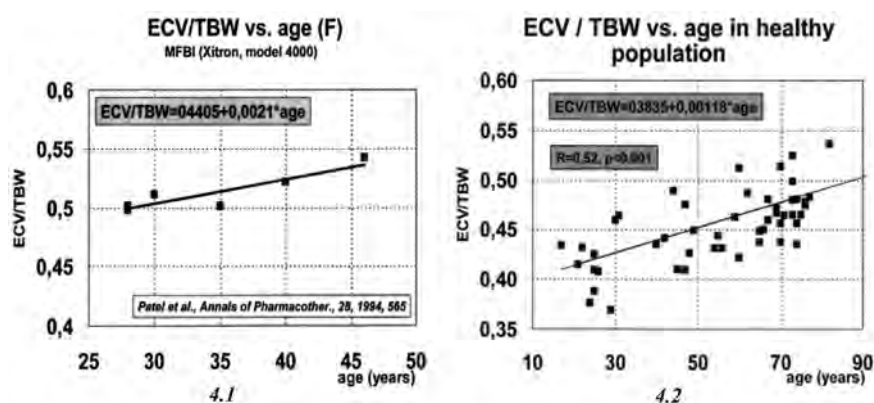


Рисунок 4. Соотношение значений коэффициента ВнЕКВ/ОВО и возраста, полученных Patel R.V. с соавт. (1994) для женщин (4.1) [3] и Lopot F. с соавт. (2002) для здорового населения обоего пола (4.2) [14]

разницу в «биологическом» и «физическом» возрасте диализного пациента и др. Было показано, что прослеживается явное несоответствие полученных оценок индекса ВнЕКВ/ОВО для одной и той же возрастной группы, однако наблюдается тенденция повышения значений данного индекса (соотношения) с возрастом (рис. 4.1 и 4.2).

Ohashi Y. с соавт. (2018) провели оценку изменения баланса объема воды в выборке 1992 взрослых японцев – посетителей фитнес-зала в возрасте 15–88 лет (мужчины: n=753, возраст $51,2 \pm 15,2$ года, ИМТ – $23,4 \pm 3,3$ кг/кв. м; и женщины: n=1239, возраст $57,4 \pm 15,2$ года, ИМТ – $21,1 \pm 2,8$ кг/кв. м) [15]. Общий объем воды у мужчин и женщин составлял $39,6 \pm 4,9$ и $27,7 \pm 3,0$ л, тогда как доля ЖМТ в МТ составила 19 и 26% соответственно. Было показано, что баланс объема воды между ВнЕКВ и ВнЕКВ постепенно меняется с возрастом. Соотношение ВнЕКВ/ВнЕКВ увеличивалось с возрастом из-за более резкого снижения содержания ВнЕКВ, чем содержания ВнЕКВ, особенно после 70 лет (рис. 5), как у женщин (рис. 5.1), так и у мужчин (рис. 5.2). Такой дисбаланс воды между содержанием ВнЕКВ и ВнЕКВ обусловлен уменьшением объема клеток, связанным со старением и истощением мышц.

На рис. 6 приведены границы значений индекса гидратации ВнЕКВ/ВнЕКВ условно здоровых женщин (6.1) и мужчин (6.2) – представителей японской популяции, по данным Ohashi Y. с соавт. (2018) [11].

Популяционные значения индексов ВнЕКВ/ОВО и ВнЕКВ/ВнЕКВ, согласно данным результатов обследования населения Российской Федерации, представлены на рис. 7 и 8. Обращает на себя внимание возрастная динамика, а именно снижение значений обоих показателей с возрастом. Скорее всего, т.к. данная динамика пока не описана разработчиками БИ-анализатора и программного обеспечения (ПО), а также нет опубликованных данных как по соотношению двух индексов, так и по относительному содержанию общей, внеклеточной и внутриклеточной воды, в случае с данными, полученными на российской популяции, следует говорить об особенностях статуса гидратации населения Российской Федерации.

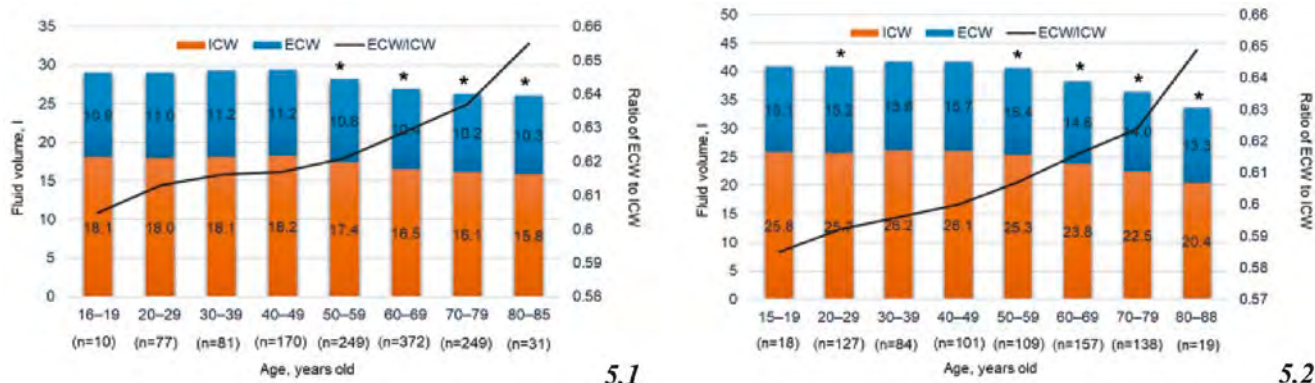


Рисунок 5. Изменение объемов внеклеточной и внутриклеточной воды, а также значений индекса гидратации ВнЕКВ/ВнЕКВ, у представителей японской популяции условно здоровых женщин (5.1) и мужчин (5.2), по данным Ohashi Y. с соавт. (2018) [15] (* – p < 0,05 по сравнению с общим количеством воды в организме, включая внутриклеточную воду и внеклеточную воду в возрастной группе от 40 до 49 лет)

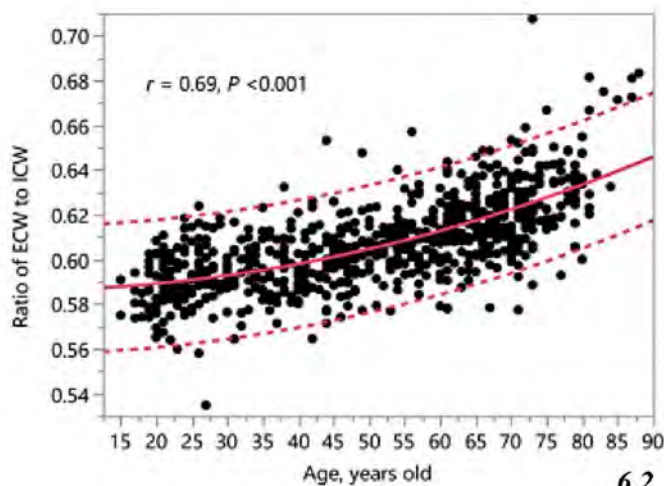
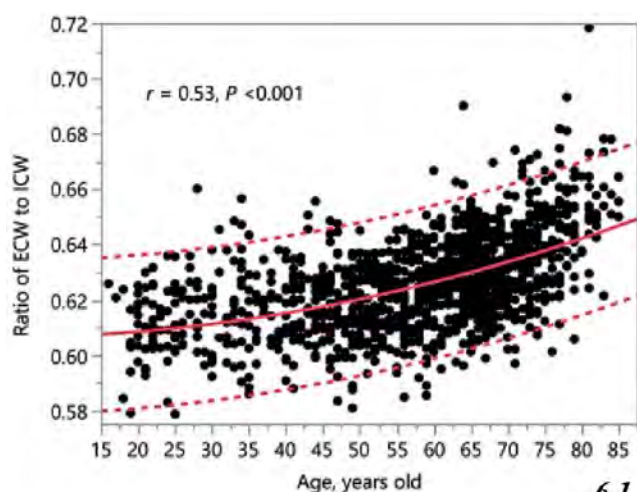


Рисунок 6. Влияние возраста на баланс объема внутри- и внеклеточной воды у женщин (6.1) и мужчин (6.2), по данным Ohashi Y. с соавт. (2018) [15]. Среднее (сплошная линия), 5-й и 95-й проценти (пунктирная линия) для соотношения ВнЕК/ВнукВ по возрасту

Возрастные изменения значений обоих индексов в соответствии с границами ABC-01 Медасс отличаются от таковых, опубликованных в иностранной научной литературе [3, 14, 15].

В данной работе значения общей, внеклеточной и внутриклеточной воды, представленные в [5], а также результаты расчета двух индексов были представлены графически, наподобие как в статье Ohashi Y. с соавт. (2018) [15], чтобы визуальнo и в цифровом исполнении сравнить две популяции. Для построения графиков взяты медианные значения внеклеточной и внутриклеточной

воды для возрастов 17, 25, 35, 45, 55, 65, 75 и 83 года представителей обоего пола, наподобие возрастных интервалов из вышеуказанной статьи.

В связи с тем, что значения индексов оценки гидратационного статуса организма разработчиками ПО для БИ-анализатора ABC-01 Медасс не были опубликованы, а расчет с использованием групповых медианных значений ВнЕКВ и ВнукВ, опубликованных в [5], не является правомерным, определение цифровых значений было проведено вручную. Для этого использовали экспортированные

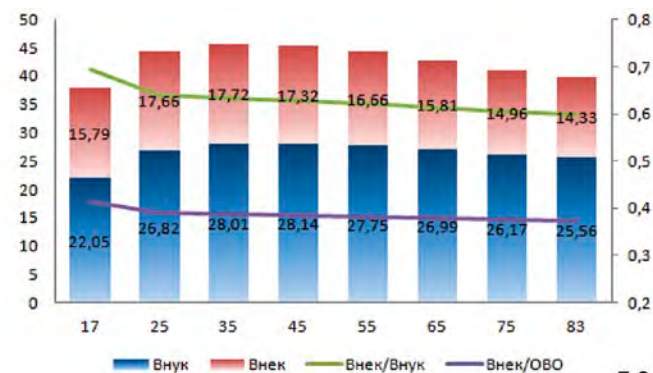
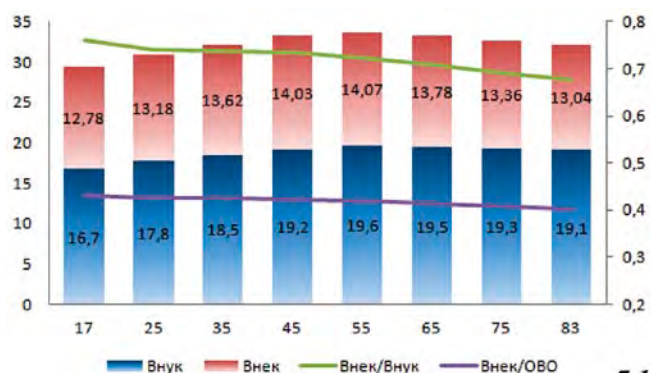


Рисунок 7. Изменение объемов внеклеточной и внутриклеточной воды, а также значений индексов гидратации ВнЕКВ/ВнукВ и ВнЕКВ/ОВО у представителей российской популяции условно здоровых женщин (7.1) и мужчин (7.2) по данным [5] (значения индексов ВнЕКВ/ВнукВ и ВнЕКВ/ОВО определены методом графического подбора с центильных картин для женщин (рис. 8.1, 9.1) и мужчин (рис. 8.2, 9.2))

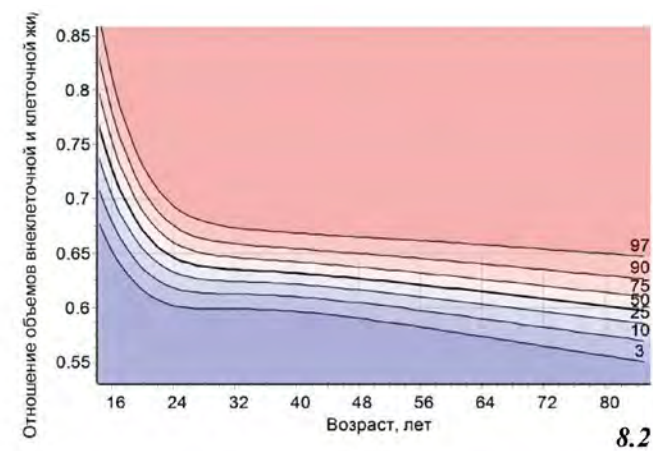
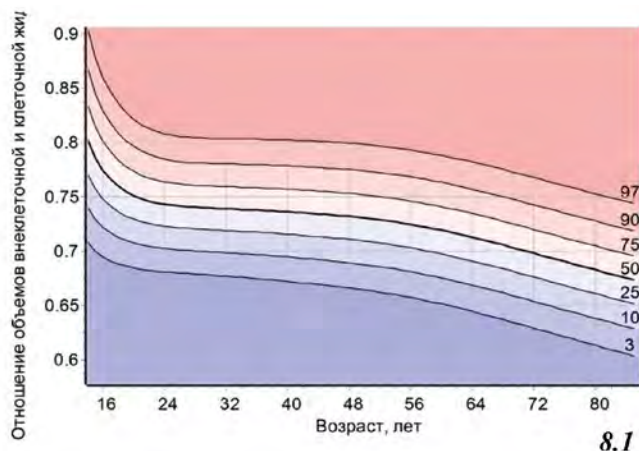


Рисунок 8. Центильные картины возрастных изменений баланса объема внутри- и внеклеточной воды у женщин (8.1) и мужчин (8.2) по данным [5], оцененные с помощью индекса ВнЕКВ/ВнукВ на центильной картине, экспортированной из БИ-анализатора ABC-01 Медасс

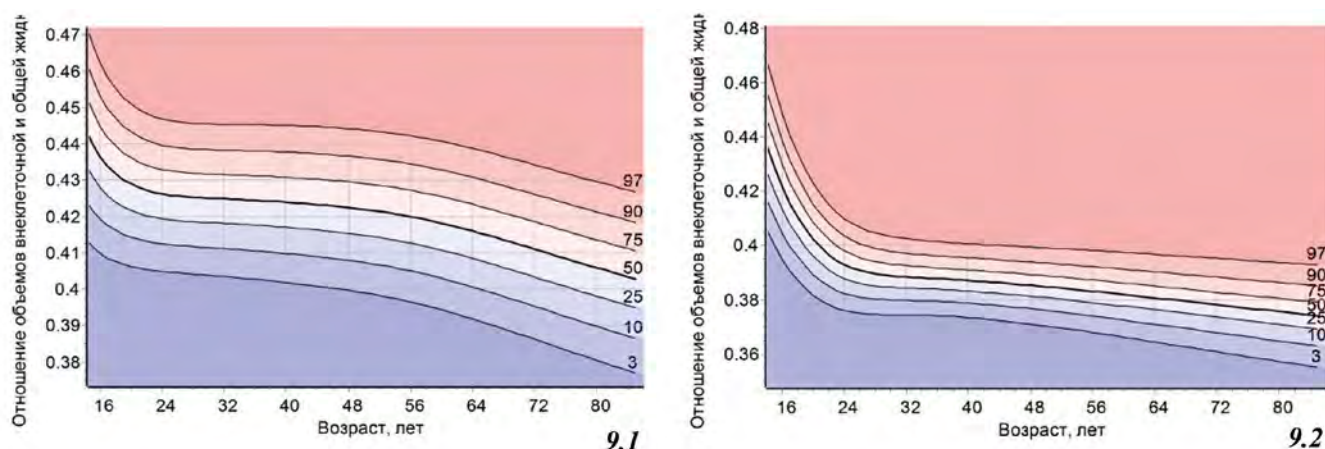


Рисунок 9. Центильные картины возрастных изменений баланса объема внутри- и внеклеточной воды у женщин (9.1) и мужчин (9.2) по данным [5], оцененные с помощью индекса ВнэкВ/ОВО на центильной картине, экспортированной из БИ-анализатора ABC-01 Медасс

из БИ-анализатора ABC-01 Медасс центильные картины для мужской и женской популяций, показывающие центильное распределение по годам значений двух индексов (рис. 8.1, 8.2, 9.1, 9.2). Для возрастов 17, 25, 35, 45, 55, 65, 75 и 83 года были проведены параллельные оси X (возраст, лет) – линии на уровне кривых 3-го, 50-го и 97-го центилей, указывающие значения индексов на оси Y. Определить значения на оси Y явилось возможным до сотых, однако следует учитывать, что это неточные значения, которые были использованы разработчиками ПО для построения центильной картины в оригинале. Определенные вручную значения индексов на уровне 50-го центиля были использованы для построения линейных графиков ВнэкВ/ВнукВ и ВнэкВ/ОВО на рис. 7.1 и 7.2.

Следует отметить, что у мужчин и женщин российской популяционной группы (рис. 7.1 и 7.2) абсолютные показатели общей, внеклеточной и внутриклеточной воды больше, чем

у представителей группы японцев (рис. 5.1 и 5.2), что говорит о различиях и несопоставимости габаритных размеров и компонентного размера тела двух сравниваемых групп – российская популяция массивнее и рослее, чем японская.

На рис. 8 и 9 представлены центильные картины распределения показателей индексов ВнэкВ/ВнукВ и ВнэкВ/ОВО в российской популяции в зависимости от возраста и пола.

В табл. 3 представлены значения индексов, на которые следует ориентироваться при оценке индивидов, принадлежащих к двум различным популяциям – российской и японской, измеренных на двух различных приборах. Значения ВнэкВ/ВнукВ и ВнэкВ/ОВО (3, 50 и 97 ц.и.) для российской популяции были определены методом графического подбора с центильных картин для женщин (рис. 8.1, 9.1) и мужчин (рис. 8.2, 9.2). Значения ВнэкВ/ОВО (50-й центиль) были рассчитаны как соотношение двух показателей воды, представленных в оригинальной статье Ohashi Y. с соавт. (2018);

Таблица 3
Ориентировочные значения индексов оценки гидратационного статуса для женщин и мужчин российской популяции, измеренных на БИ-анализаторе Медасс, и японской популяции, измеренных на анализаторе InBody

	ВнэкВ/ОВО				ВнэкВ/ВнукВ			
	Российская популяция (графический подбор по центильным картинам) [5]			Японская популяция [15]	Российская популяция (графический подбор по центильным картинам) [5]			Японская популяция [15]
	3 ц.и.	50 ц.и.	97 ц.и.	50 ц.и.	3 ц.и.	50 ц.и.	97 ц.и.	50 ц.и.
Женщины								
16–19 лет	0,408	0,433	0,457	0,376	0,690	0,765	0,850	0,608
20–29 лет	0,405	0,426	0,447	0,379	0,680	0,743	0,815	0,609
30–39 лет	0,403	0,424	0,445	0,382	0,675	0,738	0,810	0,613
40–49 лет	0,400	0,423	0,444	0,380	0,670	0,733	0,800	0,618
50–59 лет	0,396	0,421	0,442	0,383	0,660	0,725	0,790	0,623
60–69 лет	0,391	0,415	0,438	0,387	0,640	0,715	0,780	0,630
70–79 лет	0,384	0,409	0,432	0,388	0,635	0,690	0,765	0,637
80–85 лет	0,378	0,403	0,428	0,395	0,615	0,675	0,745	0,644
Мужчины								
16–19 лет	0,391	0,415	0,440	0,369	0,640	0,708	0,790	0,589
20–29 лет	0,376	0,392	0,408	0,372	0,600	0,644	0,690	0,591
30–39 лет	0,374	0,388	0,402	0,373	0,595	0,633	0,670	0,595
40–49 лет	0,372	0,386	0,400	0,376	0,590	0,628	0,665	0,601
50–59 лет	0,368	0,383	0,399	0,379	0,580	0,623	0,660	0,608
60–69 лет	0,363	0,380	0,397	0,380	0,570	0,618	0,655	0,617
70–79 лет	0,360	0,378	0,395	0,384	0,565	0,609	0,653	0,626
80–85 лет	0,357	0,377	0,393	0,395	0,555	0,600	0,648	0,636

Примечание: выборка российской популяции (общероссийская выборка по данным Центров здоровья) – 2092 695 чел. [5], выборка японской популяции – 1992 чел. [15].

значения ВнecB/ВнукB (50-й центиль) были позаимствованы из этой же статьи; со значениями ВнecB/ВнукB 5-го и 95-го центилей можно ознакомиться в ней же [15].

В соответствии с данными из табл. 3 можно наблюдать следующую зависимость изменений значений индексов от возраста: прямая в японской популяции и обратная – в российской, т.е. чем старше человек, тем выше значения индексов у японцев и ниже у россиян. Также показано, что индексы имеют половые различия – у мужчин значения индексов ниже, чем у женщин того же возраста, как в японской популяции, так и в российской.

Также в соответствии с табл. 2, отражающей границы значений индекса ВнecB/OBO, используемых для интерпретации данных в протоколах оценки состава тела анализаторами ACCUNIQ, можно говорить о прямой зависимости нормативных значений индекса ВнecB/OBO от возраста обследуемых – чем старше человек, тем выше значения индекса при измерении. Однако, несмотря на однонаправленные тенденции значений индексов при измерении анализаторами InBody и AccunIQ, можно отметить, что границы нормальных значений индекса в анализаторе AccunIQ выше, что нужно иметь в виду при оценке распределения воды в организме с помощью трех БИ-анализаторов – InBody, AccunIQ и ABC-01 Медасс.

Заключение

На настоящий момент нет точного понимания, почему есть разночтения в нормативах и возрастных тенденциях изменения значений индексов, но можно предположить два варианта:

1. Различия в нормативах связаны со встроенными формулами и разным положением тела при измерении и зависят от того, на каком анализаторе проводится измерение; при этом независимо от того, к какой популяционной группе принадлежит измеряемый, различия будут только в цифровых значениях индекса, а в интерпретации результатов различий не будет.
2. Различия в нормативах связаны с особенностями статуса гидратации тех популяционных групп, на которых изначально были разработаны границы норм индексов, и в зависимости от того, какой анализатор будет применяться для обследования, будут различаться как цифровые значения, так и оценочные заключения.

Предположительно, взрослая условно здоровая российская популяция, измеренная на приборах InBody и AccunIQ, будет иметь значения индексов гидратации и их расшифровку схожие с японской популяцией при измерении на этих приборах в положении стоя. В связи с этим областью перспективных исследований будет являться

обследование группы людей одновременно на трех анализаторах для сравнения как первичных значений водных секторов, так и значений индекса ВнecB/OBO и его словесной оценки.

Список литературы / References

1. Watson PE, Watson ID, Batt RD. Total body water volumes for adult males and females estimated from simple anthropometric measurements. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1980; 33 (1): 27–39. <https://doi.org/10.1093/ajcn/33.1.27>
2. Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1986; 44 (3): 417–424. <https://doi.org/10.1093/ajcn/44.3.417>
3. Patel RV, Matthie JR, Withers PO, Peterson EL, Zarowitz BJ. Estimation of Total Body and Extracellular Water Using Single- and Multiple-Frequency Bioimpedance. *Annals of Pharmacotherapy*. 1994; 28 (5): 565–569. <https://doi.org/10.1177/106002809402800501>
4. Deurenberg P, Tagliabue A, Schouten FJM. Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *British Journal of Nutrition*. 1995; 73 (03): 349. <https://doi.org/10.1079/bjn19950038>
5. Руднев С.Г., Соболева Н.П., Стерликов С.А., Николаев Д.В., Старунова О.А., Черных С.П., Ерюкова Т.А., Колесников В.А., Мельниченко О.А., Пономарева Е.Г. Биоимпедансное исследование состава тела населения России. Москва: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. 493 с. Rudnev S.G., Soboleva N.P., Sterlikov S.A., Nikolaev D.V., Starunova O.A., Chernykh S.P., Eryukova T.A., Kolesnikov V.A., Melnichenko O.A., Ponomareva E.G. Bioimpedance study of body composition of the Russian population. M.: RIO TsNIOIZ, 2014. 493 p. (In Russ.).
6. Выборная К.В., Семенов М.М., Раджаббадиев Р.М., Крикун Е.Н., Ключкова С.В., Никитюк Д.Б. Оценка состава тела баскетболистов методами антропометрии и биоимпедансометрии – сравнение результатов расчетной и двух аппаратных методик. Медицинский алфавит. 2023. № 29. С. 33–40. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-29-33-40>
7. Выборная К.В., Семенов М.М., Раджаббадиев Р.М., Никитюк Д.Б. Морфологические показатели боксеров высокого класса, рекомендуемые как ориентир в процессе восстановления после травм или при предсоревновательной коррекции массы тела. Вестник спортивной науки. 2023. № 2. С. 35–42. Vybornaya K.V., Semenov M.M., Radzhabkadiyev R.M., Nikityuk D.B. Morphological indicators of high-class boxers, recommended as a guide in the process of recovery from injuries or during pre-competition correction of body weight. *Bulletin of sports science*. 2023; 2: 35–42. (In Russ.).
8. Таблица результатов аппарата InBody 770. Инструкция по эксплуатации. <https://inbody.ru.ru/catalog/analizatory/inbody770/>; <https://inbody.ru.ru/technology/interpretatsiya-rezultatov/>
9. Инструкция по эксплуатации биоимпедансного анализатора InBody 720 <https://www.mirvesov.ru/soft/inbody.pdf>
10. Инструкция по эксплуатации биоимпедансного анализатора Tanita MC-980 <https://www.mirvesov.ru/docs/guide/10595.pdf>
11. Инструкция по эксплуатации биоимпедансного анализатора Tanita MC-780 <https://www.tehnomed.ru/upload/iblock/c99/c99f5fdb3076807fe5307b84a6292697.pdf>
12. Инструкция по эксплуатации биоимпедансного анализатора AccunIQ BC 720 <https://salusmed.spb.ru/%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80-%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%B0-%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B0-%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D0%B0-accunIQ-bc720>
13. Инструкция по эксплуатации биоимпедансного анализатора AccunIQ BC 310 https://accunIQ.pl/wp-content/uploads/2022/06/ACCUNIQ-BC-310_User-Manual-English-V3.02_202106.pdf
14. Lopot F, Nejedlý B, Novotná H, Macková M, & Sulková S. Age-Related Extracellular to Total Body Water Volume Ratio (ECV/TBW) – Can it be Used for “Dry Weight” Determination in Dialysis Patients? Application of Multifrequency Bioimpedance Measurement. *The International Journal of Artificial Organs*. 2002; 25 (8): 762–769. <https://doi.org/10.1177/039139880202500803>
15. Ohashi Y, Jaki N, Yamazaki K, Kawamura T, Tai R, Oguchi H, Yuasa R, Sakai K. Changes in the fluid volume balance between intra- and extracellular water in a sample of Japanese adults aged 15–88 yr old: a cross-sectional study. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*. 2018; 314 (4): F614–F622. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00477.2017>

Статья поступила / Received 06.06.24

Получена после рецензирования / Revised 22.06.24

Принята в печать / Accepted 28.06.24

Сведения об авторе

Выборная Ксения Валерьевна, научный сотрудник лаборатории антропонутициологии и спортивного питания. eLibrary SPIN: 7063–9692. ORCID: 0000-0002-4010-6315

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии», Москва, Россия

Для переписки: Выборная Ксения Валерьевна. E-mail: dombim@mail.ru

Для цитирования: Выборная К.В. Особенности оценки водных секторов и статуса гидратации организма с помощью биоимпедансных анализаторов состава тела. Медицинский алфавит. 2024; (16): 73–82. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-16-73-82>

About author

Vybornaya Kseniya V., Researcher Laboratory of Anthroponutrition and Sports Nutrition. eLibrary SPIN: 7063–9692. ORCID: 0000-0002-4010-6315

Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

For correspondence: Vybornaya Kseniya V. E-mail: dombim@mail.ru

For citation: Vybornaya K.V. Features of assessing water sectors and body hydration status using bioimpedance body composition analyzers. *Medical alphabet*. 2024; (16): 73–82. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-16-73-82>

