

УДК 51.76 + 519.216.2

## ИМИТАЦИОННАЯ СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА БЕЛОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ ЧЕЛОВЕКА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

Бутов А.А., Шабалин А.С.

ГОУ ВПО «Ульяновский государственный университет», Ульяновск, e-mail: contact@ulsu.ru

Задача нормализации показателей ожирения человека является одной из актуальных проблем, так как процент людей, страдающих данным заболеванием, неуклонно растет. В данной статье предложен способ оценивания изменения белой жировой ткани человека в течение жизни по результатам исследований, проведенных на лабораторных животных. Для расчетов параметров модели используются две группы животных: контрольная группа – животные находятся в обычных условиях, и экспериментальная группа – животные подвергаются различным диетам, физическим нагрузкам и так далее, в зависимости от условий эксперимента. Методами компьютерного имитационного стохастического моделирования строятся кривые изменения процента белой жировой ткани для двух групп лабораторных животных. Согласно построенным кривым строится кривая изменения процента жировой ткани для однородной группы людей, если бы эта группа придерживалась тех же условий эксперимента, что и лабораторные животные.

**Ключевые слова:** ожирение, белая жировая ткань, человек, лабораторные животные, имитационное стохастическое моделирование

## STOCHASTIC MODEL OF IMITATION, QUANTITY CHANGE OF WHITE ADIPOSE TISSUE OF A HUMAN ON THE RESULTS OF STUDIES CONDUCTED IN LABORATORY ANIMALS

Butov A.A., Shabalin A.S.

Public Educational Institution of Higher Professional Training Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, e-mail: contact@ulsu.ru

The task of normalization of human obesity is one of the most pressing problems, as the percentage of people suffering from this disease is steadily increasing. This article offers a method for estimating changes in white adipose tissue for human, based on the results of studies conducted in laboratory animals. For the calculation of the model parameters used two groups of animals: control group – animals are in normal conditions and experimental group – animals exposed to different diet, exercise, and etc., depending on the experimental conditions. Methods of computer stochastic modeling of imitation plot curves of changes in the percentage of white adipose tissue for the two groups of laboratory animals. According to the construction of curves the model construct curve of percent fat for a homogeneous group of people, if this group followed the same experimental conditions as the laboratory animals.

**Keywords:** Obesity, white adipose tissue, human, laboratory animals, stochastic model of imitation

Заболеемость ожирением – одна из главных проблем современного общества [1], в связи с этим остается актуальным вопрос о том, какое воздействие оказывает тот или иной метод борьбы с лишним весом для задачи нормализации показателей ожирения человека. Ожирение – увеличение массы тела за счет отложения жировой ткани. Жировая ткань делится на белую и бурю. Соотношение этих тканей во многом определяет процессы развития ожирения, хотя остается полностью не понятным механизм воздействия бурой жировой ткани на организм [5, 6]. Обычно под ожирением понимают отложение белой жировой ткани в нижней части живота, бедер, ягодиц, в сальнике, брыжейке, под брюшиной. Количество белой жировой ткани изменяется в зависимости от питания организма, подверженности физическим нагрузкам и другое.

В настоящей работе предложен способ оценивания того, как изменяется процент белой жировой ткани в течение жизни человека по результатам данных экспериментов, проведенных на лабораторных животных. Количественным показателем белой жировой ткани будем считать процент содержания этой жировой ткани от общей массы тела человека. Для расчетов параметров модели используются две группы животных: контрольная группа – животные находятся в обычных условиях, и экспериментальная группа – животные подвергаются различным диетам, физическим нагрузкам и так далее, в зависимости от условий эксперимента. Строится оценочная кривая изменения процента белой жировой ткани у животных в течение жизни. Предполагаются известными данные изменения белой жировой ткани человека для однородной группы

людей. Согласно построенной кривой изменения процента жировой ткани животных, строится кривая изменения процента жировой ткани для однородной группы людей, если бы эта группа придерживалась тех же условий эксперимента, что и лабораторные животные. Методы, используемые в работе, позволяют учитывать произвольный набор данных изменения жировой ткани в течение жизни животного. Для учета какого-то момента достаточно лишь знать возраст и процент жировой ткани в организме животного.

Пусть  $\tau_i$  (для  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – момент времени, соответствующий возрасту лабораторного животного.

Будем предполагать, что в момент времени  $\tau_i$  на лабораторном животном проводился некоторый эксперимент, влияющий на изменение белой жировой ткани (диета, физические нагрузки и другое), так же в этот же момент времени измеряли процент белой жировой ткани у контрольной группы животных, которые находились в обычных условиях.

Значения  $\theta_i$  (для  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – возраст человека, полученный в результате сопоставления возрастов лабораторных животных и человека, при использовании стохастической имитационной модели сопоставления возрастов млекопитающих и человека, с возможностью учета индивидуального биологического возраста.

$$\tau_0 \rightarrow \theta_0; \tau_1 \rightarrow \theta_1; \dots; \tau_n \rightarrow \theta_n. \quad (1)$$

Обозначим  $\alpha_i$  (для  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – значения средневидовых скоростей изменения белой жировой ткани лабораторных животных в периоды стадий  $[\tau_i; \tau_{i+1})$ . Мы предполагаем, что в промежутке между этими моментами характерна фаза стабильных показателей изменения жировой ткани. Значения средневидовых скоростей старения для контрольной и экспериментальной групп животных рассчитываются отдельно, для каждой группы животных значения  $\alpha_i$  уникальны.

Полное соответствие стадий  $[\tau_i; \tau_{i+1})$  привело бы к соотношению скоростей изменения жировой ткани, в форме ломаной для соотношений возрастов прохождения моментов  $\tau_i$  с номерами  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$X_t = \int_0^t Y_s dS. \quad (2)$$

Где отношение «скоростей изменения жировой ткани лабораторных животных» – функция  $Y = (Y)_{t \geq 0}$  представляет собой ступенчатую функцию вида:

$$Y_t = \sum_{i \geq 0} \alpha_i \cdot I(t \in [\tau_i; \tau_{i+1})) \quad (3)$$

Отношения скоростей на стадиях  $[\tau_i; \tau_{i+1})$  складываются из усреднения множественных индивидуальных соотношений, что неизбежно влечет необходимость модельной аппроксимации ступенчатого процесса (3) процессом  $y = (y)_{t \geq 0}$  с непрерывными траекториями. Также в модели необходимо учитывать в качестве первого приближения, Гауссовское возмущение в форме аддитивного винеровского процесса:

$$y_t = y_0 + \lambda \cdot \int_0^t (Y_s - y_s) dS + \delta \cdot W_t. \quad (4)$$

Тогда процесс соотношения скоростей изменения белой жировой ткани лабораторных животных  $x = (x)_{t \geq 0}$  имеет вид

$$x_t = \int_0^t y_s dS. \quad (5)$$

Обозначим  $c_i$  (для  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – процент белой жировой ткани в момент времени  $\tau_i$  для контрольной группы животных.

Пусть  $\bar{c}_i$  (для  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – тот же показатель, но для экспериментальной группы.

Тогда изменение показателей будем вычислять по формуле

$$\frac{c_i}{\bar{c}_i} = p_i. \quad (6)$$

Пусть  $d_i$  (для  $i = 0, 1, 2, 3, \dots$ ) – процент белой жировой ткани в момент времени  $\theta_i$  для однородной группы людей. Тогда предполагаемое значение процента белой жировой ткани, если бы эта же группа людей придерживалась условий эксперимента, проводимого на лабораторных животных, будем вычислять по формуле

$$\bar{d}_i = \frac{d_i}{p_i}. \quad (7)$$

Значения средневидовых скоростей изменения белой жировой ткани человека рассчитываются для  $d_i$  и для оценки  $\bar{d}_i$ . Дальнейшие расчеты производятся аналогично описанной выше модели.

Методы, описываемые в настоящей работе, позволяют наглядно оценить изменение процента белой жировой ткани человека, согласно данным экспериментов, проведенных на лабораторных животных. Учитывается возраст животного, когда на нем проводился эксперимент, и производится аналитический расчет средневидовой скорости изменения жировой ткани у животного путем решения линейного уравнения. Дальнейшие расчеты произво-

дятся согласно описываемой выше модели по данным, приведенным в [2, 3, 4, 7], стоит заметить, что это пример использования

модели. Модель, описанная в настоящей работе, применима к данным любых других экспериментов такого рода.



Рис. 1. Изменение процента белой жировой ткани лабораторных животных с возрастом, для контрольной и экспериментальной групп:  
1 – кривая изменения белой жировой ткани для контрольной группы животных; 2 – кривая изменения белой жировой ткани для экспериментальной группы животных



Рис. 2. Изменение процента белой жировой ткани человека с возрастом:  
1 – кривая изменения белой жировой ткани для однородной группы людей; 2 – оценочная кривая изменения процента белой жировой ткани, согласно данным эксперимента, проведенного на лабораторных животных

Для компьютерного моделирования были выведены дискретные аналоги описанных выше уравнений. Построение имитационной стохастической модели проводилось на компьютере с процессором IntelCore2duo CPU – E8400 3 ГГц и ОЗУ 4 ГБ. Текст компьютерной програм-

мы написан на языке программирования Borland Delphi 7.

**Список литературы**

1. Barnes L.A., Opitz J.M., Gilbert-Barnes E. Obesity: genetic, molecular, and environmental aspects // American Journal of Medical Genetics. – 143A (24). – 2007. – P. 3016–3034.

2. Hahn P. The postnatal development of hormone sensitive lipase in brown and white adipose tissue of the rat // *Experientia*. – 1965. – № 21(11). – P. 634–635.
3. Kuzawa C.W. Adipose tissue in human infancy and childhood: an evolutionary perspective // *Am. J. Phys. Anthropol. Suppl.* 27. 1998. pp. 177–209.
4. Mott J.W., Wang J., Thornton J.C. Relation between body fat and age in 4 ethnic groups // *Am J Clin Nutr.* – 1999 – № 69. – P. 1007–1013.
5. Poissonet C.M., Burdi A.R., Garn S.M. The chronology of adipose tissue appearance and distribution in the human fetus // *Early Human Development.* – 1984. – № 10. – P. 1–11.
6. Saely C.H., Geiger K., Drexel H. Brown versus white adipose tissue: a mini-review // *Gerontology.* – 2012. – № 58. – P. 15–23.
7. Sutton G.M., Ptitsyn A.A., Floyd Z.E., Yu G., Wu X., Hamel K., Shah F.S., Centanni A., Eilertsen K., Kheterpal I., Newman S., Leonardi C., Freitas M.A., Bunnell B.A., Gimble J.M. Biological Aging Alters Circadian Mechanisms in Murine Adipose Tissue Depots // *Age.* – 2013. – 35(3). – P. 533–47.
3. Kuzawa C.W. Adipose tissue in human infancy and childhood: an evolutionary perspective // *Am. J. Phys. Anthropol. Suppl.* 27. 1998. pp. 177–209.
4. Mott J.W., Wang J., Thornton J.C. Relation between body fat and age in 4 ethnic groups // *Am J Clin Nutr.* 69. 1999 pp. 1007–1013.
5. Poissonet C.M., Burdi A.R., Garn S.M. The chronology of adipose tissue appearance and distribution in the human fetus // *Early Human Development.* 10. 1984 pp. 1–11.
6. Saely C.H., Geiger K., Drexel H. Brown versus white adipose tissue: a mini-review // *Gerontology.* 58. 2012. pp. 15–23
7. Sutton G.M., Ptitsyn A.A., Floyd Z.E., Yu G., Wu X., Hamel K., Shah F.S., Centanni A., Eilertsen K., Kheterpal I., Newman S., Leonardi C., Freitas M.A., Bunnell B.A., Gimble J.M. Biological Aging Alters Circadian Mechanisms in Murine Adipose Tissue Depots // *Age.* 35(3). 2013. pp. 533–47.

### References

1. Barness L.A., Opitz J.M., Gilbert-Barness E. Obesity: genetic, molecular, and environmental aspects // *American Journal of Medical Genetics.* 143A (24). 2007. pp. 3016–3034.
2. Hahn P. The postnatal development of hormone sensitive lipase in brown and white adipose tissue of the rat // *Experientia.* 21(11). 1965. pp. 634–635.

### Рецензенты:

Андреев А.С., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности и теории управления, декан факультета математики и информационных технологий, Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск;

Мищенко С.П., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой алгебро-геометрических вычислений, Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск.

Работа поступила в редакцию 18.11.2014.