

© А. Е. Луньков, 2018
УДК 576.51

А. Е. Луньков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА ПО ЗНАЧЕНИЯМ МАССЫ, РОСТА И ОКРУЖНОСТИ ТАЛИИ

Кафедра медбиофизики (зав. — доц. В. А. Дубровский), ГБОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского»

Цель — повышение точности расчета площади поверхности тела (ППТ) человека на основе увеличения количества измеряемых и используемых антропометрических параметров.

Материал и методы. Проведен анализ известных формул определения ППТ человека по массе и длине тела. По данным, полученным при обследовании 59 мужчин и 59 женщин, проведён корреляционно-регрессионный анализ зависимости ППТ, рассчитанной по формуле Мостеллера, от величины обобщенного параметра, равного массе тела, делённой на длину тела и умноженной на окружность талии.

Результаты. Показано, что формулы определения ППТ, использующие только значения массы и длины тела, не могут отражать её зависимости от индивидуальных особенностей формы тела. Получены формулы определения ППТ у мужчин и женщин по измеренным значениям массы тела, длины тела и окружности талии.

Выводы. Значения ППТ, рассчитанные по этим формулам, совпадают с определёнными по известным формулам, использующим только массу и длину тела, лишь при стандартных соотношениях массы тела, длины тела и окружности талии людей. При отклонении параметров тела человека от принятых критериев нормы предлагаемые формулы дают значения ППТ, адекватно отражающие эти отклонения.

Ключевые слова: площадь поверхности тела, масса тела, длина тела, окружность талии

Площадь поверхности тела (ППТ) человека не измеряется непосредственно. В случаях, требующих знания ППТ, она находится по известным эмпирическим формулам, связывающим её величину с измеренными значениями массы (m) и длины тела (H) человека.

Впервые такая формула «приближенной оценки площади поверхности тела» была предложена в 1916 г. в виде:

$$S=0,007184 m^{0,423} H^{0,725}, \quad (1)$$

где S — площадь поверхности тела (m^2), m — масса тела (кг), H — длина тела (см) [3].

В настоящее время известны различные модификации этой формулы, предложенные позже другими авторами:

$$S=0,017827 m^{0,4838} H^{0,5} \quad (1930 \text{ г.}, [4]); \quad (2)$$

$$S=0,008883 m^{0,444} H^{0,663} \quad (1968 \text{ г.}, [5]); \quad (3)$$

$$S=0,0235 m^{0,51456} H^{0,42246} \quad (1970 \text{ г.}, [6]); \quad (4)$$

$$S=0,024265 m^{0,5378} H^{0,3964} \quad (1978 \text{ г.}, [7]); \quad (5)$$

$$S = \sqrt{\frac{mH}{3600}} = 0,0167(mH)^{0,5}. \quad (1987 \text{ г.}, [8]). \quad (6)$$

Упомянутые работы выбраны автором из других, посвященных этому вопросу, потому, что приведенные в них формулы определения ППТ чаще всего используются сейчас на практике. Именно они заложены в on-line-калькуляторы,

размещенные в интернет-ресурсах, в которых рассчитывают ППТ для введенных значений массы и длины тела и выбранной одной из вышеприведенных формул. При этом обнаруживается, что любая из выбранных формул дает идентичные результаты для заданной пары значений m и H .

Это обстоятельство, необычное для физических формул, существующих в единственном варианте, послужило поводом для проведения исследований, результаты которых приводятся в данной работе.

Первопричина неоднозначности количественных соотношений, используемых в медико-биологических исследованиях, состоит в том, что все параметры биологических объектов относятся к категории случайных в математическом определении величин. Поэтому связь между ними имеет не функциональный, а лишь корреляционный характер и выражается количественно с той или иной вероятностью в виде регрессионных соотношений, которыми и являются анализируемые формулы.

Несомненно, что между массой тела, длиной тела и ППТ должна существовать связь. И не менее очевидно, что в силу индивидуальных

Сведения об авторе:

Луньков Александр Евгеньевич (e-mail: aelunkov@mail.ru), кафедра медбиофизики, ГБОУ ВПО «Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского», 410012, г. Саратов, ул. Б. Казачья, 112а

особенностей формы тела эта связь не может быть строго однозначной.

Не исследуя способы получения приведённых формул, можно оценить их адекватность следующим, чисто математическим способом. Для этого возьмём в качестве геометрического эквивалента тела человека цилиндр, масса (m) и высота (H) которого равны измеренным массе и длине тела человека. Примем также, что этот цилиндр имеет меняющееся поперечное сечение, среднее значение которого соответствует усредненному радиусу ($R_{\text{ср.}}$). И наконец, для упрощения анализа будем считать, что ППТ равна площади боковой поверхности этого эквивалентного цилиндра, умноженной на некоторый коэффициент K .

Если плотность тела равна d , то масса цилиндра $m = d \pi R_{\text{ср.}}^2 H$, а произведение $mH = d \pi \times R_{\text{ср.}}^2 H^2$. Из этого произведения нужно получить площадь поверхности $S = K \times 2 \pi R_{\text{ср.}} H$ (в соответствии с формулой для боковой поверхности цилиндра и принятым допущением). Взяв плотность тела $d = 1030 \text{ кг/м}^3$ и единицы измерения m (кг) и H (см), из этих соотношений можно получить выражение, совпадающее с формулой (6):

$$S = K \cdot 2 \sqrt{\frac{\pi}{d}} \sqrt{mH} = K \cdot 0,011 \sqrt{mH}.$$

Если приравнять множители перед квадратным корнем в этом выражении и в формуле (6) ($K \times 0,011 = 0,0167$), то окажется, что $K = 1,518$, т.е. ППТ в 1,518 раз больше площади боковой поверхности эквивалентного цилиндра, объём которого равен массе тела, деленной на его плотность.

Теперь обратимся к формулам (1–5), представляющим собой зависимость вида $S = K \times m^a \times H^b$, причём при разных значениях показателей степеней их сумма ($a+b$) во всех формулах, примерно, равна 1, а перераспределение их значений даёт одинаковые величины ППТ. Очевидно, что R. D. Mosteller [8] первым решил воспользоваться этим обстоятельством, предложив упрощённую формулу (6), которая, как показано выше, полностью отражает геометрическую сторону задачи. Эта формула более корректна и в математическом отношении, так как в ней нет необоснованной детализации значений показателей степени. Например, по формуле (4) даже при массе $m = 100 \text{ кг}$ и $H = 200 \text{ см}$ можно получить, что $m^{0,51456}$ и $m^{0,51}$ отличаются лишь на 2%, а $H^{0,42246}$ и $H^{0,42}$ — на 1,3%, что при корреляционном характере соотношения никак не повлияет на точность определения ППТ. То же можно отнести и к другим формулам.

На основании проведенного анализа можно было бы предложить ещё одну формулу определения ППТ как площади боковой поверхности эквивалентного цилиндра — $2\pi R_{\text{ср.}} H$, умноженной на коэффициент $K \sim 1,5$ при условии, что $R_{\text{ср.}}$ эквивалентного цилиндра определяется по его объёму, равному массе тела, делённой на его плотность. Однако эта формула будет обладать той же ограниченностью, что и другие, основанные на использовании только m и H .

Ограниченность анализируемых формул заключается в невозможности учёта индивидуальных особенностей тела человека в силу недостаточности исходных данных. Используемые измеряемые параметры человека (масса и длина тела) в геометрическом отношении дают лишь объём (как массу, делённую на плотность) и высоту такой сложной фигуры, какой является тело человека. Очевидно, что при одинаковых значениях массы тела и длины тела площадь поверхности может меняться в зависимости от формы тела. Даже у простого цилиндра отношение площади поверхности к объёму зависит не только от высоты, но и от радиуса цилиндра. Аналогично отсутствие данных о параметре, характеризующем поперечный размер тела, должно вносить неоднозначность в определение его площади поверхности.

Для преодоления указанного выше ограничения известных способов определения ППТ по массе и длине тела необходимо увеличить число измеряемых параметров обследуемых.

Попытка определения площади поверхности на основе данных измерений геометрических размеров разных частей тела была предпринята в работе [7]. Однако автор не пошел по пути непосредственного использования большого числа измеряемых параметров для получения формулы определения площади поверхности, а ограничился модификацией известной формулы, использующей только значения массы и длины тела. И главная причина здесь в том, что уравнения множественной регрессии можно получить только в линейном виде, а линейные зависимости могут не отражать характера корреляционных связей определяемой величины с разными измеряемыми параметрами. Менее принципиальным, но существенным для практики обстоятельством является также громоздкость получения данных измерений и их обработки.

Наибольшие возможности для количественного выражения имеются при анализе парной корреляции, когда можно подбирать регрессионное соотношение в виде разных элементарных функций, добываясь максимального значения коэффициента

корреляции регрессионного уравнения. Поэтому при увеличении числа измеряемых параметров для определения ППТ желательно объединить их в один обобщенный параметр, что позволит анализировать его парную корреляцию с ППТ. В формуле (6) произведение ($m \times H$) и является таким обобщенным параметром.

Для увеличения исходных данных предлагается дополнительно к массе и длине тела измерять окружность талии (ОТ) у обследуемых, т. е. ограничиться минимальным увеличением исходных данных. Основанием для этого послужили результаты сопоставления длины окружности эквивалентного цилиндра $2\pi R_{\text{ср}}$ с окружностью талии у обследуемых, представленных ниже. Указанное сопоставление выявило линейную корреляцию между ними с коэффициентом корреляции $>0,8$. Другим соображением при выборе окружности талии в качестве дополнительного параметра была простота её измерения.

При формировании из этих непосредственно измеряемых величин одного обобщенного параметра преследовалась дополнительная задача отражения индивидуальных особенностей тела человека. В медицине эти индивидуальные особенности оцениваются по отношениям, а не по произведениям массы тела и длины тела. Исходя из этой практики, в качестве обобщенного параметра было взято отношение массы тела к его длине, умноженное на окружность талии: $m/H \times \text{ОТ}$.

Для нахождения формулы определения ППТ было необходимо провести корреляционно-регрессионный анализ зависимости между выбранным обобщенным параметром обследуемых и их ППТ, не поддающейся прямому измерению. Поэтому для его проведения были использованы значения ППТ, вычисленные по формуле (6), которая даёт значения, идентичные получаемым по формулам (1–5). Такой методический прием представляется возможным в силу несомненной статистической достоверности значений площади поверхности, вычисляемой по этим общепринятым формулам, что подтверждает и проведенный выше анализ, показавший, что приведенные формулы оценки ППТ отражают геометрическую связь между массой тела, длиной тела и ППТ.

В качестве обследуемых использовались выборки из контингента студентов Саратовского государственного медицинского университета и пациентов терапевтического отделения Клинической больницы СГМУ — всего 59 мужчин и 59 женщин. Данные обследуемых собирали на добровольной основе без запроса каких-либо дополнительных индивидуальных сведений, кроме массы тела, длины тела и окружности талии.

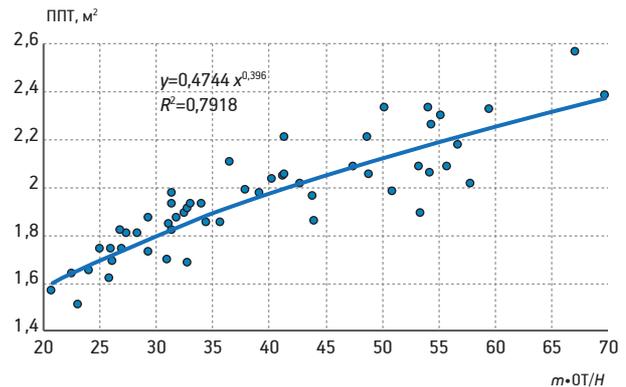


Рис. 1. Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости ППТ от параметра ($m \times \text{ОТ} / H$) для обследованных мужчин (пояснения в тексте)

На данное исследование получено разрешение локального этического комитета (протокол № 4 от 05.12.2017 г.). Корреляционно-регрессионный анализ проводили отдельно для выборок мужчин и женщин в Excel 2013 по процедуре, аналогичной использованной в работе [1].

Корреляционное поле значений ППТ у мужчин от выбранного обобщенного параметра приведено на рис. 1. По вертикальной оси откладывали значения ППТ, вычисленные по формуле (6), а по горизонтальной оси — сопряженные значения ($m \times \text{ОТ} / H$) обследуемых. На рис. 1 отображена также линия регрессии, уравнение которой приведено в правом верхнем углу рисунка вместе со значением квадрата коэффициента корреляции. В качестве корреляционной функции задавалась степенная зависимость.

Аналогичный анализ выборки женщин дал регрессионное уравнение: $y = 0,6498 x^{0,287}$ при $R^2 = 0,827$ (y — ППТ, x — параметр $m \times \text{ОТ} / H$).

Прежде всего следует отметить весьма высокий коэффициент корреляции между площадью поверхности и выбранным обобщенным коэффициентом, отражающим данные прямых измерений. Кроме этого, полученный результат подтвердил правомерность разделения обследованных по полу, так как регрессионные уравнения, полученные для мужчин и женщин, существенно различаются. Это согласуется с известными различиями других соотношений между антропометрическими параметрами у мужчин и женщин.

Учитывая вероятностный характер регрессионных соотношений, полученные коэффициенты можно округлить и для дальнейшего анализа использовать следующие формулы определения ППТ:

$$\text{для мужчин} — S = 0,47 \times (m \cdot \text{ОТ} / H)^{0,4}; \quad (7)$$

$$\text{для женщин} — S = 0,65 \times (m \cdot \text{ОТ} / H)^{0,3}; \quad (8)$$

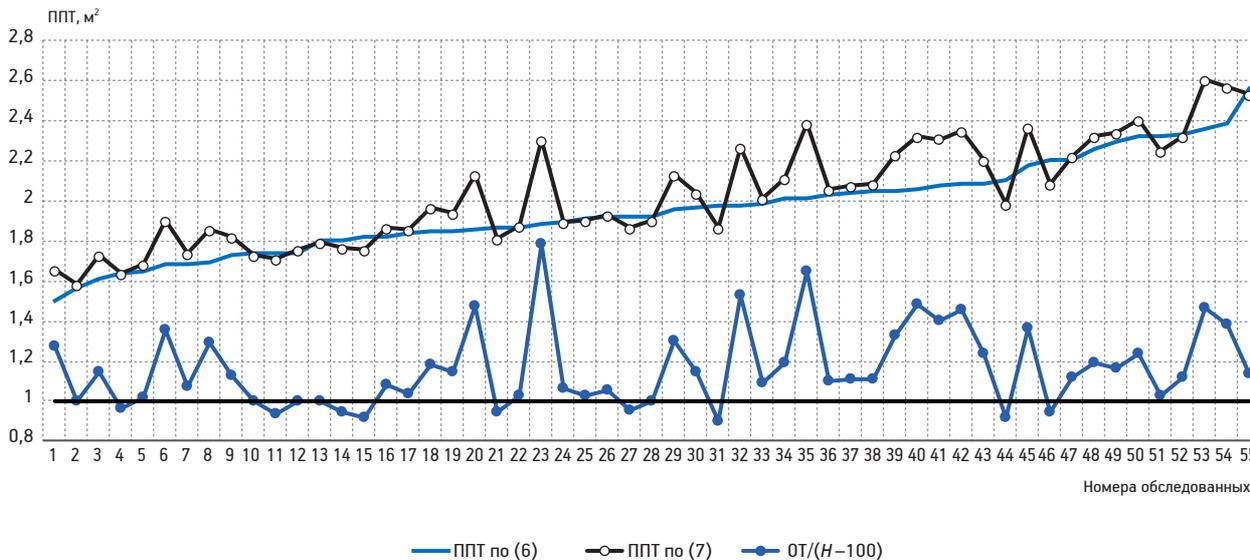


Рис. 2. Значения ППТ мужчин, рассчитанные по формулам (6) и (7)

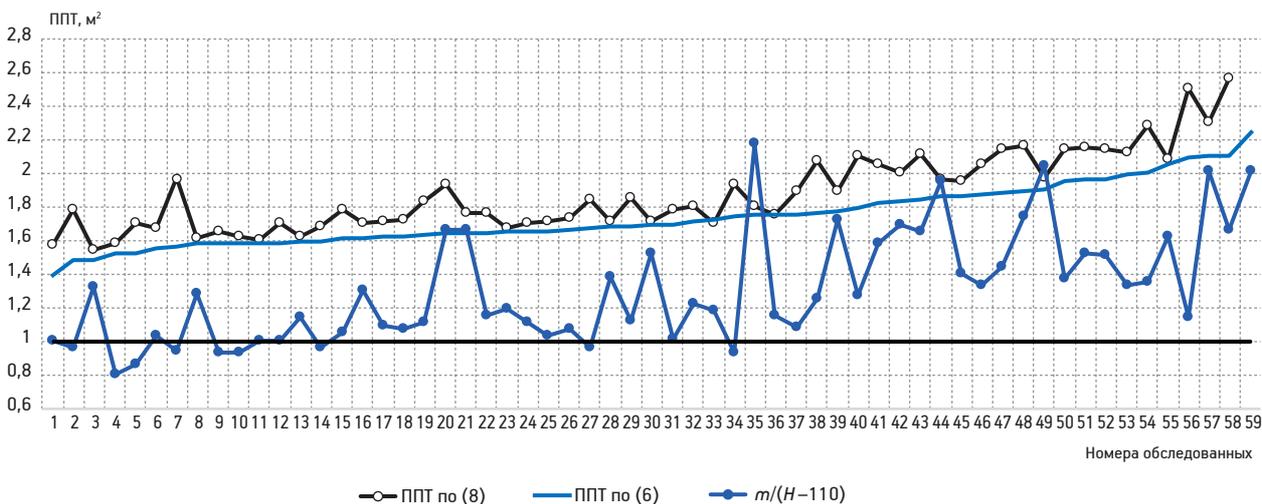


Рис. 3. Значения площади поверхности тела женщин, рассчитанные по формулам (6) и (8)

где S — ППТ (m^2), m — масса (кг), H — рост (см), $ОТ$ — окружность талии (см).

По формулам (7) и (8) были проведены расчёты ППТ и сопоставление её значений с значениями, полученными по формуле (6). При расчётах использовали данные всех обследованных, расположенных в порядке возрастания ППТ, рассчитанной по формуле (6). Полученные результаты приведены на рис. 2 для мужчин и на рис. 3 для женщин. Обозначения приведённых зависимостей даны на рисунках.

Приведенные на рис. 2 и 3 зависимости показывают, что использование предлагаемых формул определения ППТ дает её значения как совпадающие, так и отличные от значений, полученных по формуле (6). При этом прослеживается четкая закономерность совпадения и различия, которая

иллюстрируется нижними кривыми. Эти кривые отражают отношения окружности талии обследуемых $ОТ$ к разности $(H - 100)$ для мужчин и разности $(H - 110)$ для женщин. Это отношение выбрано как один из стандартов нормального телосложения, по которому оно должно быть, примерно, равно 1. Совпадение и различие значений ППТ, рассчитанных по сравниваемым формулам, полностью повторяет отклонения $ОТ$ обследуемых от значения, равного $H - 100$ ($H - 110$).

На основании отмеченной закономерности, можно сделать вывод о том, что используемые сейчас формулы определения ППТ дают достоверные значения ППТ для людей, телосложение которых по соотношению массы тела, длины тела и окружности талии соответствует нормам. Этот вывод основан на том, что при получении регрессионных

зависимостей используется обязательное условие, по которому они должны связывать средние значения коррелирующих величин [2], которые в медицине соответствуют понятию нормы. Для значений, не совпадающих со средними, сопряженные величины отличаются от найденных из уравнения регрессии на значение доверительного интервала. Величина доверительного интервала всегда возрастает по мере удаления значений параметров, обследуемых от их средних, т. е. соответствующих норме.

Ход кривых, рассчитанных по предлагаемым формулам (7) или (8), фактически отражает указанный разброс значений ППТ, определённых по формуле (6). Доказательством этого является сильная корреляция величины этого разброса с отклонениями исходных данных обследуемых от одного из критериев нормы, которые демонстрируют нижние кривые (см. рис. 2, 3). Так как среди пациентов нередко, а скорее даже часто, встречаются люди, у которых антропометрический статус не соответствует нормам, предложенный способ, использующий формулы (7) или (8), даст возможность более точного определения ППТ и, соответственно, значений тех параметров, в которые она входит.

Принципиальная возможность повышения точности оценки ППТ состоит в том, что предлагаемые формулы используют большее число измеряемых параметров, что особенно важно для определения количественных соотношений между случайными величинами, носящими вероятностный характер. То, насколько повысится точность определения ППТ по формулам (7) и (8) по сравнению с формулой (6), можно оценить по разбросу значений на соответствующих кривых, представленных на рис. 2 и 3. В зависимости от степени соответствия параметров обследуемых критериям нормы диапазон повышения точности составляет 0–25% при том, что весь диапазон значений ППТ (1,4–2,6 м²) изменяется в пределах 60%.

Автор сообщает об отсутствии в статье конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Ефимов А.А., Луньков А.Е., Савенкова Е.Н. Применение нелинейных регрессионных соотношений для оптимизации методик определения возраста // Суд. экспертиза. 2007. № 4. С. 39–44 [Efimov A. A., Lun'kov A. E., Savenkova E. N. The use of nonlinear regression relations for optimization of methods of age determination // Sudebnaya ekspertiza. 2007. № 4. P. 39–44. In Russ.].
- Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с. [Lakin G. F. Biometriya. Moscow: Vysshaya shkola, 1990. 352 p. In Russ.].
- DuBois D., DuBois E. F. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known // Arch. Int. Med. 1916. Vol. 17. P. 863–871.
- Boyd E. Experimental errors inherent in measuring growing human body // Am. J. Physiol. 1930. № 13. P. 389.
- Fujimoto S., Watanabe T., Sakamoto A. et al. Studies on the physical surface area of Japanese. Calculation formulae in three stages over all ages // Nippon Eiseigaku Zasshi. 1968. Vol. 5. P. 443–450.
- Gehan E.A., George S.L. Estimation of human body surface area from height and weight // Cancer Chemother. Rep. 1970. Vol. 54. P. 225–235.
- Haycock G.B., Schwartz G.J., Wisotsky D.H. Geometric method for measuring body surface area: a height–weight formula validated in infants, children, and adults // J. Pediatr. 1978. Vol. 93, № 1. P. 62–66.
- Mosteller R.D. Simplified calculation of body surface area // New Engl. J. Med. 1987. Vol. 317, № 17. P. 1098.

Поступила в редакцию 22.04.2017

Получена после доработки 09.07.2017

THE DETERMINATION OF HUMAN BODY SURFACE AREA ON THE BASIS OF BODY MASS, HEIGHT AND WAIST CIRCUMFERENCE VALUES

A. Ye. Lun'kov

Objective — to increase the accuracy of calculating the body surface area (BSA) on the basis of increased number of anthropometric parameters registered.

Material and methods. The known formulas for the determination of human BSA based on body mass and length, were analyzed. The data obtained from the study of 59 men and 59 women, were used for a correlation-regression analysis of the dependence of BSA, calculated by the Mosteller formula, on the value of the generalized parameter equal to the body mass divided by body length and multiplied by the waist circumference.

Results. It was shown that the formulas for determining BSA using only body mass and length can not reflect its dependence on the individual features of the body shape. The formulas for determining BSA of men and women using the measured values of body mass, length and waist circumference are proposed.

Conclusions. The values of BSA, calculated from the formulas proposed, coincide with those determined from known formulas using only mass and length, only with standard ratios of mass, height and waist circumference. When human body parameters deviate from the accepted criteria of the norm, the proposed formulas give BSA values adequately reflecting these deviations.

Key words: *body surface area, body weight, body length, waist circumference*

Department of Medical Biophysics, Saratov V. I. Razumovskiy State Medical University, 112a, Bolshaya Kazachya St., Saratov 410012