

Раздел 2

РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

УДК 612:546.32:616-073.75

Аветисов А. Р., Делавари Д. М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБСОЛЮТНЫХ И ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАССЫ КАЛИЯ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ РАДИОМЕТРИИ ИЗОТОПА К-40

*Учреждение образования «Белорусский государственный медицинский университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследование призвано выявить возможность определения абсолютных и относительных показателей массы общего калия в организме человека методом радиометрии излучения радиоизотопа ^{40}K . При проведении исследования данная возможность подтвердилась, выявлен ряд закономерностей распределения калия в организме человека, в зависимости от ряда антропометрических параметров.

Ключевые слова: калий, спектрометр излучений человека, масса, радиоизотоп.

Введение. Калий является важным макроэлементом в организме человека. От его количества зависит адекватность функционирования всех клеток. Знание о его концентрации позволяет как диагностировать различные патологии, так и вести с этой целью профилактический скрининг населения.

Основным клиническим методом определения концентрации калия в сыворотке крови является традиционная спектрофотометрическая биохимия. Однако современные методы определения показателей калия достаточно требовательны к персоналу, дорогостоящи, сложны в применении, а также требуют постоянного пополнения расходных материалов.

Цель работы – данная работа призвана выявить возможность определения физиологических показателей калия в организме человека неинвазивным, не дозовым, простым, высокоточным, быстрым и дешевым методом.

Подобными характеристиками обладает метод радиометрии. В его основе лежит детекция природного радионуклида ^{40}K , уже содержащегося в организме пациента. Период полураспада данного радионуклида составляет более миллиарда лет, а содержание в природном калии составляет около 0,012 %, поэтому даже на фоне ежедневной потребности в калии в 3–4 грамма в сутки, он формирует дозу облучения порядка 0,1–0,2 мЗв/год из 3,0 мЗв от всех источников фона. При этом ^{40}K содержится в количестве, достаточном для проведения расчета показателей общего калия.

Метод перевода в абсолютную массу общего калия не является новым и проверен десятками, если не сотнями, научных исследований. Многочисленные успешные исследования проводила и Академия наук СССР, результаты которых будут упомянуты в работе.

Имея рабочую математическую формулу, возможна конвертация данных об абсолютном содержании общего калия в организме человека в концентрацию калия в сыворотке крови. При этом подобное исследование будет нетребовательным к персоналу, достаточно простым в проведении и не будет затратным для бюджета учреждений здравоохранения. Из расходных материалов необходима лишь электроэнергия на работу прибора мощностью около 300 Вт/ч, что сравнимо с энергозатратами на работу современной ПЭВМ.

Материалы и методы. В соответствии с научно-исследовательскими задачами кафедры по анализу доз внутреннего облучения населения Лунинецкого района Брестской области была сформирована и проанализирована группа лиц, проживающих на загрязненных изотопом ^{137}Cs участках района, а также составлена подробная база данных, включающая в себя главные идентификационные показатели внутреннего облучения населения [1].

По результатам 58 809 измерений спектрометра излучений человека (далее – СИЧ) в режиме радиометрии в период с 2015 по 2019 год в Лунинецком районе Брестской области проведена комплексная оценка полученных данных и их обработка. Предварительная обработка результатов,

а также конверсия показателей в рамках созданных рабочих формул проводилась с помощью программы Microsoft Excel. Статистическая обработка результатов проводилась с помощью программы Statistica 12.

Из-за значительного периода полураспада ^{40}K его массовая доля в природе стабильна и в настоящее время составляет примерно 0,000117 (0,0117 %) [2]. Активность 1 г ^{40}K составляет примерно $2,652 \times 10^5$ Бк. Исходя из этого, возможно составить рабочую математическую формулу для конвертации активности ^{40}K , полученной в ходе СИЧ, в абсолютную массу общего калия в организме человека.

Таким образом, всегда измеряемая и регистрируемая по умолчанию с помощью СИЧ активность ^{40}K может быть использована не только для определения активности ^{137}Cs , но и для расчета содержания общего калия. Формула (1) имеет следующий вид:

$$m_K = \frac{A_{\text{СИЧ}}}{A_{40\text{K}}} \times \frac{1}{\omega_{\text{K40}}}, \quad (1)$$

где m_K – масса общего калия организма;

$A_{\text{СИЧ}}$ – активность ^{40}K по результатам СИЧ, Бк;

$A_{40\text{K}}$ – активность 1 г чистого изотопа ^{40}K ($2,652 \times 10^5$ Бк);

ω_{K40} – массовая доля ^{40}K в природе (0,0117 %).

Результаты и обсуждение. Установлены меры центральной тенденции и изменчивости данных содержания общего калия в организме человека (таблица 1).

Таблица 1 – Статистика измерений ^{40}K и результатов его конвертации в общий К

Показатель*	Описательная статистика						
	среднее	медиана	нижний квартиль	верхний квартиль	стд. отклонение	асимметрия	эксцесс
^{40}K (Бк)	2845,40	2794,50	2194,80	3465,30	1009,927	0,4784	1,025
^{40}K (Бк/кг)	43,711	43,190	38,394	47,854	7,420	1,287	4,026
Общий К (г)	91,787	90,145	70,80	111,784	32,578	0,4784	1,025
Общий К (г/кг)	1,410	1,393	1,239	1,544	0,239	1,287	4,026

Примечание – * – здесь и далее по тексту значение калия в граммах или граммах на килограмм массы тела обозначает весь, т. е. общий или суммарный калий.

Меры центральной тенденции и статистические закономерности, полученные при пересчете абсолютных и относительных значений активности радиоизотопа ^{40}K с помощью формулы 1, представленной выше, соответствуют ранее полученным данным как отечественных [3], так и иностранных исследователей по идентичной тематике [4, 5]. Более подробно все закономерности распределения как абсолютного, так и общего калия в организме человека будут рассмотрены и описаны ниже, с приведением всех полученных в ходе исследования данных.

В ходе проведения теста на соответствие критерию Колмогорова – Смирнова и Лиллиефорса установлено, что распределение не является нормальным как для абсолютной, так и для удельной массы общего калия, что говорит о необходимости применения непараметрических методов обработки и анализа статистических данных (рисунки 1, 2 соответственно).

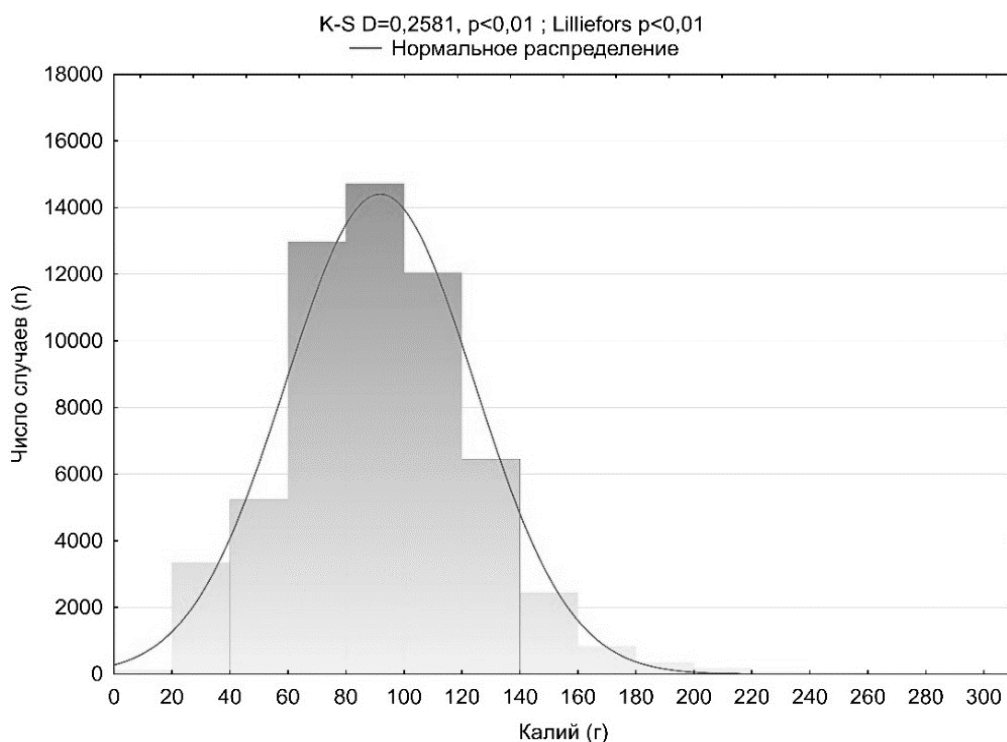


Рисунок 1 – Абсолютное содержание общего калия

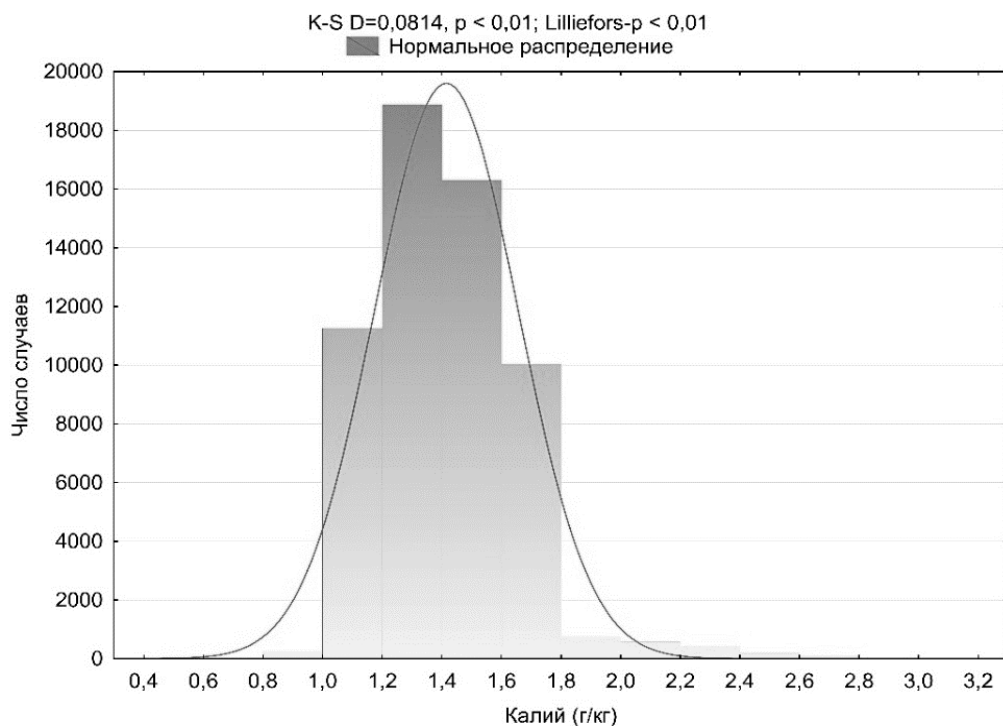


Рисунок 2 – Удельное содержание общего калия

Для удобства анализа, в соответствии с требованиями и рекомендациями ВОЗ, НКДАР ООН и МКРЗ, выборка разделена на возрастные группы. Выявлена статистически значимая зависимость содержания калия в организме человека от возраста и пола. Обнаружено, что как абсолютные, так и удельные значения массы общего калия у мужчин достоверно выше, чем у женщин на 18,6 % ($p < 0,001$) (рисунки 3, 4 соответственно).

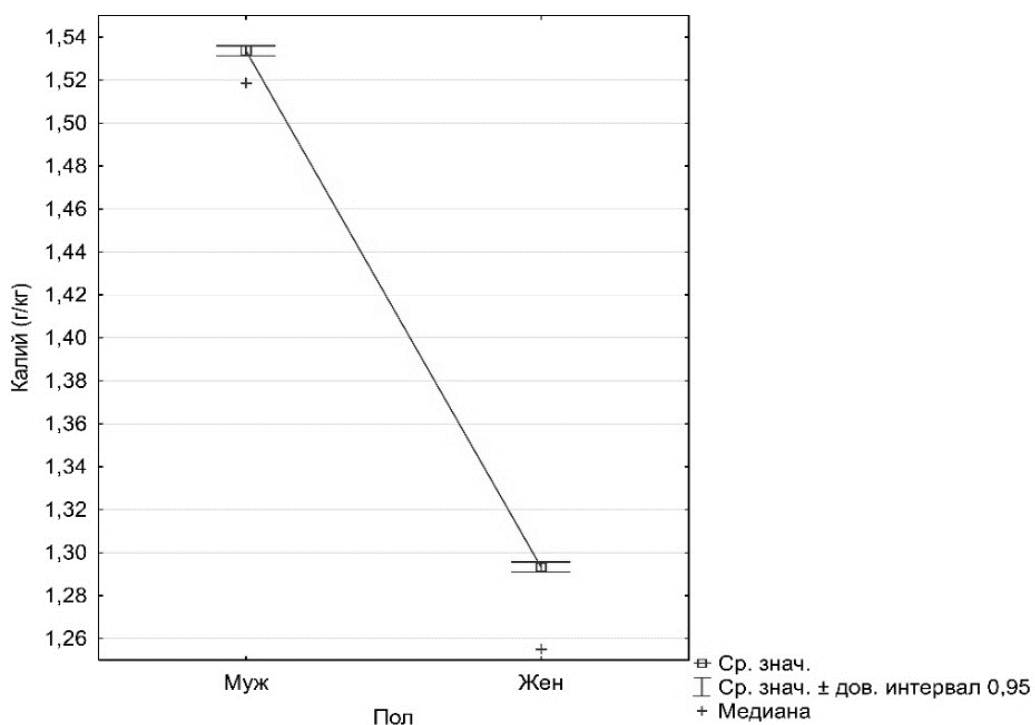


Рисунок 3 – Абсолютное содержание общего калия в зависимости от пола

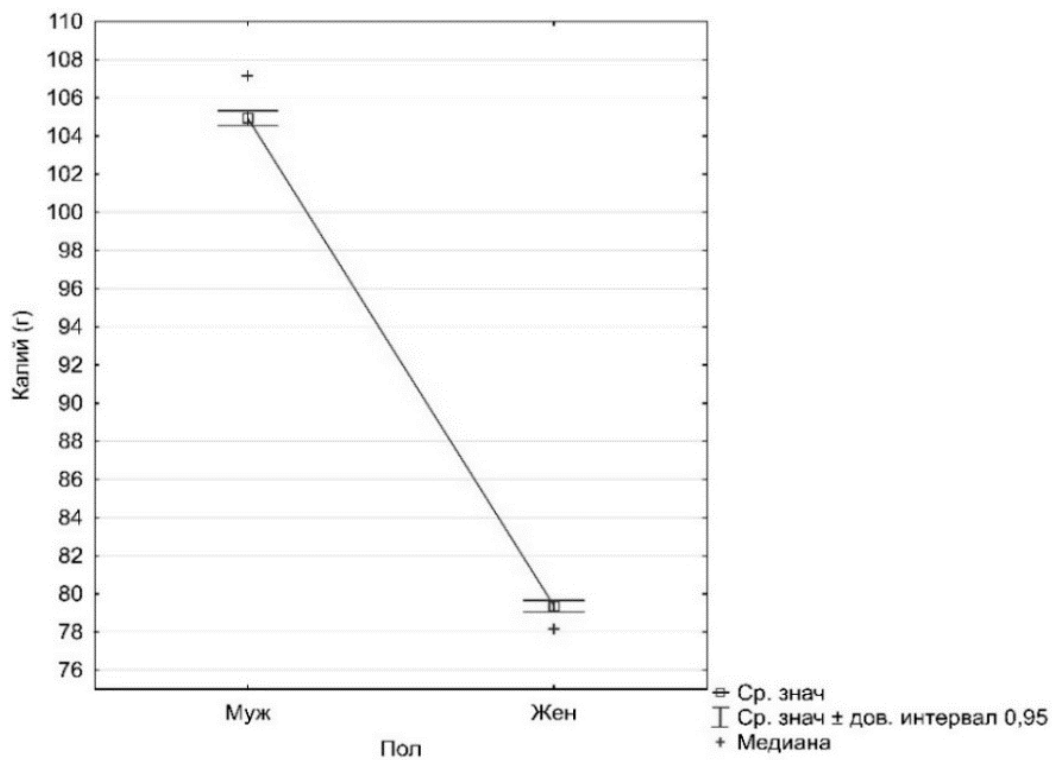


Рисунок 4 – Удельное содержание общего калия в зависимости от пола

Наблюдается обратная зависимость удельной массы общего калия от возраста, это подтверждает дисперсионный анализ ANOVA и тест Краскела – Уоллиса ($p = 0,00001$), представленные на рисунке 5. Высокий уровень доверительного интервала 0,95 в группе 90+ лет вызван наличием всего двух случаев в выборке, вследствие чего получилась графическая интерпретация статистики, представленная ниже.

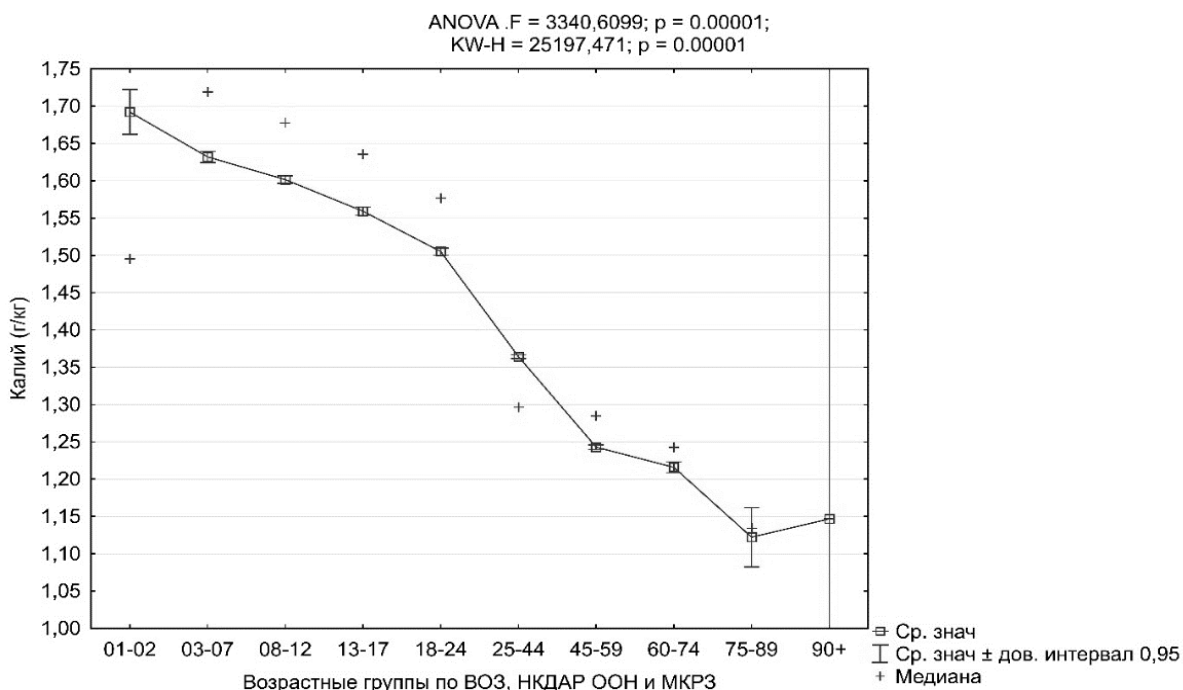


Рисунок 5 – Удельное содержание калия в зависимости от возраста

Для подтверждения влияния возраста на уровень общего калия в организме человека проведен соответствующий регрессионный анализ (рисунок 6).

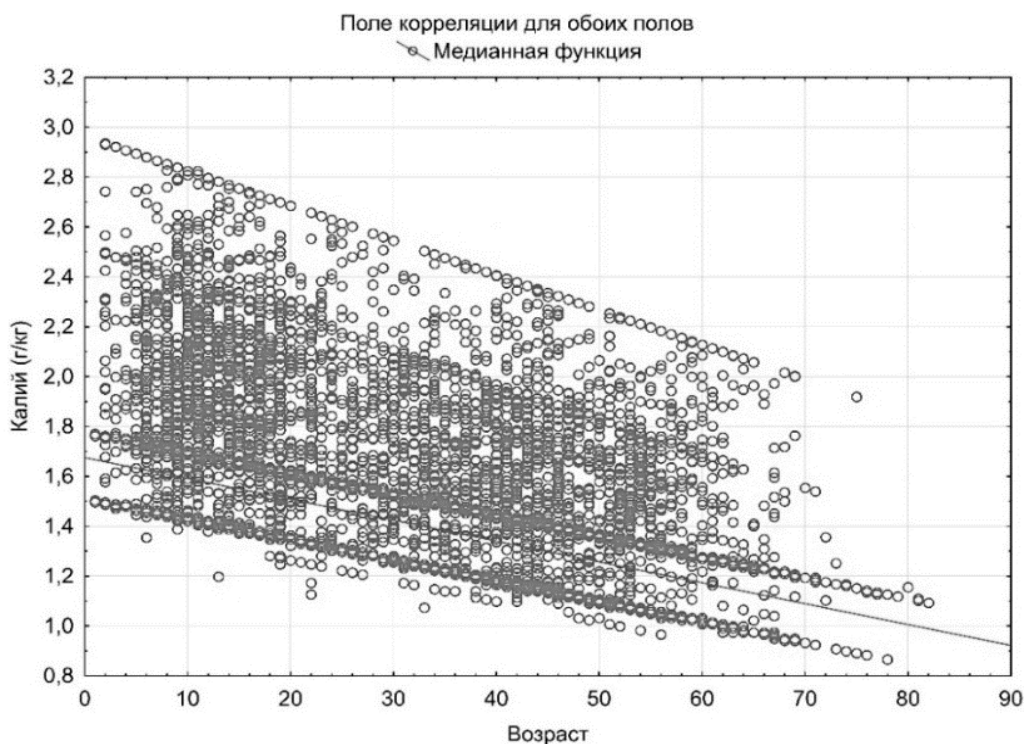


Рисунок 6 – Зависимость содержания калия от возраста

На графике сплошной линией обозначена линейная зависимость медианных значений удельного содержания калия (линия регрессии) в зависимости от возраста испытуемого. Самое высокое содержание калия наблюдается в возрасте до 2-х лет и далее оно необратимо снижается. Схожие графики составлены для каждого пола в отдельности (рисунок 7, 8).

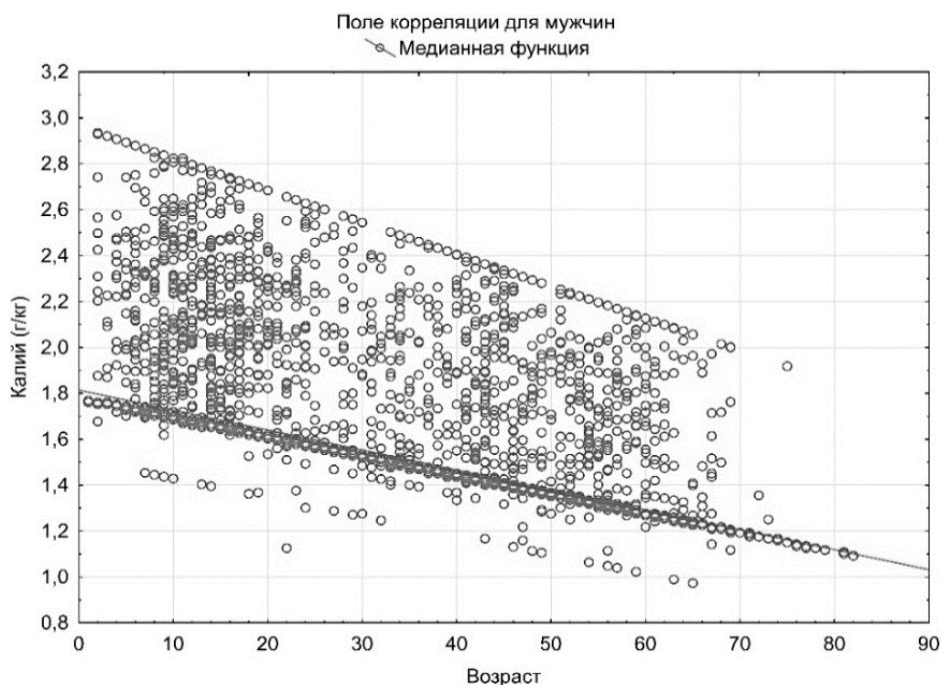


Рисунок 7 – Зависимость содержания калия от возраста у мужчин

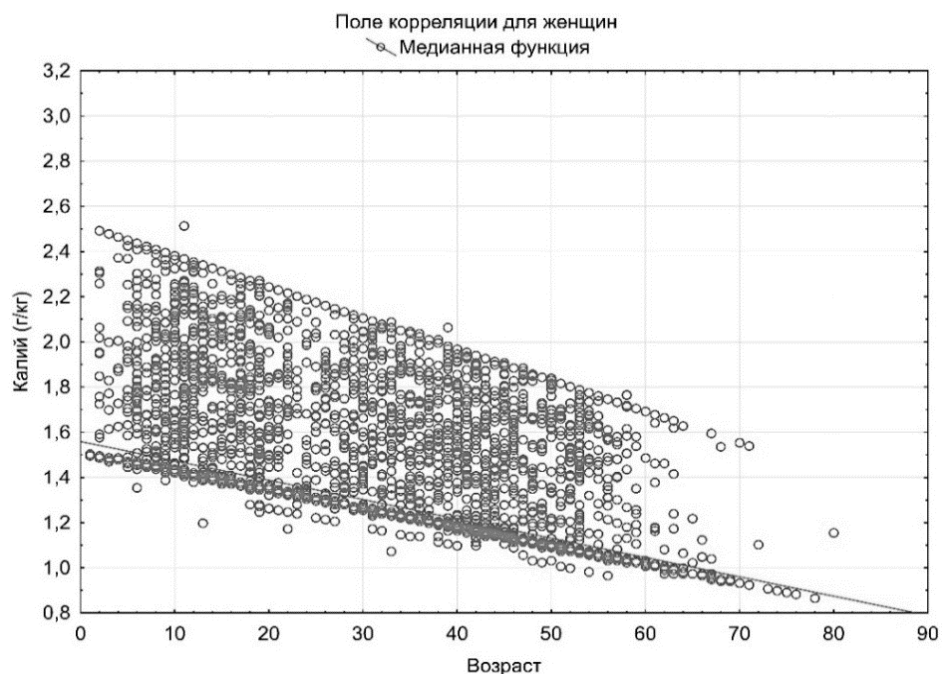


Рисунок 8 – Зависимость содержания калия от возраста у женщин

На основании полученных данных составлены уравнения регрессии, которые имеют следующий вид:

- 1) Калий (г/кг) = 1,814 – 0,0087 × Возраст (для мужчин),
- 2) Калий (г/кг) = 1,5592 – 0,0086 × Возраст (для женщин).

Следует отметить, что скорость падения во времени удельного содержания калия у мужчин и женщин сопоставимы, но отличаются абсолютным содержанием калия и коэффициентом регрессии, что отчетливо видно на графиках и уравнениях регрессии.

С учетом полученных данных создан график, отражающий зависимость удельного содержания калия в организме человека от возраста, с указанием конкретного числа случаев различных комбинаций

параметров, указанных выше (рисунок 9). Можно заметить, что максимальные значения удельного содержания калия встречаются в более молодом возрасте, в то время как минимальные значения удельного содержания калия намного чаще встречаются с ростом возраста ($p < 0,01$). Схожая закономерность также описана в пособиях по клинической биохимии, которые предназначены в первую очередь для работников биохимических лабораторий и клинических ординаторов.

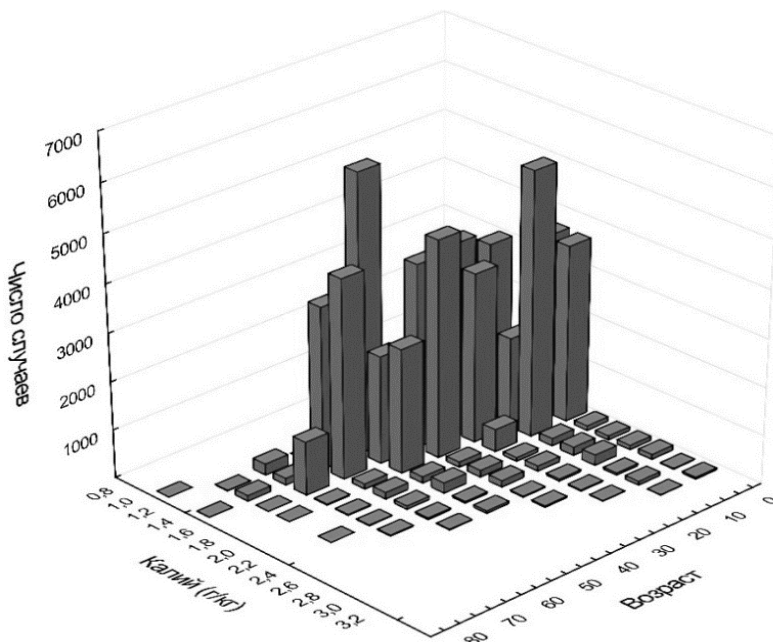


Рисунок 9 – Зависимость удельного содержания калия от возраста

Аналогичный график также составлен для оценки удельного содержания калия в организме человека в зависимости от индекса массы тела (далее – ИМТ) испытуемого (рисунок 10). Более высокие значения удельного содержания калия встречаются чаще при нормальном ИМТ ($p < 0,01$). С ростом ИМТ удельное содержание калия снижается ($p < 0,01$).

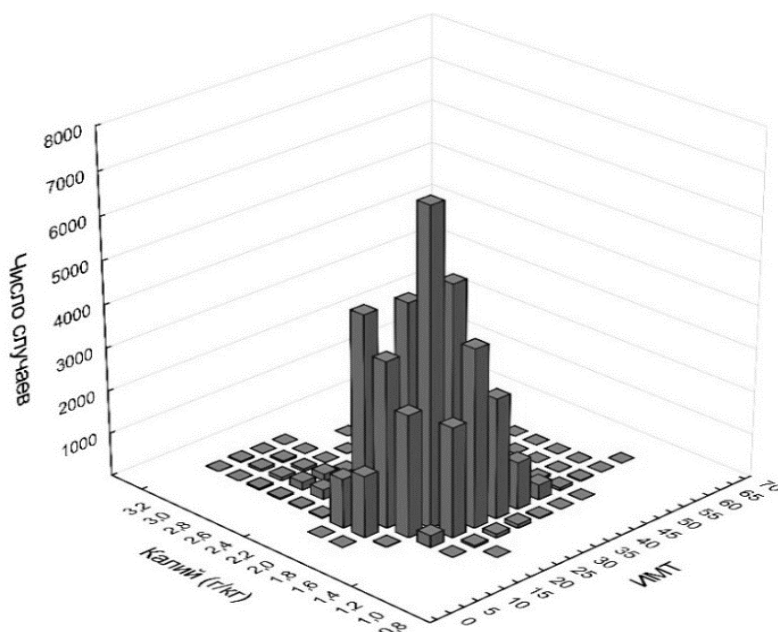


Рисунок 10 – Зависимость удельного содержания калия от ИМТ

Исходя из полученных в ходе данной части исследования данных, для обобщения и оптимизации восприятия полученных результатов, построен трехмерный график в виде искривленной поверхности, подробно отражающий зависимость удельного содержания калия в организме человека как от возраста, так и от ИМТ (рисунок 11). Эти данные сопоставимы с данными литературных источников [3–7].

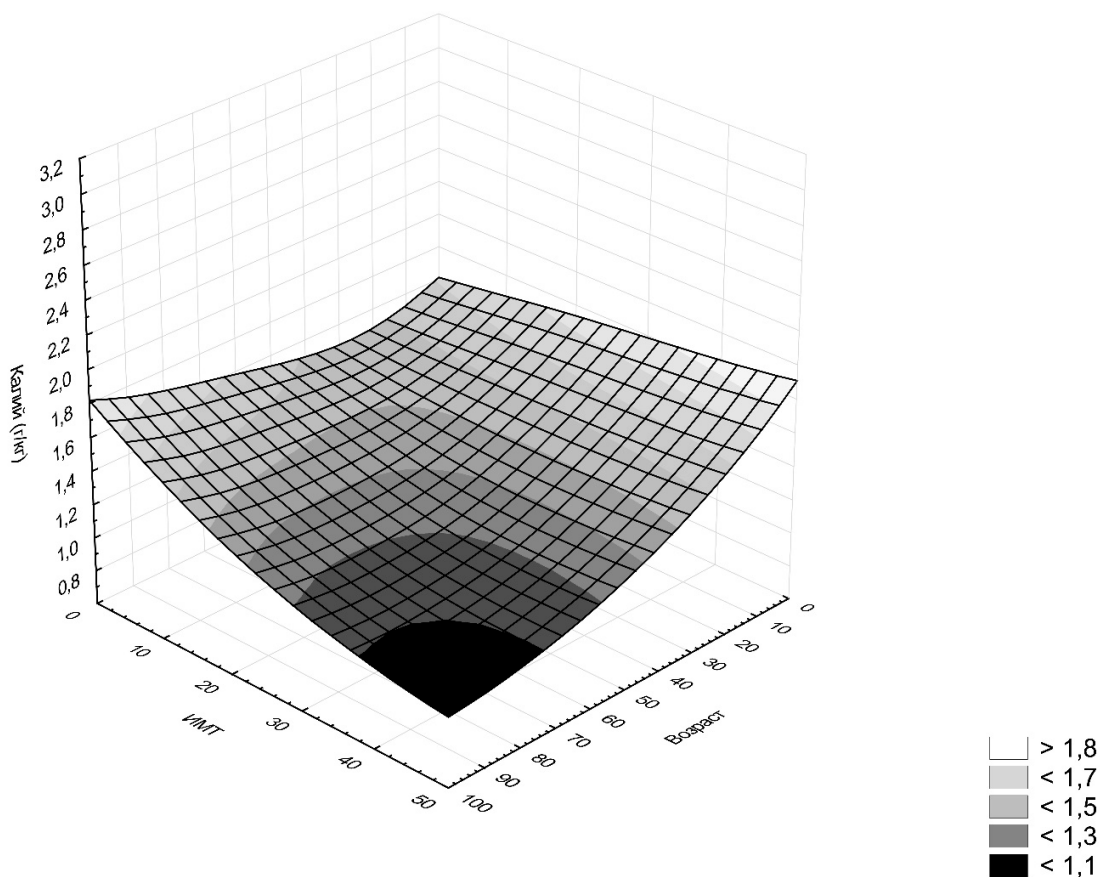


Рисунок 11 – Зависимость удельного содержания калия от возраста и ИМТ

Заключение. В ходе проведения исследования установлены следующие выводы:

1. Уровень общего калия в организме человека с высокой степенью точности возможно рассчитать путем детекции γ -излучения радиоизотопа ^{40}K с помощью СИЧ в режиме радиометрии.
2. Содержание калия в организме человека с возрастом достоверно снижается.
3. Содержание калия у мужчин достоверно выше, чем у женщин.
4. Высокий уровень ИМТ является фактором риска низкого содержания калия в организме человека, что в свою очередь может влиять на вероятность развития заболеваний сердечно-сосудистой системы.
5. Определение концентрации калия неинвазивным методом можно использовать как для профилактического скрининга, так и для лабораторной диагностики.
6. Полученные нами данные сопоставимы с данными литературных источников.

Литература

1. Аветисов, А. Р. Оценка накопления ^{40}K у жителей Лунинецкого района Брестской области / А. Р. Аветисов // Актуальные вопросы радиационной и экологической медицины, лучевой диагностики и лучевой терапии : сб. материалов VI межвузов. науч.-практ. интернет-конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, г. Гродно, 30 марта 2022 г. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Гроднен. гос. мед. ун-т ; редкол.: А. С. Александрович (отв. ред.), Т. И. Зиматкина. – Гродно, 2022. – С. 3–8. – 1 CD-ROM.
2. The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties / G. Audi, F. G. Kondev, Wang Meng [et al.] // Chinese Physics C. – 2017. – Vol. 41, № 3. – DOI: 10.1088/1674-1137/41/3/030001.

3. Габуня, Р. И. Метод радиометрии всего тела в клинической диагностике / Р. И. Габуня. – М. : Медицина, 1975. – 200 с.

4. Thulasi Brindha, J. A comparative study of body potassium content in males and females at Kalpakkam (India) / J. Thulasi Brindha, S. Rajaram, V. Kannan // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2007. – Vol. 123, № 1. – P. 36–40.

5. Total body potassium and body fat: relevance to aging / J. J. Kehayias, M. A. Fiatarone, H. Zhuang, R. Roubenoff // *The American Journal of Clinical Nutrition*. – 1997. – Vol. 66, № 4. – P. 904–910.

6. Body potassium content and radiation dose from ^{40}K for the urals population (Russia) / E. I. Tolstykh, M. O. Degteva, N. G. Bougrov, B. A. Napier // *PLoS One*. – 2016. – Vol. 11, № 4. – DOI: 10.1371/journal.pone.0154266.

7. Cox, J. R. Potassium changes with age / J. R. Cox, W. A. Shalaby // *Gerontology*. – 1981. – Vol. 27, № 6. – P. 340–344.

Avetisov A. R., Delavari D. M.

DETERMINATION OF ABOLUTE AND RELATIVE INDICATORS THE MASS OF POTASSIUM IN THE HUMAN BODY BY THE K-40 ISOTOPE RADIOMETRY METHOD

Educational institution «Belarusian State Medical University», Minsk, Belarus

The study aims to identify the possibility of determining the absolute and relative mass indices of total potassium in the human body by radiometry of radiation of the ^{40}K radioisotope. During the study, this possibility was confirmed, a number of patterns of potassium distribution in the human body were revealed, depending on a number of anthropometric parameters.

Keywords: potassium, human radiation spectrometer, mass, radioisotope.

References

1. Avetisov A. R. Estimated accumulation of ^{40}K among residents of the Luninetsky district of the Brest region. In: Aleksandrovich A. S., Zimatkina T. I., eds. *Aktual'nye voprosy radiacionnoj i ekologicheskoy mediciny, luchevoj diagnostiki i luchevoj terapii (Current issues in radiation and environmental medicine, radiation diagnostics and radiation therapy)*: Sb. materialov VI mezhvuzov. nauch.-prakt. internet-konferenciya studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenyh, g. Grodno, 30 marta 2022 g. Grodno; 2022: 3–8. (in Russian)

2. Audi G., Kondev F. G., Wang Meng et al. The NUBASE2016 evaluation of nuclear properties. *Chin Phys C*. 2017; 41(3). DOI: 10.1088/1674-1137/41/3/030001.

3. Gabuniya R. I. *Whole body radiometry method in clinical diagnostics*. Moscow: Medicina; 1975. (in Russian)

4. Thulasi Brindha J., Rajaram S., Kannan V. A comparative study of body potassium content in males and females at Kalpakkam (India). *Radiat Prot Dosimetry*. 2007; 123(1):36–40.

5. Kehayias J. J., Fiatarone M. A., Zhuang H., Roubenoff R. Total body potassium and body fat: relevance to aging. *Am J Clin Nutr*. 1997; 66(4): 904–10.

6. Tolstykh E. I., Degteva M. O., Bougrov N. G., Napier B. A. Body potassium content and radiation dose from ^{40}K for the urals population (Russia). *PLoS One*. 2016; 11(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0154266.

7. Cox J. R., Shalaby W. A. Potassium changes with age. *Gerontology*. 1981; 27(6): 340–4.

e-mail для переписки: avetisov@tut.by

Поступила 07.10.2024

ISSN 2076-3778

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ЦЕНТР ГИГИЕНЫ, ЭПИДЕМИОЛОГИИ
И ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ»

ЗДОРОВЬЕ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Сборник научных трудов

Выпуск 34

Гомель
Редакция газеты «Гомельская праўда»
2024