



Руднев С.Г. ¹⁾, Колесников В.А. ²⁾, Николаев Д.В. ²⁾, Анисимова А.В. ³⁾, Година Е.З. ⁴⁾, Пермякова Е.Ю. ⁴⁾, Медведева Л.В. ⁵⁾, Негашева М.А. ⁶⁾

¹⁾ ИВМ им. Г.И. Марчука РАН, ул. Губкина, д. 8, Москва, 119333, Россия

²⁾ ООО НТЦ «МЕДАСС», ул. Радио, д. 24, стр. 1, Москва, 105005, Россия

³⁾ Институт биологии гена РАН, ул. Вавилова, д. 34/5, Москва, 119334, Россия

⁴⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ и Музей антропологии, ул. Моховая, д. 11, Москва, 125009, Россия

⁵⁾ ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», ул. Александра Невского, 14, Калининград, 236016, Россия

⁶⁾ МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра антропологии, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, 119234, Россия

БИОИМПЕДАНСНАЯ ОЦЕНКА СОМАТОТИПА ПО ХИТ-КАРТЕРУ: ОБНОВЛЁННЫЕ ФОРМУЛЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Введение. В наших недавних работах была установлена возможность оценки соматотипа по Хит-Картеру по данным биоимпедансных измерений в разных возрастных группах. Цель исследования – разработка единых расчётных формул для оценки соматотипа у детей, подростков и взрослых людей, характеристика точности формул в зависимости от возраста и индекса массы тела, совершенствование протокола соматотипирования в программном обеспечении биоимпедансного анализатора.

Материалы и методы. Рассматривались данные комплексной антропометрии и сопутствующей биоимпедансометрии из наших предшествующих публикаций. Основную группу составили этнические русские 7-59 лет, обследованные в Москве, Архангельске, Архангельской области, Самаре и Элисте (N=4296). Группу сравнения 1 составили этнические русские 16–86 лет, обследованные в Красноярском крае (N=3954). Группу сравнения 2 составили этнические калмыки 8–25 лет, обследованные в Элисте (N=940). По данным основной группы получали формулы биоимпедансной оценки баллов эндоморфии (ЭНДО_{БИА}) и мезоморфии (МЕЗО_{БИА}). Оценивали точность формул в подгруппах основной группы и групп сравнения.

Результаты. Общие формулы биоимпедансной оценки соматотипа по Хит-Картеру для детей, подростков и взрослых людей имели вид: ЭНДО_{БИА} = $-3411,8/R50 + 0,942 \times \text{ИМТ} - 0,00938 \times \text{ИМТ}^2 - 0,0235 \times \text{ДТ} - 0,28 \times \text{Пол} + 0,034 \times \text{Возраст} - 2,69$ (N=4296; R²=0,84; SEE=0,76); МЕЗО_{БИА} = $1531,8/R50 + 0,302 \times \text{ИМТ} - 0,0529 \times \text{ДТ} + 0,57 \times \text{Пол} - 0,032 \times \text{Возраст} + 4,52$ (N=4296; R²=0,87; SEE=0,48). Они были сравнительно точны в возрастном интервале 7-40 лет у мужчин и 7-59 лет у женщин и менее точны за пределами указанных диапазонов возраста и при высоких значениях ИМТ. На этом основании были предложены формулы для лиц с ожирением: ЭНДО_{БИА} = $-2569/R50 + 0,854 \times \text{ИМТ} - 0,0087 \times \text{ИМТ}^2 - 0,0263 \times \text{ДТ} - 0,032 \times \text{Пол} + 0,018 \times \text{Возраст} - 1,60$ (N=296; R²=0,69; SEE=0,87); МЕЗО_{БИА} = $1567/R50 + 0,55 \times \text{ИМТ} - 0,00512 \times \text{ИМТ}^2 - 0,0524 \times \text{ДТ} + 0,42 \times \text{Пол} - 0,035 \times \text{Возраст} + 1,66$ (N=296; R²=0,62; SEE=0,64). Указанные формулы встроены в программное обеспечение биоимпедансного анализатора АВС-02 «Медасс» (НТЦ Медасс, Россия).

Выводы. Полученные результаты значительно расширяют возможности оценки соматотипа и исследования его изменчивости. Использование единых расчётных формул для людей разного возраста должно способствовать повышению сопоставимости получаемых оценок соматотипа и надёжности результатов последующих сравнений.

Ключевые слова: биологическая антропология; соматотип; биоимпедансная оценка; биоимпедансный анализатор; программное обеспечение

DOI: 10.55959/MSU2074-8132-25-2-3

Введение

Метод В. Шелдона, модифицированный Б. Хит и Дж.Е.Л. Картером [Sheldon et al., 1940; Heath, Carter, 1967; Carter, Heath, 1990], является одним из наиболее известных методов конституциональной диагностики и сохраняет свою актуальность в фундаментальных и прикладных антропологических исследованиях [Rajkumar, 2015; Liu et al., 2021; Ramachandran, Vertinsky, 2022]. Соматотип по Хит-Картеру определяется как упорядоченный набор из трёх величин (компонент сомы) – эндоморфии, мезоморфии и эктоморфии – количественно характеризующих развитие жировой ткани, скелета и мышц, а также линейность телосложения, соответственно [Heath, Carter, 1967; Carter, Heath, 1990]. Традиционный антропометрический метод соматотипирования по Хит-Картеру основан на измерении 10 размерных признаков и последующем применении расчётных формул [Carter, Heath, 1990; Carter, 2002]. Его преимущества состоят в использовании непрерывной оценочной шкалы и применимости для лиц обоего пола в широком возрастном диапазоне, а недостатки заключаются в длительности обследования, а также в зависимости результатов от квалификации исследователя и качества антропометрического оборудования, что в совокупности резко ограничивает возможность применения метода в массовых популяционных исследованиях.

В ряде наших недавних работ была установлена возможность оценки соматотипа по Хит-Картеру по данным биоимпедансных измерений в разных возрастных группах – у детей и подростков [Анисимова с соавт., 2016; Колесников с соавт., 2016; Anisimova et al., 2016], а также у взрослых людей [Синдеева, Руднев, 2017; Rudnev et al., 2019]. Цель исследования – разработка единых расчётных формул для оценки соматотипа у детей, подростков и взрослых людей, характеристика точности формул в зависимости от возраста и индекса массы тела, совершенствование протокола соматотипирования в программном обеспечении биоимпедансного анализатора.

Материалы и методы

Рассматривались данные комплексной антропометрии и сопутствующих биоимпедансных измерений, использованные в наших предыдущих публикациях [Анисимова с соавт., 2016; Колесников с соавт., 2016; Синдеева, Руднев, 2017; Anisimova et al., 2016; Rudnev et al., 2019]. Основную группу составили этнически русские дети и подростки 7–18 лет, обследованные сотрудниками НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова в Москве, Архангельске, Архангельской области и Элисте в 2005–2014 гг. (N=3399), а также этнически русские подростки и взрослые люди 17–59 лет, обследованные сотрудниками кафедры антропологии биологического факультета МГУ в Москве, Архангельске и Самаре в 2010–2016 гг. (N=897), всего 4296 человек. Группу сравнения 1 составили этнически русские подростки и взрослые люди 16–86 лет, обследованные на базе КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого (г. Красноярск) и в Красноярском крае одним из авторов (ЛВМ) в 2006–2011 гг. (N=3954). Группу сравнения 2 составили этнические калмыки – дети, подростки и молодые взрослые люди 8–25 лет (школьники и студенты КГУ), обследованные сотрудниками НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова в Элисте в 2007–2008 гг. (N=940). Половозрастная структура основной группы и групп сравнения представлена на рисунке 1.

Антропометрические измерения проводились по стандартной методике [Бунак, 1941; Негашева, 2017]. Длину тела (ДТ) определяли антропометром Мартина (в основной группе и группе сравнения 2 – производства GPM, Швейцария, а в группе сравнения 1 – производства Вереск, Россия) с точностью до 1 мм. Массу тела (МТ) измеряли на электронных весах с точностью до 0,1 кг. Обхваты измеряли полотняной или пластиковой сантиметровой лентой, а поперечные диаметры дистальных эпифизов конеч-

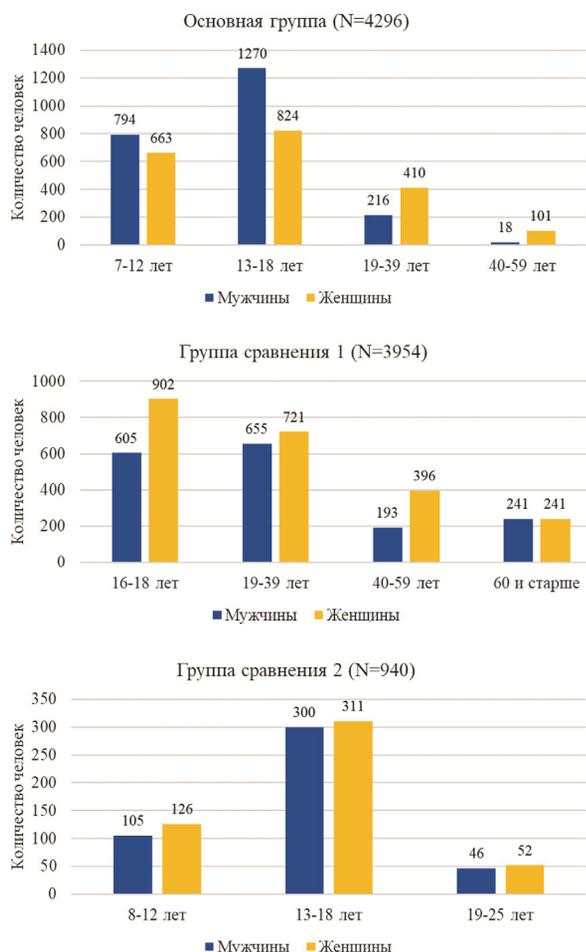


Рисунок 1. Половозрастная структура основной группы и групп сравнения
Figure 1. Distribution of the main group and the comparison groups according to age and sex

ностей – скользящим циркулем с точностью до 1 мм. Толщину жировых складок в основной группе и группе сравнения 2 определяли калипером GPM, а в группе сравнения 1 – калипером Вереск. Рассчитывали индекс массы тела (ИМТ) как отношение МТ к квадрату ДТ ($\text{кг}/\text{м}^2$). У взрослых людей (возраст 19,0 лет и старше) для диагностики недостаточного, избыточного веса и ожирения на основе ИМТ использовали пороговые значения 18,5, 25 и 30 $\text{кг}/\text{м}^2$ соответственно [WHO, 2024b], а у обследованных младше 19,0 лет использовали соответствующие им зависящие от возраста и пола критерии [WHO, 2024a]. Возраст обследованных в годах при формировании возрастных подгрупп определяли округлением фактического возраста до ближайшего целого. Для расчёта соматотипа по схеме Хит-Картера в подгруппе детей и подростков 7–18

лет основной группы ($N=3399$) и в группе сравнения 2 использовали следующие размерные признаки [Carter, 2002]: длину и массу тела, обхват напряжённого плеча и голени, ширину локтя (поперечный диаметр дистального эпифиза плеча) и колена (поперечный диаметр дистального эпифиза бедра), толщину жировых складок под лопаткой, на задней поверхности плеча (на трицепсе), на животе (латерально, над подвздошным гребнем) и на голени. В подгруппе подростков и взрослых людей основной группы ($N=897$) и в группе сравнения 1 ввиду отсутствия соответствующих измерений обхват напряжённого плеча получали как сумму измеренного значения обхвата расслабленного плеча и экскурсии мышц плеча, оцененной на основе эмпирической расчётной формулы с использованием пола и возраста в качестве предикторов, а толщину жировой складки над подвздошным гребнем оценивали на основе эмпирической формулы с использованием толщины жировой складки на животе латеральнее пупка [Синдеева, Руднев, 2017]. Компоненты соматотипа рассчитывали на основе рекомендованных формул [Carter, 2002]:

Эндоморфия = $-0,7182 + 0,1451 \times \sum \text{ЖС} - 0,00068 \times \sum \text{ЖС}^2 + 0,0000014 \times \sum \text{ЖС}^3$, где $\sum \text{ЖС}$ – скорректированная с учётом длины тела сумма трёх жировых складок, вычисляемая по формуле $\sum \text{ЖС} = (\text{ж.скл. на трицепсе} + \text{ж.скл. под лопаткой} + \text{ж.скл. над подвздошным гребнем}) \times (170,18/\text{ДТ в см})$;

Мезоморфия = $0,858 \times \text{ширина локтя} + 0,601 \times \text{ширина колена} + 0,188 \times \text{обхват плеча с поправкой} + 0,161 \times \text{обхват голени с поправкой} - 0,131 \times \text{ДТ} + 4,50$, где обхват плеча с поправкой – это разность обхвата напряжённого плеча и толщины жировой складки на трицепсе (см), а обхват голени с поправкой – это разность обхвата голени и толщины жировой складки на голени (см);

Эктоморфия = $\begin{cases} 0,732 \times \text{РВО} - 28,58, & \text{если } \text{РВО} \geq 40,75; \\ 0,463 \times \text{РВО} - 17,63, & \text{если } 38,25 < \text{РВО} < 40,75; \\ 0,1, & \text{если } \text{РВО} \leq 38,25, \end{cases}$

где РВО – росто-весовое отношение, равное отношению длины тела (см) к корню кубического массы тела (кг). В случае, если расчётное значение эктоморфии было меньше 0,1, то принималось значение 0,1.

Биоимпедансные измерения выполняли двухчастотным анализатором состава тела ABC-01 «Медасс» (НТЦ Медасс, Россия) при частоте переменного тока 5 и 50 кГц по стандартной схеме с креплением одноразовых биоадгезивных электродов в области правого лучезапястного и правого голеностопного суставов в поло-

жении испытуемых лёжа на спине на горизонтальной непроводящей поверхности [Смирнов с соавт., 2009]. Все измерения проводились с использованием биоадгезивных электродов F9049 (FIAB, Италия) или Schiller Biotabs (Schiller, Швейцария). Тощую массу (ТМ, кг) у обследованных в возрасте до 18 лет рассчитывали по формуле $ТМ = 0,61 \times ДТ^2 / R50 + 0,25 \times МТ + 1,31$, где ДТ – длина тела (см), R50 – активное сопротивление, измеренное на частоте 50 кГц (Ом), а МТ – масса тела (кг) [Houtkooper et al., 1992]. У обследованных старше 18 лет ТМ определяли на основе оценки содержания воды в организме (СВО) с учётом относительного постоянства гидратации тощей массы у взрослых людей по формуле $ТМ = СВО / 0,732$. При этом СВО (кг) рассчитывали по формулам $СВО = 0,3963 \times ДТ^2 / R50 + 0,143 \times МТ + 8,399$ для мужчин, и $СВО = 0,3821 \times ДТ^2 / R50 + 0,1052 \times МТ + 8,3148$ для женщин [Kushner, Schoeller, 1986]. Жировую массу тела (ЖМ) вычисляли как разность между МТ и ТМ, а процентное содержание жира в массе тела (%ЖМ) – как $(ЖМ / МТ) \times 100\%$.

Все обследования проводились с соблюдением правил биоэтики и подписанием информированного согласия самими обследованными или их законными представителями (при обследовании детей до 14 лет). В соответствии с законом о персональных данных полученные данные были деперсонифицированы.

По данным основной группы строили прогнозирующие формулы биоимпедансной оценки баллов эндоморфии (ЭНДО_{БИА}) и мезоморфии (МЕЗО_{БИА}) с использованием в качестве предикторов величин, получаемых в рамках стандартной процедуры биоимпедансного обследования. Рассчитывали долю объяснённой дисперсии признаков (R^2). Стандартную ошибку регрессии *SEE* вычисляли как $SEE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 / (n - k - 1)}$, где n – размер выборки, k – количество предикторов в уравнении регрессии, x_i – значение i -го наблюдения, \bar{x}_i – регрессионная оценка для i -го наблюдения. Для характеристики соответствия биоимпедансных оценок баллов эндоморфии и мезоморфии их антропометрическим расчётным значениям использовали анализ Бланда-Альтмана [Bland, Altman, 1986].

Таблица 1. Общая антропометрическая характеристика основной группы (N=4296), М (SD)
Table 1. General anthropometric characteristics of the main group (N=4296), mean (standard deviation)

Признак	7–12 лет		13–18 лет		19–39 лет		40–59 лет	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
ДТ, см	140,5 (10,9)	139,8 (12,0)	169,2* (10,3)	162,0 (6,8)	176,4* (6,9)	163,9 (5,8)	174,6* (4,7)	161,7 (5,7)
МТ, кг	36,5* (10,5)	35,1 (10,5)	60,6* (13,5)	54,0 (10,0)	72,5* (11,9)	59,6 (10,5)	89,0* (17,3)	70,7 (14,0)
ИМТ, кг/м ²	18,2* (3,2)	17,6 (3,0)	21,0* (3,3)	20,5 (3,2)	23,3* (3,5)	22,2 (3,6)	29,2 (5,4)	27,1 (5,3)
ТМ, кг	28,9* (6,7)	27,2 (6,8)	49,2* (9,7)	39,6 (5,6)	58,2* (6,4)	41,5 (4,0)	64,2* (7,9)	45,1 (4,8)
ЖМТ, кг	7,6 (4,7)	7,9 (4,4)	11,4* (6,1)	14,2 (5,4)	14,2* (7,4)	18,1 (7,4)	24,8 (11,6)	25,6 (10,0)
%ЖМТ	19,5* (6,9)	21,5 (6,1)	18,1* (6,7)	25,9 (5,6)	18,7* (7,0)	29,4 (6,6)	26,8* (7,7)	35,0 (6,9)
Эндоморфия	2,9* (1,6)	3,2 (1,5)	2,7* (1,5)	3,8 (1,4)	4,0* (1,9)	5,7 (1,7)	6,6 (1,8)	7,2 (1,6)
Мезоморфия	5,1* (1,1)	4,4 (1,1)	4,9* (1,3)	4,0 (1,3)	5,0* (1,3)	4,0 (1,4)	6,3* (1,0)	5,4 (1,8)
Эктоморфия	2,8* (1,4)	3,1 (1,4)	3,2* (1,4)	3,0 (1,4)	2,6 (1,5)	2,4 (1,4)	0,9 (1,0)	1,0 (1,1)

Примечания. * – значимые различия между подгруппами женщин и мужчин (P<0,05).
Notes. * – Significant differences between male and female groups (P<0.05).

Оценивали точность формул в различных подгруппах основной группы и групп сравнения, в результате чего предложены отдельные формулы для лиц с высокими значениями ИМТ (30 кг/м² и выше у взрослых людей или соответствующие им значения у детей и подростков согласно критериям ВОЗ). Статистическую обработку данных выполняли в пакетах программ Minitab 21 и MS Excel 2019. Значимость различий между признаками оценивали с использованием двухвыборочного t-критерия Стьюдента при пороговом уровне значимости 0,05. Полученные формулы встраивали в программное обеспечение биоимпедансного анализатора состава тела ABC-02 «Медасс» (НТЦ Медасс, Россия).

Результаты

Общая антропометрическая характеристика основной группы и групп сравнения представлена в таблицах 1–3. Рассматриваемые группы имели сходные распределения значений ИМТ в соответствии с классификацией ВОЗ (рис. 2). Во

всех группах преобладали лица с нормальными значениями ИМТ, при этом в группе сравнения 1 доля лиц с избыточным весом и ожирением была заметно выше, чем в основной группе и группе сравнения 2.

На основе уравнений множественной регрессии по данным основной группы получены единые расчётные формулы биоимпедансной оценки баллов эндоморфии и мезоморфии у детей, подростков и взрослых людей:

$$\text{ЭНДО}_{\text{БИА}} = -3411,8/R50 + 0,942 \times \text{ИМТ} - 0,00938 \times \text{ИМТ}^2 - 0,0235 \times \text{ДТ} - 0,28 \times \text{Пол} + 0,034 \times \text{Возраст} - 2,69 \quad (N=4296; R^2=0,84; \text{SEE}=0,76); \quad (1)$$

$$\text{МЕЗО}_{\text{БИА}} = 1531,8/R50 + 0,302 \times \text{ИМТ} - 0,0529 \times \text{ДТ} + 0,57 \times \text{Пол} - 0,032 \times \text{Возраст} + 4,52 \quad (N=4296; R^2=0,87; \text{SEE}=0,48). \quad (2)$$

Как показано на рисунке 3, формулы (1)-(2) дают несмещённую оценку баллов эндоморфии и мезоморфии в основной группе. В группах сравнения 1 и 2 формула (1), в среднем, несколько занижала, а формула (2) – завышала

Таблица 2. Общая антропометрическая характеристика группы сравнения 1 (N=3954), M (SD)

Table 2. General anthropometric characteristics of the comparison group 1 (N=3954), mean (standard deviation)

Признак	16–18 лет		19–39 лет		40–59 лет		60 лет и старше	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
ДТ, см	176,7* (7,5)	164,9 (6,0)	176,6* (6,9)	164,4 (6,4)	174,4* (6,3)	160,4 (6,4)	168,2* (6,0)	156,6 (6,2)
МТ, кг	68,5* (12,7)	56,9 (9,4)	72,1* (13,5)	59,4 (12,4)	81,1* (14,2)	75,1 (14,5)	75,2 (13,9)	74,3 (14,5)
ИМТ, кг/м ²	21,9* (3,4)	20,9 (3,1)	23,1* (3,9)	22,0 (4,3)	26,6* (4,3)	29,3 (5,8)	26,6* (4,6)	30,3 (5,6)
ТМ, кг	55,2* (7,7)	44,1 (5,3)	58,1* (6,6)	44,5 (4,3)	59,1* (6,0)	48,6 (5,0)	57,5* (5,2)	48,5 (6,0)
ЖМТ, кг	13,3 (8,6)	12,9 (6,4)	14,0 (9,8)	15,0 (9,9)	22,0* (11,5)	26,4 (12,6)	17,7* (10,3)	25,7 (11,3)
%ЖМТ	18,4* (8,1)	21,8 (7,3)	18,1* (8,9)	23,5 (9,4)	25,8* (9,3)	33,6 (10,1)	22,0* (9,6)	33,3 (9,3)
Эндоморфия	3,1* (1,7)	4,6 (1,5)	3,8* (1,7)	5,0 (1,7)	5,2* (1,7)	7,2 (1,8)	5,7* (2,1)	8,0 (1,7)
Мезоморфия	4,8* (1,4)	3,6 (1,4)	4,9* (1,5)	4,0 (1,7)	5,8* (1,4)	6,5 (2,1)	5,6* (1,6)	6,4 (2,0)
Эктоморфия	3,3* (1,5)	3,0 (1,4)	2,8 (1,5)	2,7 (1,5)	1,4* (1,2)	0,7 (0,9)	1,3* (1,2)	0,4 (0,7)

Примечания. * – значимые различия между подгруппами женщин и мужчин (P<0,05).
Notes. * – Significant differences between male and female groups (P<0.05).

антропометрические расчётные значения эндоморфии и мезоморфии, соответственно. Наиболее узкие границы доверительных интервалов для разности антропометрических расчётных значений признаков и их биоимпедансных оценок наблюдались для показателя мезоморфии в основной группе и группе сравнения 2, что свидетельствует о хорошей согласованности указанных показателей во всём наблюдаемом диапазоне значений признака. Более широкие доверительные интервалы для соответствующих разностей в указанных группах наблюдались для показателя эндоморфии. Группа сравнения 1 характеризовалась наибольшим разбросом разностей для обоих показателей; при высоких значениях эндоморфии и мезоморфии в данной группе формулы (1)-(2) давали большую погрешность.

Соответствия средних антропометрических расчётных значений соматотипа и их биоимпе-

дансных оценок согласно формулам (1)-(2) в возрастных подгруппах основной группы и групп сравнения представлены на соматограммах на рисунке 4. Во всех рассматриваемых возрастных подгруппах женщин и мужчин основной группы средние соматотипы хорошо соответствовали друг другу. В группе сравнения 1 близкие средние значения антропометрических и биоимпедансных оценок соматотипа наблюдались в подгруппах 16–18 и 19–39 лет у мужчин и в старших возрастных подгруппах у женщин (40–59 лет, а также 60 лет и старше). В группе сравнения 2 наблюдалось хорошее соответствие средних соматотипов во всех возрастных подгруппах за исключением подгруппы мужчин 19–25 лет (N=46). Согласно данным анкетирования, указанная подгруппа, в отличие от других подгрупп, в основном состояла из профессиональных спортсменов.

Таблица 3. Общая антропометрическая характеристика группы сравнения 2 (N=940), M (SD)

Table 3. General anthropometric characteristics of the comparison group 2 (N=940), mean (standard deviation)

Признак	8–12 лет		13–18 лет		19–25 лет	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀
ДТ, см	135,9 (7,0)	136,1 (6,6)	166,8* (9,7)	160,8 (6,1)	173,7* (6,9)	162,1 (5,5)
МТ, кг	33,0 (7,6)	32,2 (7,7)	56,7* (12,9)	52,1 (9,7)	65,9* (10,3)	55,8 (9,1)
ИМТ, кг/м ²	17,7 (3,2)	17,2 (2,8)	20,2 (3,4)	20,1 (3,1)	21,8 (3,1)	21,2 (3,0)
ТМ, кг	25,9 (4,5)	24,9 (4,6)	45,5* (8,9)	37,7 (5,2)	54,9* (6,2)	39,4 (3,4)
ЖМТ, кг	7,1 (4,0)	7,2 (3,7)	11,2* (5,6)	14,4 (5,1)	10,9* (5,4)	16,3 (6,2)
%ЖМТ	20,4 (7,2)	21,5 (6,0)	19,2* (6,0)	27,0 (5,1)	16,0* (5,6)	28,4 (6,2)
Эндоморфия	3,3* (1,7)	3,8 (1,7)	2,9* (1,6)	4,5 (1,4)	2,5* (1,1)	4,9 (1,3)
Мезоморфия	4,9* (1,3)	4,3 (1,0)	4,6* (1,4)	3,7 (1,2)	4,9* (1,3)	3,9 (1,1)
Эктоморфия	2,8 (1,5)	3,0 (1,3)	3,5* (1,6)	3,2 (1,4)	3,1 (1,5)	2,7 (1,3)

Примечания. * – значимые различия между подгруппами женщин и мужчин (P<0,05).

Notes. * – Significant differences between male and female groups (P<0.05).

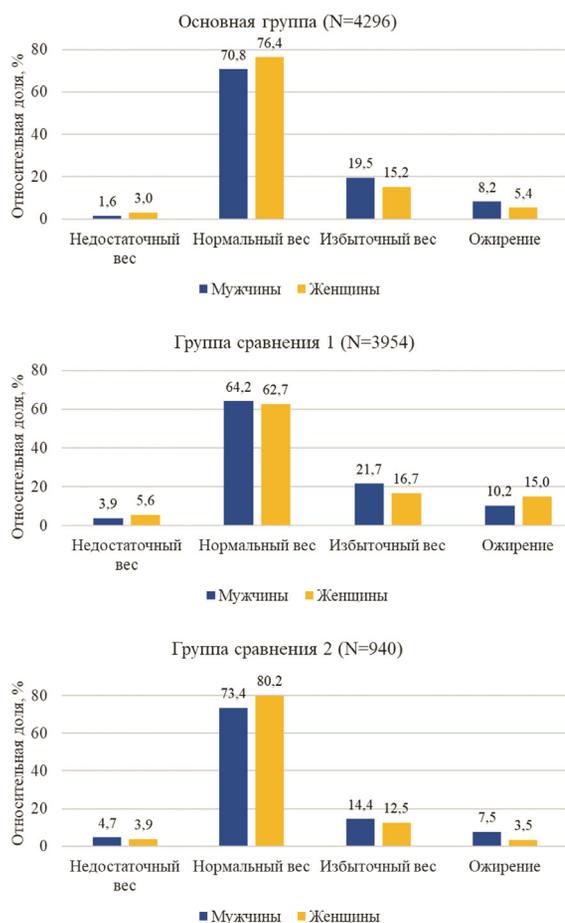


Рисунок 2. Распределение значений ИМТ в соответствии с классификацией ВОЗ в основной группе и группах сравнения
Figure 2. BMI values distribution according to WHO classification in the main group and the comparison groups

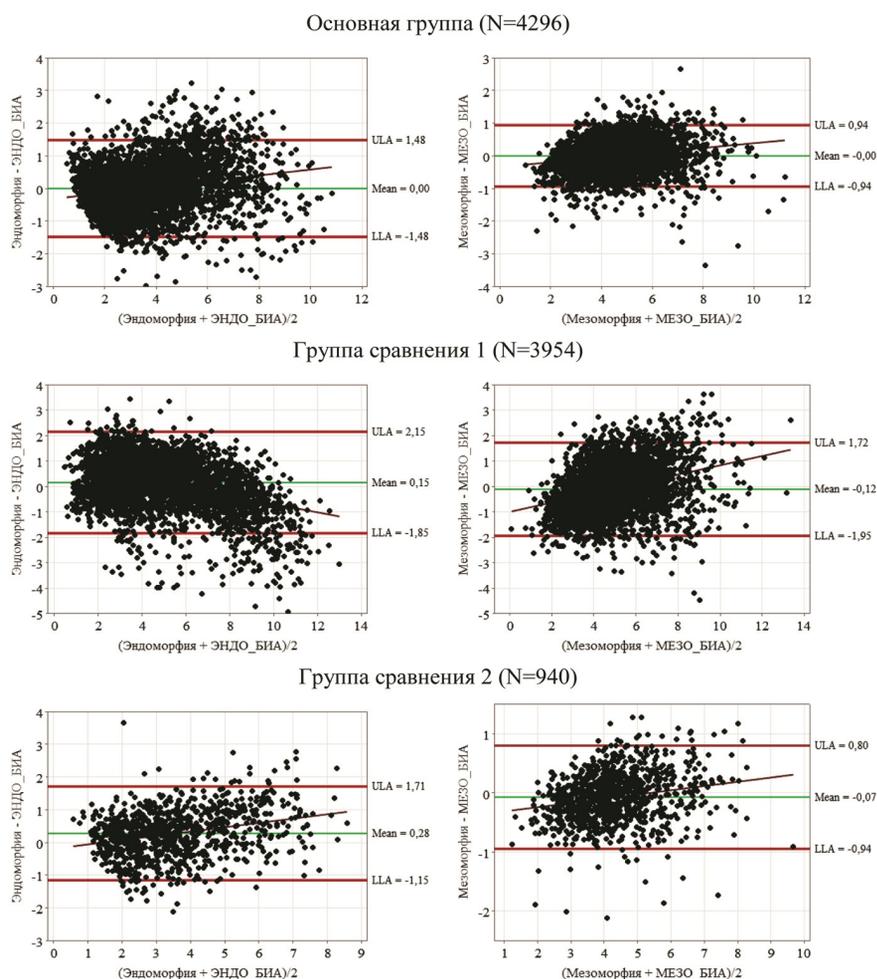


Рисунок 3. Согласованность антропометрических расчётных значений и биоимпедансных оценок баллов эндоморфии (слева) и мезоморфии (справа) в основной группе и группах сравнения: анализ Бланда-Альтмана

Figure 3. Consistency of anthropometric measurements and bioimpedance estimates of the Endomorphy (left) and Mesomorphy (right) ratings in the main group and comparison groups: Bland-Altman analysis

В таблице 4 дана характеристика точности формул (1)-(2) для возрастных подгрупп, а в таблице 5 – для различных интервалов значений ИМТ женщин и мужчин основной группы. В таблицах 6 и 7 представлены аналогичные результаты для группы сравнения 1, а в таблицах 8 и 9 – для группы сравнения 2. В основной группе полученные формулы были сравнительно точны в возрастном диапазоне 7–39 лет у мужчин и 7–59 лет у женщин и во всём диапазоне значений ИМТ с некоторой тенденцией к снижению точности в области высоких значений ИМТ (табл. 5), а также характеризовались пониженной точностью определения эндо- и мезоморфии в возрастной подгруппе 40–59 лет у мужчин (табл. 4).

В группе сравнения 1 формулы (1)-(2) были сравнительно точны в возрастных группах 16–18, 19–39 лет и при оценке балла мезоморфии в более старших возрастных группах у мужчин (табл. 6), у лиц с нормальным и избыточным весом и при оценке балла мезоморфии у лиц с недостаточным весом (табл. 7). Указанные формулы были менее точны у женщин от 40 лет и старше, при оценке показателя эндоморфии в данном возрасте у мужчин (табл. 6) и у лиц с высокими значениями ИМТ (табл. 7).

В группе сравнения 2 формулы (1)-(2) были сравнительно точны во всех рассматриваемых возрастных группах лиц мужского и женского пола (табл. 8) и во всём диапазоне значений ИМТ за исключением оценки балла эндоморфии в подгруппе лиц женского пола с ожирением (табл. 9).

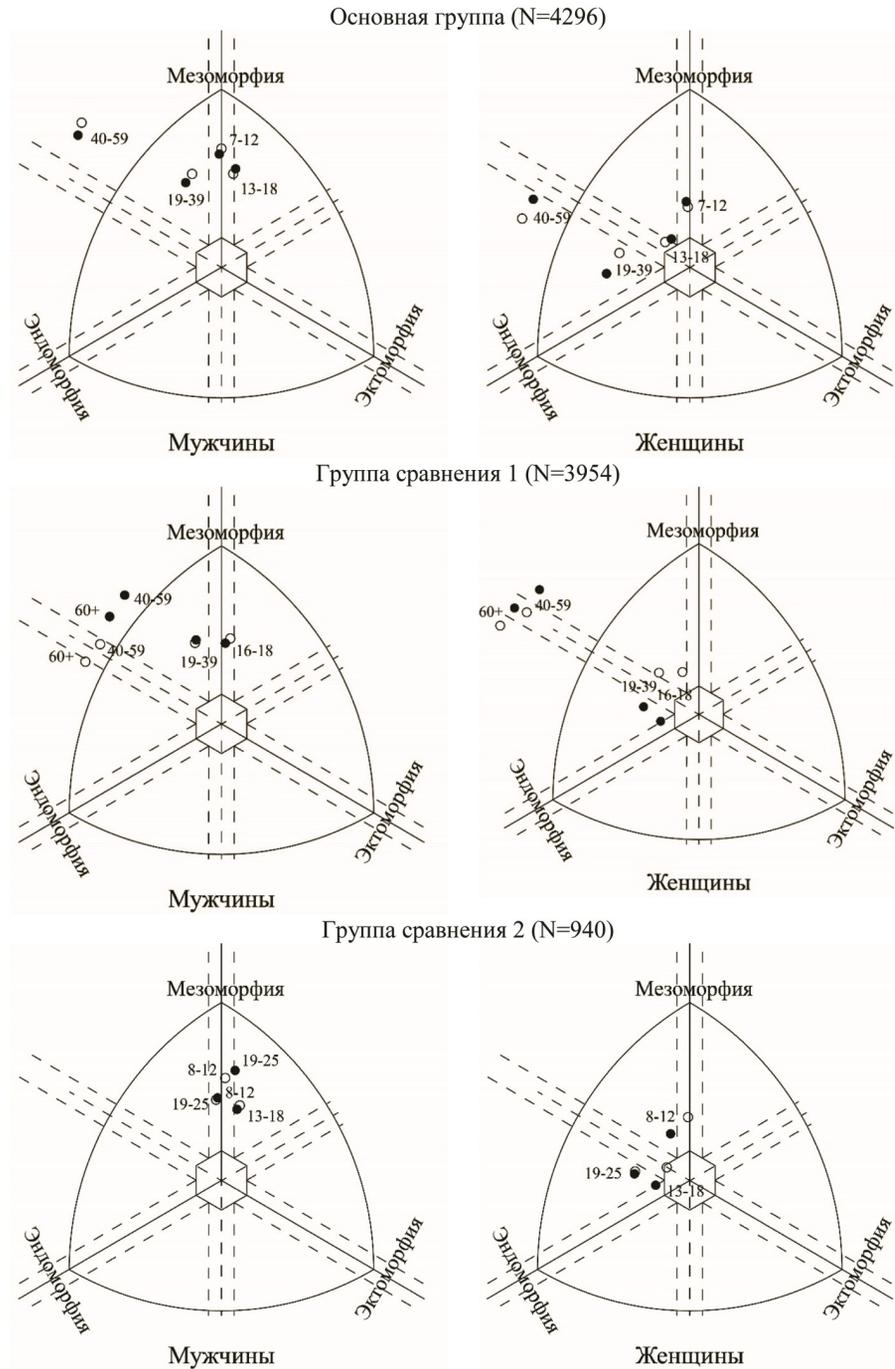


Рисунок 4. Соматограммы средних значений соматотипа в возрастных подгруппах основной группы и групп сравнения для женщин и мужчин: антропометрические расчётные значения (●) и их биоимпедансные оценки (○) согласно формулам (1)-(2)

Figure 4. Somatograms of average somatopoints in age subgroups of the main group and comparison groups for males and females: anthropometric measurements (●) and their bioimpedance estimates (○) according to formulas (1)-(2)

Таблица 4. Характеристика точности формул (1)-(2) в зависимости от пола и возраста в основной группе (N=4296)

Table 4. Accuracy of the assessment formulas (1)-(2) according to age and sex in the main group (N=4296)

Показатель	Возрастная группа											
	7–12 лет			13–18 лет			19–39 лет			40–59 лет		
	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE
Мужчины												
Эндоморфия	794	0,87	0,61	1270	0,78	0,72	216	0,77	0,99	18	0,56	1,60
Мезоморфия	794	0,87	0,42	1270	0,86	0,49	216	0,84	0,54	18	0,62	1,45
Женщины												
Эндоморфия	663	0,85	0,60	824	0,74	0,79	410	0,72	1,03	101	0,73	1,03
Мезоморфия	663	0,87	0,41	824	0,87	0,47	410	0,84	0,56	101	0,90	0,66

Таблица 5. Характеристика точности формул (1)-(2) в зависимости от пола и значений индекса массы тела в основной группе (N=4296)

Table 5. Accuracy of the assessment formulas (1)-(2) according to sex and body mass index in the main group (N=4296)

Показатель	Классификация значений ИМТ											
	Недостаточный вес			Нормальный вес			Избыточный вес			Ожирение		
	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE
Мужчины												
Эндоморфия	36	0,21	0,72	1626	0,55	0,65	448	0,65	0,86	188	0,66	0,92
Мезоморфия	36	0,63	0,50	1626	0,72	0,44	448	0,67	0,50	188	0,58	0,69
Женщины												
Эндоморфия	60	0,62	1,03	1526	0,75	0,75	304	0,71	0,88	108	0,63	1,09
Мезоморфия	60	0,53	0,65	1526	0,75	0,45	304	0,55	0,51	108	0,62	0,74

Таблица 6. Характеристика точности формул (1)-(2) в зависимости от пола и возраста в группе сравнения 1 (N=3954)

Table 6. Accuracy of the assessment formulas (1)-(2) according to age and sex in the comparison group 1 (N=3954)

Показатель	Возрастная группа											
	16–18 лет			19–39 лет			40–59 лет			60 лет и старше		
	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE
Мужчины												
Эндоморфия	605	0,83	0,75	655	0,82	0,78	193	0,79	1,34	241	0,80	1,36
Мезоморфия	605	0,69	0,78	655	0,68	0,83	193	0,64	1,04	241	0,69	1,01
Женщины												
Эндоморфия	902	0,85	1,08	721	0,86	0,98	396	0,78	1,25	241	0,72	1,21
Мезоморфия	902	0,76	0,88	721	0,80	0,87	396	0,68	1,21	241	0,59	1,36

Таблица 7. Характеристика точности формул (1)-(2) в зависимости от пола и значений индекса массы тела в группе сравнения 1 (N=3954)

Table 7. Accuracy of the assessment formulas (1)-(2) according to sex and body mass index in the comparison group 1 (N=3954)

Показатель	Классификация значений ИМТ											
	Недостаточный вес			Нормальный вес			Избыточный вес			Ожирение		
	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE
Мужчины												
Эндоморфия	66	0,08	1,21	1087	0,63	0,79	368	0,55	0,96	173	0,41	1,56
Мезоморфия	66	0,30	0,79	1087	0,44	0,82	368	0,27	0,91	173	0,28	1,07
Женщины												
Эндоморфия	127	0,42	1,30	1417	0,72	0,99	378	0,58	0,86	338	0,34	1,58
Мезоморфия	127	0,53	0,87	1417	0,52	0,87	378	0,29	1,10	338	0,36	1,38

Таблица 8. Характеристика точности формул (1)-(2) в зависимости от пола и возраста в группе сравнения 2 (N=940)

Table 8. Accuracy of the assessment formulas (1)-(2) according to age and sex in the comparison group 2 (N=940)

Показатель	Возрастная группа								
	8–12 лет			13–18 лет			19–25 лет		
	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE
Мужчины									
Эндоморфия	105	0,84	0,79	300	0,82	0,69	46	0,76	1,03
Мезоморфия	105	0,87	0,58	300	0,89	0,46	46	0,92	0,45
Женщины									
Эндоморфия	126	0,86	0,99	311	0,79	0,80	52	0,80	0,64
Мезоморфия	126	0,89	0,34	311	0,86	0,45	52	0,83	0,48

Таблица 9. Характеристика точности формул (1)-(2) в зависимости от пола и значений индекса массы тела в группе сравнения 2 (N=940)

Table 9. Accuracy of the assessment formulas (1)-(2) according to sex and body mass index in the comparison group 2 (N=940)

Показатель	Классификация значений ИМТ											
	Недостаточный вес			Нормальный вес			Избыточный вес			Ожирение		
	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE	N	R ²	SEE
Мужчины												
Эндоморфия	21	0,39	0,71	331	0,42	0,68	65	0,56	0,96	34	0,49	1,09
Мезоморфия	21	0,70	0,40	331	0,79	0,43	65	0,55	0,58	34	0,34	0,86
Женщины												
Эндоморфия	19	0,39	0,78	392	0,70	0,77	61	0,63	1,04	17	0,39	1,93
Мезоморфия	19	0,83	0,48	392	0,75	0,41	61	0,59	0,51	17	0,47	0,67

Ввиду снижения точности формул (1)-(2) при высоких значениях ИМТ по данным подгруппы основной группы с ИМТ 30 кг/м² и выше нами построены формулы биоимпедансной оценки баллов эндоморфии и мезоморфии для лиц с ожирением:

$$\text{ЭНДО}_{\text{БИА}} = -2569/R50 + 0,854 \times \text{ИМТ} - 0,0087 \times \text{ИМТ}^2 - 0,0263 \times \text{ДТ} - 0,032 \times \text{Пол} + 0,018 \times \text{Возраст} - 1,60 \quad (N=296; R^2=0,69; \text{SEE}=0,87); \quad (3)$$

$$\text{МЕЗО}_{\text{БИА}} = 1567/R50 + 0,55 \times \text{ИМТ} - 0,00512 \times \text{ИМТ}^2 - 0,0524 \times \text{ДТ} + 0,42 \times \text{Пол} - 0,035 \times \text{Возраст} + 1,66 \quad (N=296; R^2=0,62; \text{SEE}=0,64). \quad (4)$$

Напомним (см. [Колесников с соавт., 2016]), что протокол соматотипирования в программном обеспечении биоимпедансного анализатора состава тела АВС-01 «Медасс» был разработан с учётом методических рекомендаций [Carter, 2002]. В стандартной проекции данные представляются на соматограмме в координатах $X = \text{Эктоморфия} - \text{Эндоморфия}$; $Y = 2 \times \text{Мезоморфия} - (\text{Эндоморфия} + \text{Эктоморфия})$. Индивидуальный тип телосложения определяется в соответствии с принятой классификацией (табл. 10), для которой разные типы телосложения соответствуют положению различных областей на соматограмме [Там же]. Для расчёта балла эктоморфии в программном обеспечении

биоимпедансного анализатора используется стандартный алгоритм на основе длины и массы тела, а для оценки баллов эндо- и мезоморфии применялись формулы на основе биоимпедансных измерений для детей и подростков [Колесников с соавт., 2016] и для взрослых людей [Синдеева, Руднев, 2017; Rudnev et al., 2019]. На основании полученных результатов общие формулы (1)-(2) для детей, подростков и взрослых людей, а также формулы (3)-(4) для лиц с высокими значениями ИМТ встроены в программу АВС02-0362 биоимпедансного анализатора АВС-02 «Медасс» (НТЦ Медасс, Россия).

Протокол оценки соматотипа открывается в главном окне программы АВС02-0362 при нажатии на кнопку «Соматотип». Окно протокола содержит четыре вкладки: «Стандартная проекция», «Таблица», «Сводная таблица» и «Произвольные проекции», где реализованы функции группировки данных в соответствии с полом, возрастом и порядковым номером индивидуального обследования, а также расчёта средних значений компонентов соматотипа в выбранной подгруппе. На вкладке «Стандартная проекция» реализована возможность визуализации и анализа распределения соматотипов на сомато-

грамме. Нетрудно проверить, что данные на соматограмме Хит-Картера в соответствии с выбранной системой координат и положением вершин базового треугольника на координатных осях можно считать диаграммой рассеяния ортогональных проекций концов трёхмерных радиус-векторов соматотипа на плоскость Эндо + Мезо + Экто = 9 с вектором нормали (1; 1; 1). Указанный треугольник, приводимый на соматограмме, называют треугольником Рело по имени известного немецкого учёного Франца Рело [Боголюбов, Чиненова, 2014; Siders, Rue, 1992]. На вкладке «Стандартная проекция» в разделе «Вычисление соматотипа» общие формулы (1)-(2) для оценки баллов эндоморфии и мезоморфии, а также формулы (3)-(4) для лиц с высокими значениями ИМТ имеют название «Общие формулы для взрослых и детей» и «Для пациентов с ожирением» соответственно. Также в разделе «Вычисление соматотипа» в пункте меню «Для взрослых – 1» реализованы формулы из статьи [Синдеева, Руднев, 2017], в пункте меню «Для взрослых – 2» – формулы из статьи [Rud-

nev et al., 2019], а в пункте меню «Для детей» – формулы для детей 7-18 лет из статьи [Колесников с соавт., 2016]. В текущей версии протокола соматотипирования реализована возможность отслеживать на соматограмме индивидуальные изменения соматотипа. Для этого справа внизу на вкладке «Стандартная проекция» необходимо выделить элемент управления «Соединять точки обследований».

Индивидуальные значения биоимпедансных оценок соматотипа и их классификация в соответствии с таблицей 10 доступны на вкладке «Таблица», а вкладка «Сводная таблица» содержит информацию о распределении соматотипов в выбранной подгруппе по рассматриваемым классам (типам телосложения). На вкладке «Произвольные проекции» доступна визуализация распределения соматотипов в проекции на произвольную (а не только стандартную, как на соматограмме) плоскость. Кроме того, реализована возможность экспорта результатов анализа данных в различных форматах. Следует отме-

Таблица 10. Классификация типов телосложения по Хит-Картеру [Carter, Heath, 1990; Carter, 2002]

Table 10. The definitions of the somatotype categories [Carter, Heath, 1990; Carter, 2002]

№ п/п	Тип телосложения	Формальное описание
1	Центральный (central)	Максимум и минимум значений Эндо, Мезо и Экто отличаются не более чем на 1
2	Сбалансированный мезоморфный (balanced mesomorph)	Мезо преобладает. Эндо и Экто отличаются не более чем на 0,5
3	Эктомезоморфный (ectomorphic mesomorph)	Мезо преобладает. Экто больше, чем Эндо+0,5
4	Мезо-экто (mesomorph-ectomorph)	Мезо и Экто отличаются не более чем на 0,5. Значение Эндо меньше
5	Мезоэктоморфный (mesomorphic ectomorph)	Экто преобладает. Мезо больше, чем Эндо+0,5
6	Сбалансированный эктоморфный (balanced ectomorph)	Экто преобладает. Эндо и Мезо отличаются не более чем на 0,5
7	Эндоэктоморфный (endomorph-ectomorph)	Экто преобладает. Эндо больше, чем Мезо+0,5
8	Эндо-экто (endomorph-ectomorph)	Эндо и Экто отличаются не более чем на 0,5. Значение Мезо меньше
9	Эктоэндоморфный (ectomorphic endomorph)	Эндо преобладает. Экто больше, чем Мезо+0,5
10	Сбалансированный эндоморфный (balanced endomorph)	Эндо преобладает. Мезо и Экто отличаются не более чем на 0,5
11	Мезоэндоморфный (mesomorphic endomorph)	Эндо преобладает. Мезо больше, чем Экто+0,5
12	Мезо-эндо (mesomorph-endomorph)	Эндо и Мезо отличаются не более чем на 0,5. Значение Экто меньше
13	Эндомезоморфный (endomorph-ectomorph)	Мезо преобладает. Эндо больше, чем Экто+0,5

титель, что программа ABC02-0362 позволяет с использованием функции импорта данных преобразовать исследовательские базы данных биоимпедансных измерений во внутренний формат данных биоимпедансного анализатора для последующего использования возможностей протокола соматотипирования. В качестве иллюстрации этой идеи на рисунках 5 и 6 представлены диаграммы рассеяния биоимпедансных оценок соматотипа в подгруппах мужчин и женщин основной группы. Точки, выделенные на соматограммах зелёным цветом, соответствуют среднему значению соматотипа.

Обсуждение

Соматотип, или тип телосложения, наряду с составом тела является одним из ключевых понятий морфологии человека, которое на протяжении последних 100 и более лет используется в фундаментальных и прикладных научных исследованиях [Кречмер, 1924; Бунак, 1941; Башкиров, 1962; Дерябин, 2009; Sheldon et al., 1940]. Одним из наиболее известных методов соматотипирования сегодня является антропометрический метод Хит-Картера [Carter, Heath, 1990; Carter, 2002]. Однако данный метод имеет ряд ограничений, так как требует существенных временных затрат на проведение измерений, а также зависит от уровня подготовки исследователя и качества антропометрического оборудования, что резко снижает возможности его массового применения. В своих недавних публикациях для оценки соматотипа по Хит-Картеру мы предложили использовать данные биоимпедансных измерений и на этой основе разработали простые и надёжные формулы для определения баллов эндоморфии и мезоморфии в различных возрастных группах [Анисимова с соавт., 2016; Колесников с соавт., 2016; Синдеева, Руднев, 2017; Anisimova et al., 2016; Rudnev et al., 2019]. Ввиду широкого внедрения биоимпедансометрии – сравнительно простого, оперативного и неинвазивного метода оценки состава тела и нутритивного статуса – это даёт основу для массового применения метода Хит-Картера.

В настоящем исследовании с использованием данных моноэтнической выборки представителей русского этноса из различных регионов европейской части России разработаны единые расчётные формулы биоимпедансной оценки баллов эндоморфии и мезоморфии у детей, подростков и взрослых людей общей популяции

и впервые исследована точность таких формул в зависимости от возраста, пола и индекса массы тела в основной группе и группах сравнения. Полученные формулы в основной группе и группе сравнения 2 (составленной из представителей другого этноса – калмыков) были, в целом, достаточно точны ($R^2=0,82-0,84$ и $SEE=0,76-0,78$ для эндоморфии; $R^2=0,87-0,88$ и $SEE=0,45-0,48$ для мезоморфии), но менее точны у лиц старшего возраста и при высоких значениях

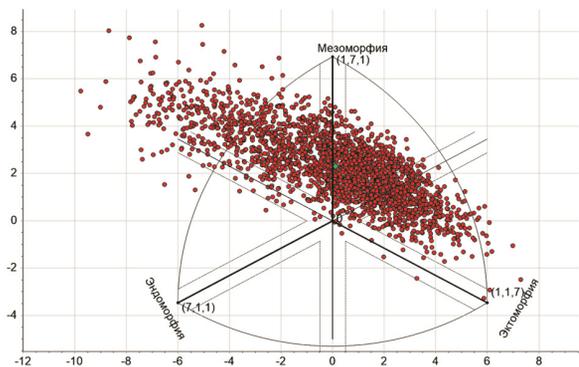


Рисунок 5. Диаграмма рассеяния биоимпедансных оценок соматотипа по Хит-Картеру в протоколе соматотипирования биоимпедансного анализатора ABC-02 «Медасс». Основная группа, мужчины (N=2298)

Figure 5. Scatter plot of the bioimpedance estimates of the Heath-Carter somatotype in the somatotyping protocol for the ABC-02 Medass bioimpedance instrument. The main group, males (N = 2298)

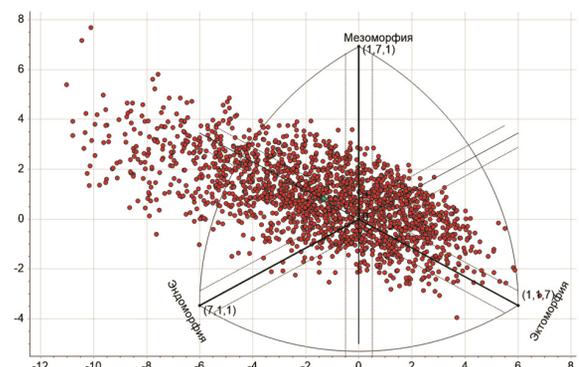


Рисунок 6. Диаграмма рассеяния биоимпедансных оценок соматотипа по Хит-Картеру в протоколе соматотипирования биоимпедансного анализатора ABC-02 «Медасс». Основная группа, женщины (N=1998)

Figure 6. Scatter plot of the bioimpedance estimates of the Heath-Carter somatotype in the somatotyping protocol for the ABC-02 'Medas' bioimpedance instrument. The main group, females (N=1998)

ИМТ (см. табл. 4–5 и 8–9), что не удивительно в силу возрастной структуры рассматриваемой основной группы, где преобладали лица молодого возраста с нормальными значениями ИМТ (см. рис. 1–2). Отчасти снижение точности формул в старшей возрастной группе может объясняться наличием положительной корреляции возраста с распространённостью повышенных и высоких значений ИМТ.

В группе сравнения 1 единые расчётные формулы (1)-(2) характеризовались сниженной точностью ($R^2=0,84$ и $SEE=1,03$ для эндоморфии; $R^2=0,75$ и $SEE=0,94$ для мезоморфии) относительно основной группы и группы сравнения 2. По нашему мнению, указанные расхождения могут быть связаны как с биологическими различиями рассматриваемых популяций (в частности, в группе сравнения 1 был выше процент лиц с высокими значениями ИМТ, см. рисунок 2), так и с некоторыми различиями методических подходов, использованных при соматотипировании. Как описано в разделе «Материалы и методы», для оценки обхвата напряжённого плеча и толщины жировой складки над подвздошным гребнем в группе сравнения 1 (а также в подгруппе основной группы) применялись формулы пересчёта на основе измеренных значений обхвата расслабленного плеча и толщины жировой складки на животе возле пупка соответственно. В соответствии с теорией ошибок, использование таких данных должно снижать точность получаемых оценок соматотипа. Кроме того, в группе сравнения 1 при измерении жировых складок использовался другой тип калипера – калипер Вереск (Красноярск, Россия). По результатам проведенного в 2017 году сравнительного исследования статических и динамических характеристик нескольких типов калиперов один из калиперов Вереск, использованный несколькими годами ранее для сбора данных в группе сравнения 1, существенно завышал толщину жировой складки в сравнении с калиперами GPM [Руднев с соавт., 2017]. К сожалению, проверка динамических свойств калиперов в России на сегодняшний день не практикуется, что ещё раз подчёркивает необходимость разработки и использования надёжного антропометрического инструментария, а также адекватных средств контроля его качества для обеспечения сопоставимости данных антропометрических измерений.

Ввиду снижения точности единых расчётных формул для оценки соматотипа при высоких

значениях ИМТ мы разработали отдельные формулы для лиц с ожирением по данным соответствующей подгруппы основной группы ($N=296$). 80,7% указанной подгруппы составили лица моложе 19 лет, а морбидное ожирение, определяемое при $ИМТ \geq 35$ кг/м² и соответствующих значениях у детей и подростков, наблюдалось только у 49 из 296 обследованных (16,6%). Это означает, что формулы (3)-(4) рассчитаны, прежде всего, на детей, подростков и молодых взрослых людей с ожирением 1 степени. Отметим, что точность их была ниже, чем формул (1)-(2) для общей популяции. Интересно установить, возможно ли повышение точности таких формул у лиц с высокими значениями ИМТ с учётом топографии жиротложения и других не рассмотренных факторов? Сравнительная характеристика точности предложенных нами расчётных формул для оценки соматотипа по данным биоимпедансных измерений в рассматриваемых группах, а также в подгруппах лиц с высокими значениями ИМТ, представлена в таблицах 11 и 12.

Одной из актуальных задач является разработка формул биоимпедансной оценки соматотипа у лиц с морбидным ожирением. Значимые различия антропометрических расчётных значений и биоимпедансных оценок соматотипа по формулам для общей популяции у лиц преимущественно данной категории отмечались в статье [Семенов с соавт., 2022] (средние значения ИМТ в указанной работе составили 39,6 кг/м² для мужчин и 38,2 кг/м² для женщин). Однако в этом случае следует иметь в виду наличие значительных методических трудностей определения необходимых антропометрических размеров, включая измерение толщины жировых складок [Gray et al., 1990], что должно приводить к снижению воспроизводимости результатов измерений и заставляет серьёзно усомниться в сопоставимости данных антропометрического соматотипирования таких пациентов, получаемых разными группами исследователей.

Как отмечалось нами ранее, формулы для оценки соматотипа в общей популяции на основе биоимпедансных измерений могут быть менее точны при их применении у спортсменов [Анисимова с соавт., 2016], что подтверждается в нашем исследовании данными для подгруппы мужчин 19–25 лет группы сравнения 2, представленной, в основном, профессиональными спортсменами (см. рис. 4).

Говоря о точности формул биоимпедансной оценки соматотипа, нельзя не коснуться природы формул для определения баллов эндо-, мезо- и эктоморфии в антропометрическом методе Хит-Картера. Авторы данного метода декларируют, что указанные формулы применимы независимо от пола и этнической принадлежности обследуемых в широком возрастном диапазоне [Carter, Heath, 1990; Carter, 2002]. В том числе они используются без каких-либо изменений в различных клинических и профессиональных группах – например, у спортсменов. Однако по своей сути они представляют собой прогнозирующие формулы, коэффициенты которых подбирались на основе соответствия данным соматоскопии. Поэтому степень соответствия указанных формул данным соматоскопии для лиц с разными вариантами телосложения может быть различной, что из соображений удобства применения единых формул игнорируется. На наш взгляд, вопросы соответствия антропомет-

рического и соматоскопического методов Хит-Картера освещены в литературе недостаточно подробно. По аналогии с этим, построенные формулы (1)-(2), хорошо согласованные с антропометрическими формулами Хит-Картера для общей популяции, до проведения углублённого исследования с использованием как антропометрического, так и соматоскопического подходов, можно считать приемлемыми индексами развития жировой ткани и скелетно-мышечного развития, соответственно, для общего применения.

Как описано выше, в текущей версии программного обеспечения ABC02-0362 биоимпедансного анализатора ABC-02 «Медасс» (НТЦ Медасс, Россия) реализованы предложенные нами расчётные формулы биоимпедансной оценки соматотипа по Хит-Картеру, включая формулы (1)-(2) и (3)-(4) данного исследования, с возможностью группировки данных, визуализации данных

Таблица 11. Характеристика точности расчётных формул для оценки соматотипа на основе биоимпедансных измерений в основной группе и группах сравнения
Table 11. Accuracy of BIA-based formulas for assessing the somatotype in the main group and comparison groups

Расчётные формулы (ссылка)	ЭНДО		МЕЗО	
	R ²	SEE	R ²	SEE
Основная группа (N=4296)				
Формулы (1)-(2)	0,84	0,76	0,87	0,48
Anisimova et al., 2016	0,80	0,78	0,86	0,64
Колесников с соавт., 2016	0,81	0,84	0,83	0,56
Синдеева, Руднев, 2017	0,75	0,97	0,82	0,62
Rudnev et al., 2019	0,80	0,91	0,84	0,59
Группа сравнения 1 (N=3954)				
Формулы (1)-(2)	0,84	1,03	0,75	0,94
Anisimova et al., 2016	0,80	1,40	0,65	1,42
Колесников с соавт., 2016	0,81	1,31	0,72	1,22
Синдеева, Руднев, 2017	0,90	0,69	0,78	0,88
Rudnev et al., 2019	0,88	0,79	0,77	0,91
Группа сравнения 2 (N=940)				
Формулы (1)-(2)	0,82	0,78	0,88	0,45
Anisimova et al., 2016	0,82	0,86	0,84	0,56
Колесников с соавт., 2016	0,83	0,83	0,87	0,49
Синдеева, Руднев, 2017	0,74	0,92	0,83	0,57
Rudnev et al., 2019	0,80	0,79	0,86	0,52

Таблица 12. Характеристика точности расчётных формул для оценки соматотипа на основе биоимпедансных измерений в подгруппах основной группы и групп сравнения с высокими значениями ИМТ
Table 12. Accuracy of BIA-based formulas for assessing the somatotype in the subgroups of the main group and comparison groups with high BMI values

Расчётные формулы (ссылка)	ЭНДО		МЕЗО	
	R ²	SEE	R ²	SEE
Основная группа, ИМТ≥30 кг/м ² (N=296)				
Формулы (3)-(4)	0,69	0,87	0,62	0,64
Anisimova et al., 2016	0,66	1,10	0,43	0,95
Колесников с соавт., 2016	0,66	1,10	0,48	0,90
Синдеева, Руднев, 2017	0,60	1,34	0,56	0,76
Rudnev et al., 2019	0,65	1,03	0,58	0,78
Группа сравнения 1, ИМТ≥30 кг/м ² (N=511)				
Формулы (3)-(4)	0,43	1,09	0,30	1,36
Anisimova et al., 2016	0,42	2,05	0,21	2,15
Колесников с соавт., 2016	0,45	1,97	0,26	1,99
Синдеева, Руднев, 2017	0,41	1,04	0,35	1,33
Rudnev et al., 2019	0,31	1,41	0,31	1,38
Группа сравнения 2, ИМТ≥30 кг/м ² (N=51)				
Формулы (3)-(4)	0,45	1,07	0,51	0,72
Anisimova et al., 2016	0,37	1,39	0,25	1,22
Колесников с соавт., 2016	0,46	1,21	0,51	0,74
Синдеева, Руднев, 2017	0,51	1,81	0,53	0,74
Rudnev et al., 2019	0,54	1,05	0,55	0,72

на соматограмме и статистических расчётов. Новой является возможность визуального анализа индивидуальных изменений соматотипа, что имеет значение для различных областей приложений, включая спортивную антропологию, клиническую медицину и фитнес. В дальнейшем, с учётом закономерных половозрастных изменений соматотипа (см., например, [Синдеева, Руднев, 2017; Anisimova et al., 2016; Rudnev et al., 2019]), планируется реализация возможности представления данных на фоне референсных значений соматотипа, а на основе функции импорта данных в интересах антропологических исследований будет реализована возможность визуализации и анализа данных антропометрического метода Хит-Картера.

Преимуществом биоимпедансного анализа является меньшая зависимость его результатов от квалификации исследователя в сравнении с антропометрией. Предложенные нами формулы биоимпедансной оценки соматотипа опираются только на величины, измеряемые в ходе стандартной процедуры биоимпедансного обследования. Однако ввиду различий конструктивных особенностей биоимпедансных анализаторов, способов измерений (лёжа, стоя или сидя) и электродных систем существует необходимость взаимной калибровки первичных данных биоимпедансных измерений, полученных с использованием разного биоимпедансного оборудования [Bennett et al., 2024]. Различия могут быть минимальны при использовании однотипных устройств и схем измерений, как при сравнении анализаторов RJL 101 (RJL Systems, США) и Valhalla 1990B (Valhalla Scientific, США), задействованных в исследованиях Fels и NHANES соответственно [Chumlea et al., 2002]. А при использовании анализаторов с разными способами, частотами измерений и схемами наложения электродов различия модулей импедансов могут быть весьма значительными и составлять десятки Ом [Сипатрова с соавт., 2023; Rudnev et al., 2020]. Это означает, что для биоимпедансной оценки соматотипа с использованием биоимпедансных анализаторов других типов в соответствующие формулы вместо измеренного значения активного сопротивления (или модуля импеданса) должно быть подставлено эквивалентное ему значение активного сопротивления анализатора ABC-01 или ABC-02 «Медасс». Такие соответствия были установлены для анализаторов Диамант-АИСТ (ООО Диамант, Россия) [Сипатрова с соавт., 2023] и Tanita

BC-418MA (Tanita, Япония) [Rudnev et al., 2020]. Также следует отметить, что по своим характеристикам и схеме измерений российские биоимпедансные анализаторы ABC-01 и ABC-02 «Медасс» тесно соответствуют классическим моделям устройств, таким как упомянутый анализатор RJL-101 и его итальянская реплика BIA 101 производства Akern.

По мотивам наших публикаций вышло несколько зарубежных работ, посвящённых построению формул биоимпедансной оценки соматотипа. В исследованиях Ф. Кампы с соавт. такие формулы были предложены для элитных футболистов-мужчин по данным обследования 176 представителей итальянской премьер-лиги, средний возраст которых составил 26,9 лет [Campra et al., 2020a], а также для элитных юных футболистов по данным обследования 173 воспитанников футбольной академии премьер-лиги, средний возраст которых составил 13,6 лет [Campra et al., 2020b]. Для измерения жировых складок авторами использовался рекомендованный для соматотипирования по Хит-Картеру калипер Holtain, а для биоимпедансных измерений – анализатор BIA 101 (Akern, Италия), при этом по одной трети рассматриваемых групп использовались для перекрёстной проверки формул. Доля объяснённой дисперсии для предложенных ими формул ($R^2=0,80-0,86$ для эндоморфии; $R^2=0,80-0,87$ для мезоморфии) в целом соответствовала нашим результатам, а стандартные ошибки регрессии были ниже, чем в наших публикациях ($SEE=0,16-0,28$ для эндоморфии; $SEE=0,36-0,40$ для мезоморфии). Особенностью этих формул является наличие в них переменных, не определяемых в стандартной процедуре биоимпедансного обследования (толщина жировых складок на трицепсе и под лопаткой, обхват напряжённого плеча и обхват голени), и параметров состава тела, алгоритмы оценки которых не всегда доступны пользователю. По существу, использованный авторами подход представляет собой гибрид антропометрического метода Хит-Картера и биоимпедансного метода, что может быть не вполне оправдано с точки зрения удобства применения. В работах А. Бертуччоли с соавт. по результатам пилотного [Bertuccioli et al., 2022a] и основного исследования [Bertuccioli et al., 2022b] были предложены формулы биоимпедансной оценки соматотипа для женщин и мужчин 18–65 лет общей популяции. Для измерения жировых складок авторами использовался калипер Metrika

70200, а для биоимпедансных измерений – анализатор BIA 101 (Акern, Италия); общее количество обследованных составило 2827 человек. Доля объяснённой дисперсии при оценке баллов эндоморфии ($R^2=0,66$ и $0,68$) была ниже, а при оценке баллов мезоморфии ($R^2=0,79$ и $0,86$) в целом соответствовала нашим результатам. Стандартные ошибки регрессии ($SEE=0,68$ и $0,74$ для эндоморфии; $SEE=0,57$ и $0,65$ для мезоморфии) также соответствовали результатам нашего исследования для основной группы и группы сравнения 2 (см. табл. 11). В исследовании М. Дривен с соавт. был апробирован нейросетевой подход к биоимпедансной оценке соматотипа по данным обследования 173 молодых женщин 19-29 лет [Drywień et al., 2021]. Для измерения жировых складок авторами использовался рекомендованный калипер Harpenden, а для биоимпедансных измерений – анализатор Maltron BioScan 920-2 (Maltron, Великобритания). В результате обучения многослойных перцептронов была достигнута точность оценки баллов эндоморфии ($R^2=0,87$, $RMSE=0,45$) и мезоморфии ($R^2=0,79$, $RMSE=0,61$), сопоставимая с результатами наших исследований. По неясной причине во всех перечисленных работах были также построены формулы и алгоритмы оценки балла эктоморфии несмотря на то, что для его расчёта в антропометрическом методе Хит-Картера используются только рост и вес. В целом, результаты зарубежных исследований подтвердили возможности предложенного нами метода соматотипирования по Хит-Картеру, основанного на биоимпедансных измерениях.

Перспективной возможностью соматотипирования является использование 3D сканирования – современного оперативного и безопасного метода комплексной антропометрии, допускающего возможность применения в массовых популяционных исследованиях [Wells, 2012; Neumsfield et al., 2018]. Другие преимущества данного метода в сравнении с традиционной антропометрией заключаются в бесконтактном способе измерений человека, автоматизации процесса измерений, возможности хранения трёхмерного цифрового аватара человека и ретроспективного анализа любого набора антропометрических признаков и соответствующих индексов. Оборудование для 3D сканирования, сопоставимое по качеству измерений с результатами традиционной антропометрии, выпускается во многих странах мира, включая Россию [Ballester et al., 2022]. Показана возможность ис-

пользования 3D сканирования для оценки и отслеживания динамики изменений состава тела [Ng et al., 2016; Wong et al., 2024]. Представляют интерес будущие сравнительные исследования возможностей биоимпедансных измерений и 3D сканирования для оценки соматотипа с использованием машинного обучения.

Выводы

Ввиду массовости биоимпедансных измерений полученные результаты значительно расширяют возможности оценки соматотипа и исследования его изменчивости под влиянием эндогенных и экзогенных факторов. Использование единых расчётных формул для людей разного возраста должно способствовать повышению сопоставимости получаемых оценок соматотипа и надёжности результатов последующих сравнений.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М.В.Ломоносова (Година Е.З. Пермякова Е.Ю.).

Работа С.Г. Руднева поддержана Отделением Московского центра фундаментальной и прикладной математики в ИВМ РАН (Соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2025-347). Авторы благодарят сотрудников лаборатории ауксологии человека НИИ и Музея антропологии МГУ имени М.В. Ломоносова и кафедры антропологии биологического факультета МГУ, принявших участие в обследованиях, а также всех участников измерительных программ.

Библиография

- Анисимова А.В., Година Е.З., Руднев С.Г., Свистунова Н.В. Проверка применимости формул для биоимпедансной оценки соматотипа по Хит-Картеру у детей и подростков в различных популяциях // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология, 2016. № 2. С. 28–38.
- Башкиров П.Н. Учение о физическом развитии человека. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1962. 340 с.
- Боголюбов А.Н., Чиненова В.Н. Франц Рело. 1829–1905. М.: Наука, 2014. 268 с.
- Бунак В.В. Антропометрия. М.: Учпедгиз. 1941. 368 с.
- Дерябин В.Е. Соматология мужчин СССР середины 1970-х годов. М.: Параллели. 2009. 258 с.
- Колесников В.А., Руднев С.Г., Николаев Д.В., Анисимова А.В., Година Е.З. О новом протоколе оценки соматотипа по схеме Хит-Картера в программном

обеспечении биоимпедансного анализатора состава тела // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология, 2016. № 4. С. 4–13.

Кречмер Э. Строение тела и характер (пер. с нем.). М.-Петроград: Государственное издательство. 1924. 288 с.

Негашева М.А. Основы антропометрии. М: Экон-Информ. 2017. 216 с.

Руднев С.Г., Анисимова А.В., Синдеева Л.В., Задорожная Л.В., Лукина С.С. с соавт. Методические вопросы изучения вариаций подкожного жира: сравнение различных типов калиперов // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология, 2017. № 3. С. 4–26.

Семенов М.М., Выборная К.В., Раджабканиев Р.М., Гаппарова К.М., Шарафетдинов Х.Х. с соавт. Оценка типов телосложения пациентов с ожирением I-III степени по схеме Хит-Картера с помощью различных формул // Вестник восстановительной медицины, 2022. Т. 21, № 6. С. 78–90. DOI: 10.38025/2078-1962-2022-21-6-78-90

Синдеева Л.В., Руднев С.Г. Характеристика половозрастной изменчивости соматотипа по Хит-Картеру у взрослых людей и возможности его биоимпедансной оценки (на примере русского населения Восточной Сибири) // Морфология, 2017. Т. 151, № 1. С. 77–87.

Сипатрова А.Г., Година Е.З., Пермьякова Е.Ю., Анисимова А.В. с соавт. Биоимпедансный анализ состава тела с использованием анализаторов ABC-01 «Медасс» и Диамант-АИСТ: результаты сравнения // Вестник Московского университета. Серия 23: Антропология, 2023. №2. С. 70–81. DOI: 10.32521/2074-8132.2023.2.070-081.

Смирнов А.В., Колесников В.А., Николаев Д.В., Ерюкова Т.А. ABC-01 «Медасс»: анализатор оценки баланса водных секторов организма с программным обеспечением (руководство пользователя). М.: НТЦ Медасс. 2009. 38 с

Информация об авторах

Руднев Сергей Геннадьевич, доц., к.ф.-м.н., ORCID ID: 0000-0001-5437-8429; rdnv2019@yandex.ru;

Колесников Владимир Александрович, ORCID ID: 0000-0003-0332-8477; kolesnikov.home@gmail.com;

Николаев Дмитрий Викторович, ORCID ID: 0000-0002-1461-5896; dvn@medass.ru;

Анисимова Анна Викторовна, ORCID ID: 0000-0003-4584-4867; aniat83@gmail.com;

Година Елена Зиновьевна, проф., д.б.н., ORCID ID: 0000-0002-0692-420X; egodina@rambler.ru;

Пермьякова Екатерина Юрьевна, к.б.н., ORCID ID: 0000-0002-6490-4004; ekaterinapermyakova@gmail.com;

Медведева Людмила Викторовна, проф., д.б.н., ORCID ID: 0000-0003-0469-9552; lsind@mail.ru;

Негашева Марина Анатольевна, проф., д.б.н., ORCID ID: 0000-0002-7572-4316; negasheva@mail.ru.

Поступила в редакцию 01.09.2024,
принята к публикации 09.09.2024

Rudnev S.G.¹⁾, Kolesnikov V.A.²⁾, Nikolaev D.V.²⁾, Anisimova A.V.³⁾, Godina E.Z.⁴⁾, Permiakova E.Yu.⁴⁾, Medvedeva L.V.⁵⁾, Negasheva M.A.⁶⁾

¹⁾ Marchuk Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Sciences, Gubkin str., 8, Moscow, 119333, Russia

²⁾ SRC Medas, Radio str., 24(1), Moscow, 105005, Russia

³⁾ Institute of Gene Biology, Russian Academy of Sciences, Vavilov str., 34/5, Moscow, 119334, Russia

⁴⁾ Lomonosov Moscow State University, Anuchin Research Institute and Museum of Anthropology, Mokhovaya str., 11, Moscow, 125009, Russia

⁵⁾ Immanuel Kant Baltic Federal University, Alexandr Nevsky str., 14, Kaliningrad, 236016, Russia

⁶⁾ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Anthropology, Leninskie Gory, 1(12), Moscow, 119234, Russia

BIOIMPEDANCE ASSESSMENT OF THE HEATH-CARTER SOMATOTYPE: UPDATED FORMULAS AND SOFTWARE

Introduction. In our recent publications, we have established the possibility of using bioimpedance measurements to assess the Heath-Carter somatotype in different age groups. We aimed to develop unified formulas for calculating the somatotype in children and adults, evaluate their accuracy based on age and body mass index, and improve the somatotyping protocol in bioimpedance analyzer software.

Materials and methods. Data from our previous studies on comprehensive anthropometry and related BIA measurements were considered. The main group consisted of ethnic Russians aged 7-59, who were examined in Moscow, Arkhangelsk, Arkhangelsk Region, Elista, and Samara (N=4,296). The comparison group 1 included ethnic Russians aged 16-86 from the Krasnoyarsk Region (N=3,954). The comparison

group 2 consisted of ethnic Kalmyks aged 8-25 from Elista (N=940). Using the data of the main group, bioimpedance predictive formulas for Endomorphy ($ENDO_{BIA}$) and Mesomorphy ($MESO_{BIA}$) ratings were obtained. We evaluated their accuracy in different subgroups of the main group and the comparison groups.

Results. The obtained formulas were as follows: $ENDO_{BIA} = -3,411.8/R50 + 0.942 \times BMI - 0.00938 \times BMI^2 - 0.0235 \times Ht - 0.28 \times Sex + 0.034 \times Age - 2.69$ (N=4,296; $R^2=0.84$; $SEE=0.76$); $MESO_{BIA} = 1,531.8/R50 + 0.302 \times BMI - 0.0529 \times Ht + 0.57 \times Sex - 0.032 \times Age + 4.52$ (N=4,296; $R^2=0.87$; $SEE=0.48$). These were relatively accurate for the age range 7-40 years for males and 7-59 years for females, but less accurate outside these age ranges or at high BMI values. Based on this, we also suggested formulas for obese people: $ENDO_{BIA} = -2,569/R50 + 0.854 \times BMI - 0.0087 \times BMI^2 - 0.0263 \times Ht - 0.032 \times Sex + 0.018 \times Age - 1.60$ (N=296; $R^2=0.69$; $SEE=0.87$); $MESO_{BIA} = 1,567/R50 + 0.55 \times BMI - 0.00512 \times BMI^2 - 0.0524 \times Ht + 0.42 \times Sex - 0.035 \times Age + 1.66$ (N=296; $R^2=0.62$; $SEE=0.64$). The formulas were integrated into the ABC-02 'Medas' (SRC Medas, Russia) BIA instrument software.

Conclusions. Our findings expand the possibilities for assessing the somatotype and studying its variability. Using uniform calculation formulas for children and adults will help improve comparability of estimates and validity of comparisons.

Keywords: biological anthropology; somatotype; bioimpedance estimate; bioimpedance instrument; software

DOI: 10.55959/MSU2074-8132-25-2-2

References

- Anisimova A.V., Godina E.Z., Rudnev S.G., Svistunova N.V. Validation of bioimpedance equations for the assessment of Heath-Carter somatotype in children and adolescents. *Moscow University Anthropology Bulletin* [Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23: Antropologiya], 2016, 2, pp. 28–38. (In Russ.).
- Bashkirov P.N. *The doctrine of human physical development*. Moscow, Moscow Univ. Publ., 1962. 340 p. (In Russ.).
- Bogolyubov A.N., Chinenova V.N. *Franz Reuleaux. 1829–1905*. Moscow, Nauka Publ., 2014. 268 p. (In Russ.).
- Bunak V.V. *Anthropometry*. Moscow, Uchpedgiz Publ., 1941. 368 p. (In Russ.).
- Deryabin V.E. *Somatology of men in the USSR in the mid-1970s*. Moscow, Paralleli, 2009. 258 p. (In Russ.).
- Kolesnikov V.A., Rudnev S.G., Nikolaev D.V., Anisimova A.V., Godina E.Z. On a new protocol of the Heath-Carter somatotype assessment using software for body composition bioimpedance analyzer. *Moscow University Anthropology Bulletin* [Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23: Antropologiya], 2016, 4, pp. 4–13. (In Russ.).
- Kretschmer E. *Somatotype and Character* (transl. from German). Moscow-Petrograd, State Publ. House, 1924. 288 p. (In Russ.).
- Negasheva M.A. *Anthropometry Basics*. Moscow, Econ-Infom Publ., 2017. 216 p. (In Russ.).
- Rudnev S.G., Anisimova A.V., Sindeyeva L.V., Zadorozhnaya L.V., Lukina S.S. et al. Methodological issues of studying variations in subcutaneous fat: a comparison of different types of skinfold calipers. *Moscow University Anthropology Bulletin* [Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 23: Antropologiya], 2017, 3, pp. 4–26. (In Russ.).
- Semenov M.M., Vybornaya K.V., Radzhabkadiyev R.M., Gapparova K.M., Sharafetdinov Kh.K. et al. Evaluation of the somatotype of patients with class 1, 2 and 3 obesity according to the Heath-Carter scheme using various formulas. *Bulletin of Restorative Medicine*, 2022, 21 (6), pp. 78–90. (In Russ.).
- Sindeyeva L.V., Rudnev S.G. Characteristic of age and sex-related variability of the Heath-Carter somatotype in adults and possibility of its bioimpedance assessment (as exemplified by Russian population of Eastern Siberia). *Morfologiya*, 2017, 151 (1), pp. 77–87. (In Russ.).
- Sipatrova A.G., Godina E.Z., Permiakova E.Yu., Anisimova A.V., Zubko A.V., Rudnev S.G. Bioimpedance assessment of body composition using ABC-01 'Medas' and Diamant-AIST instruments: a comparison. *Lomonosov Journal of Anthropology* [Moscow University Anthropology Bulletin], 2023, 2, pp. 70–81. (In Russ.). DOI: 10.32521/2074-8132.2023.2.070-081.
- Smirnov A.V., Kolesnikov V.A., Nikolaev D.V., Eryukova T.A. *ABC-01 'Medas': Analyzer for the Assessment of Body Fluids Balance with Software (User Manual)*. Moscow, NTTs Medas Publ., 2009. 38 p. (In Russ.).
- Anisimova A.V., Godina E.Z., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. Evaluation of the Heath-Carter somatotype revisited: new bioimpedance equations for children and adolescents. *IFMBE Proceedings*, vol. 54 (Eds. F. Simini, P. Bertemes-Filho). Springer, Singapore-Heidelberg, 2016, pp. 80-83. DOI: 10.1007/978-981-287-928-8_21.
- Ballester A., Wright W., Valero J., Scott E., Delvin T. et al. Comparative analysis of anthropometric methods: past, present, and future. *IEEE Standards Association Industry Connections Report*, 2022. 52 p. Available at: <https://standards.ieee.org/wp-content/uploads/2022/06/comparative-analysis-anthropometric-methods.pdf> Accessed 15.08.2024.
- Bennett J.P., Cataldi D., Liu Y.E., Kelly N.N., Quon B.K. et al. Variations in bioelectrical impedance devices impact raw measures comparisons and subsequent prediction of body composition using recommended estimation equations. *Clin. Nutr. ESPEN*, 2024, 63, pp. 540–550. DOI: 10.1016/j.clnesp.2024.07.009.
- Bertuccioli A., Donati Zeppa S., Amatori S., Moricoli S., Fortunato R. et al. A new strategy for somatotype assessment using bioimpedance analysis in adults. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 2022a, 62 (2), pp. 296–297. DOI: 10.23736/S0022-4707.21.12284-4.
- Bertuccioli A., Sisti D., Amatori S., Perroni F., Rocchi M.B.L. et al. A new strategy for somatotype assessment using bioimpedance analysis: stratification according to sex. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.*, 2022b, 7 (4), p. 86. DOI: 10.3390/jfmk7040086.

- Bland J.M., Altman D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1986, 327 (8476), pp. 307–310. DOI: 10.1016/S0140-6736(86)90837-8.
- Campa F., Bongiovanni T., Matias C.N., Genovesi F., Trecroci A. et al. A new strategy to integrate Heath-Carter somatotype assessment with bioelectrical impedance analysis in elite soccer player. *Sports (Basel)*, 2020a, 8 (11), p. 142. DOI: 10.3390/sports8110142.
- Campa F., Matias C.N., Nikolaidis P.T., Lukaski H., Talluri J., Toselli S. Prediction of somatotype from bioimpedance analysis in elite youth soccer players. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020b, 17 (21), p. 8176. DOI: 10.3390/ijerph17218176.
- Carter J.E.L. The Heath-Carter anthropometric somatotype: instruction manual. 2002. Available at: <https://phentermineclinics.net/wp-content/uploads/2023/09/Heath-CarterManual.pdf>. Accessed 15.08.2024.
- Carter J.E.L., Heath B.H. *Somatotyping: Development and Applications*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990. 520 p.
- Chumlea W.C., Guo S.S., Kuczmarski R.J., Flegal K.M., Johnson C.L. et al. Body composition estimates from NHANES III bioelectrical impedance data. *Int. J. Obes.*, 2002, 26 (12), pp. 1596–1609. DOI: 10.1038/sj.ijo.0802167.
- Drywień M., Górnicki K., Górnicka M. Application of artificial neural network to somatotype determination. *Appl. Sci.*, 2021, 11 (4), p. 1365. DOI: 10.3390/app11041365.
- Gray D.S., Bray G.A., Bauer M., Kaplan K., Gemayel N. et al. Skinfold thickness measurements in obese subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1990, 51 (4), pp. 571–577. DOI: 10.1093/ajcn/51.4.571.
- Heath B.H., Carter J.E.L. A modified somatotype method. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 1967, 27 (1), pp. 57–74. DOI:10.1002/ajpa.1330270108 (Русский перевод: Хум Б.Х., Картер Дж.Е.Л. Современные методы соматотипирования. Ч. 2. Модифицированный метод определения соматотипов // Вопросы антропологии. 1969. Вып. 33. С. 60–79.)
- Heymsfield S.B., Bourgeois B., Ng B.K., Sommer M.J., Li X., Shepherd J.A. Digital anthropometry: a critical review. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2018, 72 (5), pp. 680–687. DOI: 10.1038/s41430-018-0145-7.
- Houtkooper L.B., Going S.B., Lohman T.G., Roche A.F., Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *J. Appl. Physiol.*, 1992, 72 (1), pp. 366–373. DOI: 10.1152/jappl.1992.72.1.366.
- Kushner R.F., Schoeller D.A. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1986, 44 (3), pp. 417–424. DOI: 10.1093/ajcn/44.3.417.
- Liu X., Li W., Wen Y., Xu G., Zhou G. et al. Obesity and Heath-Carter somatotyping of 3438 adults in the Xinjiang Uygur autonomous region of China by multivariate analysis. *Diabetes Metab. Syndr. Obes.*, 2021, 14, pp. 659–670. DOI: 10.2147/DMSO.S287954.
- Ng B.K., Hinton B.J., Fan B., Kanaya A.M., Shepherd J.A. Clinical anthropometrics and body composition from 3D whole-body surface scans. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2016, 70 (11), pp. 1265–1270. DOI: 10.1038/ejcn.2016.109.
- Rajkumar R.V. Endomorphy dominance among non-athlete population in all the ranges of body mass index. *Int. J. Physiother. Res.*, 2015, 3 (3), pp. 1068–1074. DOI: 10.16965/ijpr.2015.139.
- Ramachandran A., Vertinsky P. Speaking back to Sheldon: Barbara Honeyman Heath as the new 'doyenne of somatotyping'. *Cultural History*, 2022, 11 (1), pp. 49–69. DOI: 10.3366/cult.2022.0254.
- Rudnev S., Burns J.S., Williams P.L., Lee M.M., Korrick S.A. et al. Comparison of bioimpedance body composition in young adults in the Russian Children's Study. *Clin. Nutr. ESPEN*, 2020, 35, pp. 153–161. DOI: 10.1016/j.clnesp.2019.10.007.
- Rudnev S.G., Negasheva M.A., Godina E.Z. Assessment of the Heath-Carter somatotype in adults using bioelectrical impedance analysis. *J. Phys.: Conf. Series*, 2019, 1272, 012001. DOI: 10.1088/1742-6596/1272/1/012001.
- Sheldon W.H., Stevens S.S., Tucker W.B. *The Varieties of Human Physique*. Harper and Brothers, New York, 1940. 347 p.
- Siders W., Rue M. Reuleaux triangle somatogram. *Comput. Med Biol.*, 1992, 22 (5), pp. 363–368. DOI: 10.1016/0010-4825(92)90024-H.
- Wells J.C.K. Three-dimensional (3-D) photonic scanning: a new approach to anthropometry. In: V.R. Preedy (Ed.) *Handbook of Anthropometry: Physical Measures of Human Form in Health and Disease*. N.Y., Springer, 2012, pp. 205–217.
- Wong M.C., Bennett J., Garber A., Heymsfield S., Maskarinec G. et al. Monitoring body composition in pediatrics with 3D optical imaging: a pilot study. *Curr. Dev. Nutr.*, 2024, 8 (Suppl. 2), 103588. DOI: 10.1016/j.cdnut.2024.103588.
- World Health Organization. BMI-for-age (5-19 years). 2024a. Available at: <https://www.who.int/tools/growth-reference-data-for-5to19-years/indicators/bmi-for-age> Accessed 15.08.2024.
- World Health Organization. The Global Health Observatory. Body Mass Index (BMI). 2024b. Available at: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/body-mass-index> Accessed 15.08.2024.

Information about the authors

Rudnev Sergey G., associate professor, PhD, ORCID ID: 0000-0001-5437-8429; rdnv2019@yandex.ru;

Kolesnikov Vladimir A., ORCID ID: 0000-0003-0332-8477; kolesnikov.home@gmail.com;

Nikolaev Dmitry V., ORCID ID: 0000-0002-1461-5896; dvn@medass.ru;

Anisimova Anna V., ORCID ID: 0000-0003-4584-4867; aniat83@gmail.com;

Godina Elena Z., professor, PhD, DSci, ORCID ID: 0000-0002-0692-420X; egodina@rambler.ru;

Permiakova Ekaterina Yu., PhD, ORCID ID: 0000-0002-6490-4004; ekaterinapermyakova@gmail.com;

Medvedeva Lyudmila V., professor, PhD, DSci, ORCID ID: 0000-0003-0469-9552; lsind@mail.ru;

Negasheva Marina A., professor, PhD, DSci, ORCID ID: 0000-0002-7572-4316; negasheva@mail.ru.

© 2025. This work is licensed under a CC BY 4.0 license