

© Ю. Р. Шейх-Заде, 2012
УДК 572.5

Ю. Р. Шейх-Заде

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЖИРОВОЙ ТКАНИ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Кафедра нормальной физиологии (зав. — проф. В. М. Покровский), Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар

С помощью математических моделей состава тела человека выявлены основные недостатки индекса массы тела [Кетле А., 1832], что позволило предложить более точный вариант этого индекса ($ИМТ=М/Н^3$), а также индекс телосложения [$ИТ=(ИМТ)^{1/2}$] и индекс упитанности организма ($ИУ=М/НС^2$), где М, Н и С — соответственно масса, рост и окружность запястья человека. Эффективность метода оценки продемонстрирована при обследовании 154 студенток в возрасте от 17 до 20 лет.

Ключевые слова: индекс массы тела, индекс телосложения, индекс упитанности

Упитанность человека (как уровень относительного содержания жировой ткани в организме) давно обсуждается в литературе [9]. Однако четкая оценка этого состояния до сих пор невозможна из-за отсутствия должных методов исследования. Поэтому многие авторы используют в качестве альтернативы эмпирические стандарты ВОЗ [7–10], согласно которым ведущим показателем упитанности является индекс массы тела (далее ИМТ1), получаемый делением массы тела (М) на его рост (Н) в квадрате: $ИМТ1=М/Н^2$ (1) [5, 6, 9]. А это значит, что мерой упитанности человека служит количество условно однородной массы тела, приходящееся на единицу условной площади ($Н^2$), которая условно имитирует реальную площадь тела (S), никак не согласуясь с ней по существу [3]. Таким образом, истинный смысл ИМТ1 пока не вполне ясен, в связи с чем целью работы явился поиск другого решения обсуждаемой задачи.

1. Теоретическое обоснование работы

Чтобы оценить взаимосвязь площади и упитанности тела человека, необходимо напомнить три общеизвестных факта, первым из которых является уравнение $S=cV^{2/3}$ (2), согласно которому площадь любого тела (S) равна корню кубического из объема этого тела в квадрате ($V^{2/3}$), умноженному на коэффициент (с), обусловленный формой этого тела. А если объем тела при этом выражается через его массу и плотность (ρ), то уравнение (2) принимает вид $S=c(M/ρ)^{2/3}=c(M^{2/3}/ρ^{2/3})$ (3).

Согласно второму факту, при изменении всех линейных размеров тела в t раз получается геометрически подобное тело (изомер), площадь и объем которого изменяются соответственно в t^2 и t^3 раз без какого-либо изменения при этом коэффициента (с).

И наконец, третьим фактом является очевидное разделение большинства людей на три основных типа телосложения (астеники, нормостеники и гиперстеники) в зависимости от соотношения продольных и поперечных размеров скелета (при наличии других, менее значимых морфофункциональных признаков) [2].

Если теперь применить эти принципы к морфометрии человека, то выясняется, что большинство людей являются нормостениками (т. е. нормально сложенными и нормально упитанными изомерами друг друга), за исключением некоторой доли людей, более высоких, но менее широких (астеники) или, наоборот, менее высоких, но более широких (гиперстеники) по сравнению с такими же по объему и упитанности нормостениками [4]. Поэтому все равнообъемные и равноупитанные астеники, нормостеники и гиперстеники в межтиповом отношении являются алломерами, то есть геометрически неподобными телами с различными коэффициентами (с) и, что принципиально важно, с неодинаковыми ИМТ1 из-за различий в площади ($Н^2$). В то же время совершенно ясно, что ожирение или исхудание субъектов внутри каждого типа телосложения также превращает их в геометрически неподобных алломеров. А это значит, что коэффициент (с), как и ИМТ1,

Сведения об авторе:

Шейх-Заде Юрий Решадович (e-mail: yurh@rambler.ru), кафедра нормальной физиологии, Кубанский государственный медицинский университет, 350063 Краснодар, ул. Седина, 4

одновременно отражает и упитанность человека, и его телосложение. Однако столь важный показатель до сих пор не привлекает должного внимания, что, вероятно, связано с отсутствием параметра роста в уравнении (3). Между тем, это препятствие можно устранить, если площадь тела для уравнения (3) определять отдельно с помощью формулы $S=d(HM)^{1/2}=d(H^{1/2}M^{1/2})$ (4), где (d) — коэффициент для согласования единиц измерения, а $(HM)^{1/2}$ — корень квадратный из произведения роста человека на массу его тела [3]. И тогда коэффициент (с) в уравнении (3) может быть представлен уже как математически обоснованный ИМТ2, равный $c=d(H^{1/2}M^{1/2})/(M^{2/3}/\rho^{2/3})=d\rho^{2/3}(H^{1/2}M^{1/2}/M^{2/3})=d\rho^{2/3}(H^{1/2}/M^{1/6})$ (5). И наконец, если часть этого уравнения $(H^{1/2}/M^{1/6})$ возвести в шестую степень, получив отношение (H^3/M) , а затем обратно извлечь корень шестой степени в виде $(H^3/M)^{1/6}$, то уравнение (5) примет свой окончательный вид $ИМТ2=d\rho^{2/3}(H^3/M)^{1/6}=d\rho^{2/3}/(M/H^3)^{1/6}$ (6). А это значит, что в основе морфометрического описания человека действительно лежит отношение массы тела к его росту, но только не во второй (см. ИМТ1), а в третьей степени.

Если теперь взять условного мужчину — нормостеника ($H — 1,7$ м, $M — 70,0$ кг, $d — 0,165$, $\rho — 1,064$ кг/дм³, $S — 1,8$ м²) [1, 3], а также 2 его изомеров и 2 равнообъемных алломеров (табл. 1), то получается группа из 5 разноразмерных, но равноупитанных субъектов, позволяющая оценить эффективность любого индекса упитанности организма. И если начать эту проверку с ИМТ1, то выясняется, что он различается не только у

алломеров, но и у всех изомеров, несмотря на полную пропорциональность этих субъектов.

Чтобы понять причину этого факта, необходимо разделить массу каждого человека на ее плотность для превращения ИМТ1 в совершенно аналогичный $ИМТ3=V/H^2$ (7). А если допустить, что масса тела имеет жидкую консистенцию, то ИМТ3 можно представить как уровень этой жидкости в кубическом резервуаре, высота которого равна росту изучаемого человека. И наконец, если в этой модели увеличить все размеры человека в 1,1 раза, то условная площадь (H^2) и объем его тела (V) должны возрасти в $1,1^2$ и $1,1^3$ раза. А это значит, что уровень жидкости в резервуаре (т. е. ИМТ3) неизбежно возрастет по сравнению с исходной величиной (см. табл. 1; строки 2,3; графа 8). Таким образом, даже у истинных изомеров оценка упитанности с помощью ИМТ1 или ИМТ3 носит искаженный характер из-за влияния на них роста изучаемого человека.

Чтобы исправить эту ситуацию, надо разделить обсуждаемые индексы на рост испытуемого. Тогда из ИМТ3 получается $ИМТ4=V/H^3$ (8), который можно представить уже как относительный объем человека, находящегося в вышеописанном резервуаре. По существу, такой же смысл имеет и $ИМТ5=M/H^3$ (9), при использовании которого также исчезают различия между изомерами-нормостениками, составляющими основную часть популяции человека (см. табл. 1; строки 1–3; графы 9, 10). И наконец, если уравнение (6) представить как $ИМТ2=d\rho^{2/3}/(ИМТ5)^{1/6}$ (10), то выясняется, что ИМТ5 легко превращается в ИМТ2 и наоборот (см. табл. 1). Отсюда следует, что оба новых индекса (т. е. ИМТ4 и ИМТ5) по своей

Таблица 1

Сравнительная оценка некоторых индексов массы тела при моделировании различных типов телосложения у одинаково упитанных людей

№	Варианты телосложения	М, кг	Н, м	S, м ²	V, дм ³	ИМТ1, кг/м ²	ИМТ2, усл. ед.	ИМТ3, мм	ИМТ4, дм ³ /м ³	ИМТ5, кг/м ³	ИТ2, усл. ед.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	А-изомер УМ (нормостеник)	51,03	1,53	1,46	47,96	21,80	11,04	20,49	13,39	14,25	3,77
2	УМ (нормостеник)	70,00	1,70	1,80	65,79	24,22	11,04	22,76	13,39	14,25	3,77
3	Б-изомер УМ (нормостеник)	93,17	1,87	2,18	87,57	26,64	11,04	25,04	13,39	14,25	3,77
4	А-алломер УМ (гиперстеник)	70,00	1,53	1,71	65,79	29,90	10,48	28,10	18,37	19,54	4,42
5	УМ (нормостеник)	70,00	1,70	1,80	65,79	24,22	11,04	22,76	13,39	14,25	3,77
6	Б-алломер УМ (астеник)	70,00	1,87	1,89	65,79	20,02	11,58	18,81	10,06	10,70	3,27

Примечание. УМ (строки 2, 5) — нормализованный по ключевым анатомо-физиологическим параметрам условный мужчина-нормостеник [1]; М, Н, S, V — соответственно масса, рост, площадь и объем тела; ИМТ1—ИМТ5 — индексы массы тела; ИТ2 — 2-й индекс телосложения; А-изомер и Б-изомер — равноупитанные изомеры УМ при изменении его роста в 0,9 и 1,1 раза; А-алломер и Б-алломер — равнообъемные и равноупитанные алломеры УМ при изменении его роста в 0,9 и 1,1 раза.

сути не отличаются от ИМТ2 и поэтому также проявляют двойственный характер, одновременно отражая и упитанность организма (по его объему внутри резервуара), и телосложение субъекта (по размерам этого резервуара).

В связи с этим, чтобы оценить только телосложение человека, надо разделить объем его тела на рост, что дает среднюю площадь (А) поперечного сечения данного субъекта, равную (V/H) или (M/ρH). В свою очередь, корень квадратный из (А) есть уже средний поперечный размер (D) обсуждаемой модели, а это значит, что отношение (D/H) является индексом внешней формы этого тела (нормальной, «растянутой» или «сплюснутой»), что полностью совпадает с приведенным выше описанием общепринятых типов телосложения. При этом получаемый индекс телосложения (ИТ) описывается уравнением $ИТ1=(V/H)^{1/2}/H=(V/H^3)^{1/2}=(ИМТ4)^{1/2}$ (11), если в качестве исходного параметра используется объем тела, или уравнением $ИТ2=(ИМТ5)^{1/2}$ (12) (см. табл. 1; графа 11), если для расчетов используется масса тела.

В то же время, предлагая такой способ оценки телосложения, надо отметить, что он применим только для явных астеников и гиперстеников, так как при избыточной упитанности астеника или недостаточной упитанности гиперстеника возможен ошибочный вывод о принадлежности данного человека к нормостеническому типу. Поэтому для выявления таких псевдонормостеников необходима контрольная оценка упитанности организма, вполне осуществимая следующим образом.

Так, если проследить динамику средней площади (А) при «растягивании» или «сплющивании» нормостеников, то можно доказать, что точно такие же относительные сдвиги испытывают все конкретные площади любого горизонтального сечения тела человека и, в частности, площадь поперечного сечения запястья (В). Отсюда следует, что отношение (А/В) должно оставаться неизменным у любого нормостеника при «трансформации» его в астеника или гиперстеника. А поскольку упитанность человека при этом никак не изменяется, то у всех одинаково упитанных людей (независимо от их размеров и типа телосложения) отношение (А/В) также должно быть одинаковым.

В то же время, если у человека изменяется только упитанность организма, то это сразу должно отражаться на величине (А) без существенных изменений при этом показателя (В), так как степень депонирования жира в области запястья носит минимальный характер. Отсюда следует, что отношение (А/В) является индексом упитан-

ности организма (ИУ) независимо от его размеров и типа телосложения.

Чтобы рассчитать этот показатель, необходимо принять площадь поперечного сечения запястья (В) за круг, и тогда искомым индексом может быть описан уравнением $ИУ=A/B=(M/ρH)/(πR^2)$ (13), где R — радиус окружности запястья ($C=2πR$), с помощью которой площадь (В) может быть выражена уравнением $B=π(C/2π)^2=C^2/4π$ (14). Продолжая преобразования, получаем $ИУ=(M/ρH)/(C^2/4π)=4π(M/HC^2)/ρ$ (15), где (M) представлена в кг, а (H) и (C) — в дм. А если из этого уравнения убрать непринципиальные для дальнейшего применения коэффициенты (4π) и (ρ), то получается окончательный вариант $ИУ=M/HC^2$ (16), уменьшение которого говорит об исхудании организма, а увеличение — об избыточном накоплении им жира. При этом получение данного показателя полностью решает задачу уточнения типа телосложения у людей с нормальными ИМТ5 и ИТ2, так как увеличение ИУ в этих условиях может быть только у скрытых, т. е. избыточно упитанных астеников, а уменьшение ИУ — соответственно у скрытых, т. е. недостаточно упитанных гиперстеников.

2. Практическая часть исследования

Чтобы проверить правомерность изложенных представлений, у 154 студенток медицинского университета в возрасте от 17 до 20 лет измеряли рост (см) и массу тела (кг), а также окружность запястья (см). В ходе статистической обработки этих данных определяли количество наблюдений (n), среднее арифметическое значение (M_n) и стандартную ошибку ($±m$) изучаемых показателей, а также показатели достоверности (p) наблюдаемых различий. За возрастную и гендерную норму всех показателей принимали интервал между $0,9M_n$ и $1,1M_n$ при $n=154$ (т. е. $1,0±0,1 M_{154}$).

Средние значения всех показателей приведены в табл. 2. При этом, согласно ИМТ5, нормальное соотношение роста и массы тела имело место у 92 испытуемых (группа А), тогда как формальный недостаток или избыток массы тела отмечались соответственно у 32 (группа Б) и 30 (группа В) человек. В соответствии с ИТ2 испытуемые распределились следующим образом: явные астеники — 7, явные гиперстеники — 9, истинные нормостеники и псевдонормостеники — 138 человек. Наконец, согласно ИУ, были выявлены 114 нормально упитанных девушек, а также по 20 человек с избыточной и недостаточной упитанностью организма.

В ходе дальнейшего анализа было показано, что в группу Б (ИМТ5<нормы) входят все явные астеники (у 3 из которых ИУ был ниже нормы),

Таблица 2

Антропометрические показатели изученной группы девушек (n=154)

СП	Возраст, лет	Рост, см	Масса, кг	ОЗ, см	ИМТ1, кг/м ²	ИМТ2, усл. ед.	ИМТ5, кг/м ³	ИТ2, усл. ед.	ИУ, усл. ед.
ВР	17,00–22,00	150,5–180,0	42,00–78,00	13,5–17,0	15,90–26,83	10,71–11,62	9,75–15,91	3,12–3,99	1,15–1,88
M ₁₅₄ ±m	18,85±0,08	164,3±0,5	56,6±0,6	15,30±0,06	20,99±0,19	11,128± 0,017	12,74±0,12	3,563± 0,017	1,473±0,011

Примечание: СП — статистические показатели; ВР — вариационный размах; ОЗ — окружность запястья; ИМТ1, ИМТ2 и ИМТ5 — соответственно 1-, 2-й и 5-й индексы массы тела; ИТ2 — 2-й индекс телосложения; ИУ — индекс упитанности организма.

4 недостаточно упитанных нормостеника, а также 21 человек с нормальными ИТ2 и ИУ при формальном дефиците массы тела.

Как показало изучение этого факта, средние значения ИТ2 (3,324±0,011 усл. ед.) и ИУ (1,431±0,018 усл. ед.) в обнаруженной подгруппе (n=21) были в пределах нормы (т. е. >0,9 M₁₅₄), но в то же время ниже M₁₅₄ (см. табл. 2), что в совокупности привело к снижению ИМТ5. Поэтому обсуждаемые девушки были отнесены к промежуточному типу телосложения (полуастеникам), так как небольшое снижение ИТ2 в этой подгруппе (<3,207) позволяло бы считать их нормально упитанными астениками.

Убедительным доказательством морфологической близости явных астеников и полуастеников явилось практическое совпадение у них индекса Соловьева (то есть окружности запястья), составившего в обеих подгруппах соответственно 14,43±0,17 и 14,60±0,14 см (P>0,5).

При аналогичном анализе группы В (ИМТ5>нормы) оказалось, что в нее входят все явные гиперстеники (у пятерых из которых ИУ был выше нормы), 7 избыточно упитанных нормостеников и 14 полугиперстеников, у которых ИТ2

(3,824±0,014 усл. ед.) и ИУ (1,519±0,019 усл. ед.) были в пределах нормы (т. е. <1,1 M₁₅₄), но выше M₁₅₄ (см. табл. 2), а окружность запястья (15,93±0,20 см) при этом не отличалась от таковой у явных гиперстеников (15,83±0,15 см; P>0,5).

И наконец, группу А составили 71 истинный нормостеник, у которых все индексы соответствовали норме, и 21 псевдонормостеник, из которых 8 — оказались скрытыми или избыточно упитанными астениками (так как ИУ у них был выше нормы при нормальных значениях ИМТ5 и ИТ2), а 13 — скрытыми или недостаточно упитанными гиперстениками (так как ИУ у них оказался ниже нормы при нормальных значениях ИМТ5 и ИТ2). При этом окружность запястья у скрытых астеников (14,81±0,19 см) не отличалась от таковой у явных астеников (14,43±0,17 см; P>0,1) и полуастеников (14,60±0,14 см; P>0,5), но значимо отличалась от окружности запястья у истинных нормостеников (15,30±0,08 см; P=0,016) и скрытых гиперстеников (16,04±0,14 см; P<0,001), которые, в свою очередь, не отличались по этому признаку от явных гиперстеников (15,83±0,15 см; P>0,5) и полугиперстеников (15,93±0,20 см;

Таблица 3

Варианты сочетания упитанности и типа телосложения у человека

№	Морфологические варианты тела человека	Изучаемые показатели			
		ИМТ5	ИТ2	ИУ	n
1	Избыточно упитанные астеники	N	N	>N	8
2	Недостаточно упитанные астеники	<N	<N	<N	3
3	Нормально упитанные астеники	<N	<N	N	4
4	Нормально упитанные полуастеники	<N	N	N	21
5	Недостаточно упитанные нормостеники	<N	N	<N	4
6	Нормально упитанные нормостеники	N	N	N	71
7	Избыточно упитанные нормостеники	>N	N	>N	7
8	Нормально упитанные полугиперстеники	>N	N	N	14
9	Нормально упитанные гиперстеники	>N	>N	N	4
10	Избыточно упитанные гиперстеники	>N	>N	>N	5
11	Недостаточно упитанные гиперстеники	N	N	<N	13

Примечание. ИМТ5 — 5-й индекс массы тела; ИТ2 — 2-й индекс телосложения; ИУ — индекс упитанности; N — норма ($\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$, 1,0±0,1; n=154).

$P > 0,5$), но также значимо ($P < 0,001$) отличались от истинных нормостеников.

Таким образом, с помощью ИМТ5, ИТ2 и ИУ все типы телосложения (астеники, нормостеники и гиперстеники [2]) вполне обоснованно могут быть подразделены на нормально, избыточно или недостаточно упитанные варианты с одновременным выявлением 2 промежуточных вариантов (нормально упитанных полуастеников и нормально упитанных полугиперстеников) (табл. 3). При этом вся совокупность подтипов телосложения хорошо подчиняется закону нормального распределения, согласно которому все возможные нормостенические варианты телосложения в целом были выявлены у 82 человек (4+71+7), а все астенические (8+3+4+21) и гиперстенические (4+14+5+13) варианты — у 36 и 36 человек соответственно (см. табл. 3).

Отмечая такое разнообразие морфометрических подтипов человека, нельзя не заметить, что вся эта детализация стала возможной после замены традиционного ИМТ1 ($\text{кг}/\text{м}^2$) на более точный ИМТ5 ($\text{кг}/\text{м}^3$), хорошо дополняемый индексами телосложения и упитанности организма.

В то же время, изложенный теоретический подход хорошо объясняет и все недостатки ИМТ1, среди которых особо выделяется полное несоответствие между условной и реальной площадью тела, а также явная зависимость ИМТ1 от роста человека даже у равноупитанных изомеров-нормостеников. Однако главным недостатком обсуждаемого индекса служит сам принцип его получения, основанный на прямом нормировании массы тела по площади без учета ее биологического значения. Между тем, одним из базовых понятий физиологии является положение, согласно которому поверхность тела — это, прежде всего, «окно» для непрерывного излучения тепла организмом [4]. Поэтому нормировать по площади можно только динамичные показатели, тесно связанные с текущей скоростью энергообмена, например, минутный объем крови, но никак не массу тела. И наконец, прямое нормирование массы тела по площади невозможно еще и потому, что оба этих фактора уже состоят в нелинейной

зависимости, точно описываемой уравнениями (3, 4).

ЛИТЕРАТУРА

1. Человек: медико-биологические данные. Международная комиссия по радиологической защите. Публикация № 23. М., Медицина, 1977.
2. Черноруцкий М. В. Учение о конституции. В кн.: Частная патология и терапия внутренних болезней. М., Л., Госиздат, 1928, т. 4, с. 171.
3. Шейх-Заде Ю. Р. и Галенко-Ярошевский П. А. Математическая модель площади тела человека. Бюл. exper. биол., 2000, т. 129, № 3, с. 356–357.
4. Шмидт-Ниельсен К. Размеры животных: почему они так важны? М., Мир, 1987.
5. Eknoyan G. Adolphe Quetelet (1796–1874) — the average man and indices of obesity. *Nephrol. Dial. Transplant.*, 2008, v. 23, № 1, p. 47–51.
6. Keys A., Fidanza F., Karvonen M. J. et al. Indices of relative weight and adiposity. *J. Chronic Diseases*, 1972, v. 25, p. 329–343.
7. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation. WHO Technical Report Series 894. Geneva, WHO, 2000.
8. Physical Status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee. WHO Technical Report Series 854. Geneva, WHO, 1995.
9. Quetelet A. Цит. по Eknoyan G., 2008 и Keys A., Fidanza F., Karvonen M. J. et al., 1972.
10. The Practical Guide: Identification, Evaluation, and Treatment of Overweight and Obesity in Adults. Final Version. NIH Publication, October 2000, Number 00-4084.

Поступила в редакцию 15.12.2011
Получена после доработки 12.03.2012

MORPHOMETRIC EVALUATION OF RELATIVE ADIPOSE TISSUE CONTENT IN THE HUMAN BODY

Yu. R. Sheikh-Zade

Analysis of the mathematical models of the human body composition revealed main shortcomings of body mass index (A. Quetelet, 1832). This allowed to offer more accurate body mass index ($\text{BMI}=\text{M}/\text{H}^3$), body build index [$\text{BBI}=(\text{BMI})^{1/2}$] and body fatness index ($\text{BFI}=\text{M}/\text{HC}^2$), where (M), (H) and (C) signified the mass, height and wrist circumference correspondingly.

Key words: *body mass index, body build index, body fatness index*

Kuban State Medical University, Krasnodar