

РАЗДЕЛ 4 – КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ PART 4 – SHORT ARTICLES

МОДЕЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

Луныков А.Е., Гладилин Ю.А.

Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, г. Саратов, Россия, e-mail: aelunkov@mail.ru.

THE GEOMETRIC MODEL OF THE EQUIVALENT OF THE HUMAN BODY

Lun'kov AE, Gladilin YuA

Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russia, e-mail: aelunkov@mail.ru

Для цитирования:

Луныков А.Е., Гладилин Ю.А. Модель геометрического эквивалента тела человека // Морфологические ведомости. - 2018. - Том 26. - № 1. - С. 52-54. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.18\(26\).01.52-54](https://doi.org/10.20340/mv-mn.18(26).01.52-54)

For the citation:

Lun'kov AE, Gladilin YuA. The geometric model of the equivalent of the human body. Morfologicheskie Vedomosti – Morphological Newsletter. 2018 Mar 31;26(1):52-54. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.18\(26\).01.52-54](https://doi.org/10.20340/mv-mn.18(26).01.52-54)

Резюме: При определении геометрических параметров тел сложной формы часто используют их геометрические эквиваленты в виде тел правильной формы, имеющих те же значения линейных размеров, объема или площади поверхности. Цель исследования - получить формулы для нахождения полуосей эквивалентного цилиндра по значениям роста, массы тела и его плотности или объема, а также площади поверхности тела человека. Показано, что геометрическим эквивалентом тела человека является эллиптический цилиндр, высота, объем и площадь поверхности которого равны соответствующим параметрам тела. Такой геометрический эквивалент может использоваться в качестве обобщенного антропометрического параметра человека, а также в виде фантома для экспериментальных исследований по теплообмену человека и окружающей среды, при оценке теплоизоляционных свойств тканей и для других экспериментов в прикладной антропологии.

Ключевые слова: соматология, тело человека, геометрический эквивалент, прикладная антропология

Summary: In determining of geometric parameters of bodies of complex shape, their geometric equivalents are often used in the form of bodies of regular shape having the same values of linear dimensions, volume or surface area. The aim of the study is to obtain formulas for finding the semi-axes of an equivalent cylinder in values of growth, body weight and density or volume, as well as the surface area of the human body. It is shown that the geometric equivalent of a human body is an elliptical cylinder whose height, volume and surface area are equal to the corresponding body parameters. Such a geometric equivalent can be used as a generalized human anthropometric parameter, as well as a phantom for experimental studies on human and environmental heat exchange, in evaluating the thermal insulation properties of tissues and for other experiments in applied anthropology.

Key words: somatology, human body, geometric equivalent, applied anthropology

Введение. При определении геометрических параметров тел сложной формы часто используют их геометрические эквиваленты в виде тел правильной формы, имеющих те же значения линейных размеров, объема или площади поверхности. Например, в морфометрии геометрический эквивалент используют для оценки объема микрообъекта по размерам его поперечного среза, полученным с помощью измерительной микроскопии. При этом чаще всего в качестве геометрического эквивалента используют сферу или эллипсоид с соотношениями между размерами их поперечного сечения и объемом [1]. Из геометрических параметров тела человека непосредственно измеряемыми являются объем и высота. Площадь поверхности тела человека оценивается по значениям массы и роста с помощью различных эмпирических соотношений [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Этих данных достаточно для нахождения геометрического эквивалента тела человека в виде простой геометрической фигуры, имеющей равные с ним объем, высоту и площадь поверхности. Такой геометрический эквивалент может использоваться в качестве обобщенного антропометрического параметра человека, а также в виде фантома для экспериментальных исследований по теплообмену человека и окружающей среды, при оценке теплоизоляционных свойств тканей и для других экспериментов в прикладной антропологии.

Цель исследования: получить формулы для нахождения полуосей эквивалентного цилиндра по значениям роста, массы тела и его плотности или объема, а также площади поверхности тела человека.

Материалы и методы исследования. В данной работе применен математический подход к проблеме, основанный на соотношениях элементарной геометрии. В качестве необходимых антропометрических параметров использовались реальные значения роста, массы тела и окружности талии мужчин и женщин.

В первом приближении можно представить тело человека в виде цилиндра, высота которого H равна росту, а объем V равен объему человека. При принципиальной возможности непосредственного измерения объема его проще определить по массе тела m , деленной на его плотность d . Так как объем цилиндра $V = \pi R^2 H$, радиус этого эквивалентного цилиндра равен

$$R = \sqrt{\frac{V}{\pi H}} = \sqrt{\frac{m}{\pi H d}} \quad (1).$$

Поскольку форма тела человека существенно отличается от строго цилиндрической, то и площадь поверхности тела человека должна отличаться (скорее всего быть больше) поверхности эквивалентного цилиндра. Площадь полной поверхности цилиндра, состоящая из площади боковой поверхности S_1 и площади двух торцевых поверхностей S_2 , есть

$$S = S_1 + S_2 = 2\pi R H + 2\pi R^2 \quad (2).$$

Для упрощения дальнейшего анализа оценим количественно соотношение между торцевой- S2 и боковой- S1 поверхностями цилиндра

$$S_2/S_1 = R/H.$$

Для оценки этого отношения использовались значения массы и роста 50 мужчин и 50 женщин с разными индексами массы тела (м/м²), распределенными по нормальному закону в диапазоне от 17 до 39 кг/м². Средние значения отношения R/H оказались равными 0,0716±0,0099 для женщин и 0,0658±0,0062 для мужчин. На основании этого можно принять, что общая площадь поверхности эквивалентного цилиндра равна площади его боковой поверхности, увеличенной в 1,07 раз, то есть

$$S=2,14\pi RH \text{ (3).}$$

Тогда, с учетом соотношения (1) для R, площадь поверхности эквивалентного цилиндра примет вид

$$S = 2,14\sqrt{\frac{\pi mH}{d}} \text{ (4).}$$

Далее примем, что площадь поверхности тела человека S_{пт} в K-раз больше площади поверхности, определяемой формулой (4), то есть

$$S_{пт} = 2,14K\sqrt{\frac{\pi mH}{d}} \text{ (5).}$$

Упомянутые выше известные соотношений для определения площади поверхности тела человека по массе тела и росту дают практически одинаковые значения для заданных массы и росту. Для проводимого анализа выберем из них формулу Мостеллера [7], в которую также входит корень квадратный из произведения mH

$$S = \sqrt{\frac{m(\text{кг})H(\text{см})}{3600}} = 0,1667\sqrt{m(\text{кг})H(\text{м})} \text{ (6).}$$

Приравняв (5) и (6), можно получить значение K, то есть найти во сколько раз площадь поверхности геометрического эквивалента должна быть больше площади поверхности эквивалентного цилиндра (4). При среднем значении плотности тела d=1030 кг/м³ [8] и π=3,14 получим K=1,41, причем это значение K не зависит от роста и массы тела. Для того, чтобы увеличить поверхности в K-раз, возьмем в качестве геометрического эквивалента тела человека эллиптический цилиндр той же высоты H и того же объема V. Для этого необходимо, чтобы площадь эллипса была равна площади круга πR², а периметр эллипса был бы в K-раз больше периметра окружности 2πR (R-радиус эквивалентного цилиндра (1)). Площадь эллипса с полуосями a, b равна πab, а периметр L равен [9]

$$L = \pi[1,5(a+b) - \sqrt{ab}] \text{ (7).}$$

Для того, чтобы площадь эллипса оставалась равной площади круга радиуса R, можно брать большую полуось a=nR, а малую полуось b=R/n, где n-число, которое нужно найти. При этом отношение периметра эллипса (7) к периметру окружности 2πR становится равным

$$0,75(n+1/n)-0,5 \text{ (8).}$$

Приравняв выражение (8) значению K, можно найти n и связать величину полуосей эллипса с эквивалентным радиусом R: a=nR, b=R/n. Для полученного выше значения K=1,41 это даст n=2,062, то есть- a=2.062*R; b=R/2.062=0.485R.

Результаты исследования и обсуждение. Обобщенным геометрическим эквивалентом тела человека может быть эллиптический цилиндр, высота, объем и площадь поверхности которого равны соответствующим параметрам данного человека. Для нахождения значений полуосей эллиптического сечения по формуле (1) находится радиус-R круглого цилиндра с высотой и объемом, равным росту и объему тела человека. Тогда большая полуось эквивалентного эллиптического цилиндра a=2.062R, а малая b=0.485R при его высоте равной росту человека. Эти параметры геометрического эквивалента тела человека получены при допущении, что плотность тела человека равна 1030 кг/м³, а площадь поверхности тела определяется по формуле (6). При необходимости эквивалентный радиус- R может быть определен через объем тела, прямое измерение которого в принципе возможно. В общем случае для получения значения K нужно разделить значение площади поверхности тела конкретного человека, найденное любым способом, на значение полной поверхности цилиндра (2) эквивалентного радиуса-R. Тогда коэффициент-n для определения полуосей a=nR и b=R/n эллиптического цилиндра найдется из равенства

$$0,75(n+1/n)-0,5=K.$$

Следует также отметить, что окружность эквивалентного радиуса- R оказывается примерно равной окружности талии человека. Анализ корреляции между ними, проведенный на тех же выборках 50 мужчин и 50 женщин, показал, что отношения окружности талии к окружности эквивалентного радиуса- R составили 1,165±0,11 для мужчин и 1,110±0,116 для женщин. Используя эти значения в качестве параметра K, можно по формуле (9) оценить «эллиптичность» талии человека, то есть ее отличие от окружности эквивалентного радиуса- R. Приведенные значения стандартного отклонения отражают возможные пределы изменения этого отношения 1÷1,27, то есть от совпадения до почти 30% различия. В среднем эллиптичность талии мужчин (K=1,165) характеризуется большой полуосью a=1.59R при малой b=R/1.59. Для женщин при K=1,11 формула (9) дает a=1.46R и b=R/1.46. Представляет интерес сравнение отношения a/b с отношением фронтальной проекции талии к боковой с целью использования его в качестве антропометрического критерия телосложения человека.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Avtandilov G.G. Meditsinskaya morfometriya. - M.: Meditsina. - 1990. - 384s.
2. DuBois D, DuBois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Archive Internal Medicine*. 1916;17:863–871.
3. Boyd E. Experimental errors inherent in measuring growing human body. *American Journal of Physiology*. 1930;13:389.
4. Fujimoto S, Watanabe T, Sakamoto A, Yukawa K. Studies on the physical surface area of Japanese. Calculation formulae in three stages over all ages. *Morimoto Nippon Eiseigaku Zasshi*. 1968;5:443–450.
5. Gehan EA, George SL. Estimation of human body surface area from height and weight. *Cancer Chemother Report*. 1970;54:225–235.
6. Haycock GB, Schwartz GJ, Wisotsky DH. Geometric method for measuring body surface area: A height weight formula validated in infants, children and adults. *The Journal of Pediatrics*. 1978;93(1):62–66.
7. Mosteller RD. Simplified Calculation of Body Surface Area. *New England Journal of Medicine*. 1987, Oct 22;317(17):1098 (letter).
8. Ivanitskij M.F. *Anatomiya cheloveka*. - M.: «CHelovek», 2011. - 628s.
9. Bronshtejn I.N., Semendyaev K.A. *Spravochnik po matematike*. - M.: Fizmatizdat, 1962. - 608s.

Авторская справка

Луньков Александр Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры медицинской и биологической физики, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Россия; e-mail: aelunkov@mail.ru

Гладилин Юрий Александрович, доктор медицинских наук, доцент кафедры анатомии человека, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Россия; e-mail: aelunkov@mail.ru