

**М. В. Мартинович, В. А. Изранов, А. В. Ермаков
Н. В. Казанцева, И. А. Степанян**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ФОРМУЛЫ ОБЪЕМА ПЕЧЕНИ

48

Предложен алгоритм формирования формулы объема печени по данным, доступным при использовании УЗИ и антропометрическим данным. Алгоритм построен на основе генетического алгоритма с расчетом коэффициентов с помощью линейной регрессии. Показано, что полученная формула точнее ранее предложенных. Этот алгоритм может быть использован для получения волюметрических формул для других органов при радиологических исследованиях.

The authors propose a method of liver volumetry using anthropometric data and the data obtained during an ultrasound examination. The algorithm is built on the basis of a genetic algorithm with coefficients calculated using linear regression. It is shown that the new formula is more accurate than previously proposed ones. The algorithm can be used to work out volumetric formulas for other organs in radiological studies.

Ключевые слова: генетический алгоритм, линейная регрессия, полиномиальная формула.

Key words: Genetic algorithm, linear regression, polynomial formula.

Проблема ультразвуковой волюметрии печени существует несколько десятков лет и в последние годы в связи с запросами трансплантологии и клинической медицины становится все более актуальной [20; 22; 25; 28]. До последнего времени ведущее место в прижизненном определении объема печени занимали КТ и МРТ визуализационные технологии, выступая «золотым стандартом» метода [6; 7; 14; 17]. В то же время высокая стоимость, необходимость специального дорогостоящего программного обеспечения для автоматизированной сегментации и высокая трудозатратность при ручной сегментации ограничивают внедрение КТ и МРТ-волюметрии печени в рутинный диагностический процесс этих методов клинической визуализации. Ультразвуковая волюметрия печени до последнего времени оставалась предметом научных исследований [9; 10] и также не входит в рутинный диагностический стандарт. Это обусловлено сложностью формы и крупными размерами печени (в сопоставлении с другими органами). Сложная форма не позволяет аппроксимировать ее к правильным геометрическим фигурам с использованием стандартных формул определения объема, что нередко используется для таких органов, как почки, щитовидная железа, яички, яичники. Крупные размеры органа затрудняют точное измерение поперечного размера печени. Кроме того, разработанные различными авторами формулы вычисления объема печени на основе уравнений линейной регрессии являются недостаточно точными.



В последние годы Дж. Чайлдс (2014–2016) была предложена новая формула [9–12], предполагающая возможность более широкого внедрения метода в повседневный диагностический процесс. Формула исключает необходимость измерения поперечного размера печени, что существенно оптимизирует процесс измерений и позволяет получить более точные результаты. Однако сами авторы указывают на несовершенство формулы, и наши предыдущие исследования демонстрируют высокое стандартное отклонение ошибки формулы от реального объема печени.

В связи с этим целью настоящего исследования стала разработка новой формулы вычисления объема печени для ультразвуковой волюметрии органа.

В таблице 1 представлены наиболее распространенные формулы вычисления объема печени на основе измерений, полученных при ультразвуковом исследовании.

49

Таблица 1

Волюметрические формулы вычисления объема печени

$V = 133,2 + 0,422 \cdot \text{ККПД} \cdot \text{ТПД} \cdot \text{ШП}$	M. Zoli et al. (1989)
$V = (\text{ККПД} \cdot \text{ТПД} \cdot \text{ШП} - 545) / 2320$	M. Patlas et al. (2001)
$V = (0,12 + \text{ККПД} \cdot \text{ТПД} \cdot \text{ШП}) / 2,55$	D. Glenn et al. (1997)
$V = 320,86 + 0,317 \cdot \text{ККПД} \cdot \text{ТПД} \cdot \text{ШП}$	D. Elstein et al. (1997)
$V = 345,71 + 0,84 \cdot \text{КВР} \cdot \text{ТПД} \cdot \text{ТЛД}$	J. Childs et al. (2014–2016)

Примечание. ККПД – кранио-каудальный размер правой доли, КВР – косой вертикальный размер, ТПД – толщина правой доли, ШП – ширина печени, ТЛД – толщина левой доли.

Материал и методы

Описание процедур измерений

Измерение линейных размеров печени осуществлялось в ходе стандартного ультразвукового исследования органов брюшной полости [3–5] в положении пациента на спине с отведенными за голову руками для расширения межреберий и снижения маскирующего влияния легочной ткани на изображение печени. В ходе продольного сканирования были получены два скана печени в парасагиттальной плоскости: сечение правой доли и левой доли. При получении сечений обеих долей стремились к точному соблюдению двух условий: выведение сечения строго в сагиттальной или парасагиттальной плоскости и получение сечения с максимальной площадью среза с полным контуром среза доли. Сечение правой доли осуществляли из субкостального или интеркостального доступов. В случае необходимости, обусловленной конституциональными особенностями пациента, при невозможности получить срез правой доли при спокойном дыхании для адекватной визуализации полного среза правой доли использовали фиксацию («замораживание») изображения при задержке дыхания на вдохе. В качестве ориентира для получения среза правой доли использовали правую среднеключичную линию. Более точным критерием адекватного полу-



чения среза использовали наиболее высокую точку правого купола диафрагмы с одновременным изображением в срезе нижнего края правой доли печени и продольного сечения правой почки (рис. 1). На срезе правой доли измеряли следующие размеры: кранио-каудальный (КК ПД), косой вертикальный (КВР) и переднезадний размер (толщину правой доли – ТПД). Кранио-каудальный размер правой доли в случаях, когда всю диафрагмальную поверхность правой доли печени вывести в сечение не удастся, начинали от конечной точки КВР (рис. 2). Дополнительным условием правильного получения ККПД служит соблюдение строгой горизонтали полученной линии нижнему краю экрана монитора, что соответствует вертикальной оси органа с учетом правильного анатомического положения. Для адекватного получения КВР курсоры электронного калипера размещали на нижнем крае печени и наиболее удаленной точке задне-диафрагмальной поверхности правой доли (рис. 1, 2).

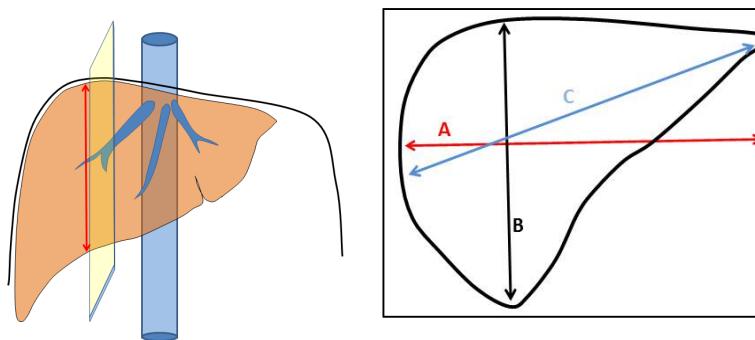


Рис. 1. Получение среза правой доли печени для измерения кранио-каудального размера правой доли (ККПД, А), толщины правой доли (ТПД, В) и косого вертикального размера (КВР, С)

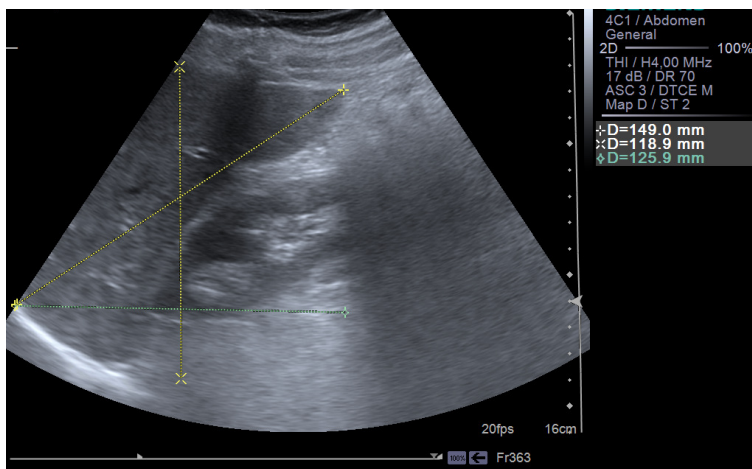
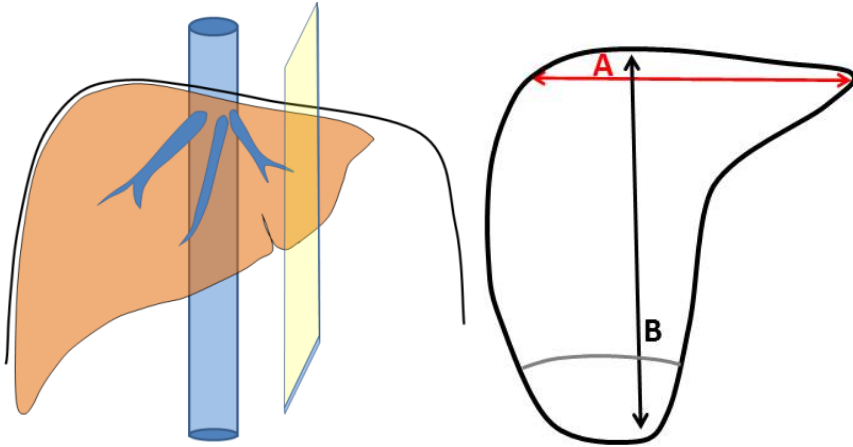


Рис. 2. Определение размеров правой доли печени при продольном сканировании по среднеключичной линии из субкостального доступа: КВР = 149 мм, ТПД = 118,9 мм, ККР ПД = 125,9 мм



Сечение левой доли получали при продольном сканировании в эпигастральной области (рис. 3). Толщину левой доли (ТЛД) определяли между наиболее выступающей кпереди точкой передней диафрагмальной поверхности и задней диафрагмальной поверхностью с соблюдением условия параллельности линии левой боковой поверхности экрана (рис. 4, 5).



51

Рис. 3. Получение среза левой доли печени для измерения кранио-каудального размера левой доли (ККЛД, А) и толщины левой доли (ТЛД, В)

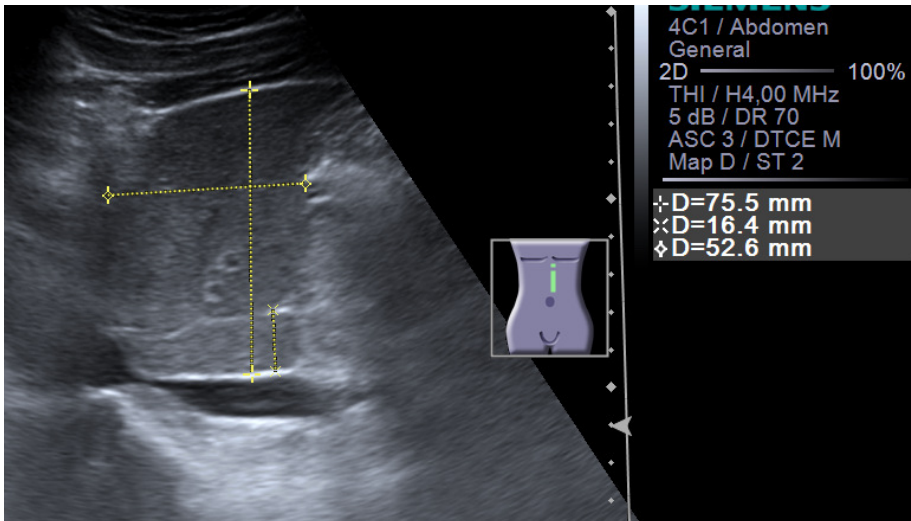


Рис. 4. Определение размеров левой доли печени при продольном сканировании по срединной линии: ТЛД=75,5 мм, КК ЛД = 52,6 мм, толщина хвостатой доли = 16,4 мм

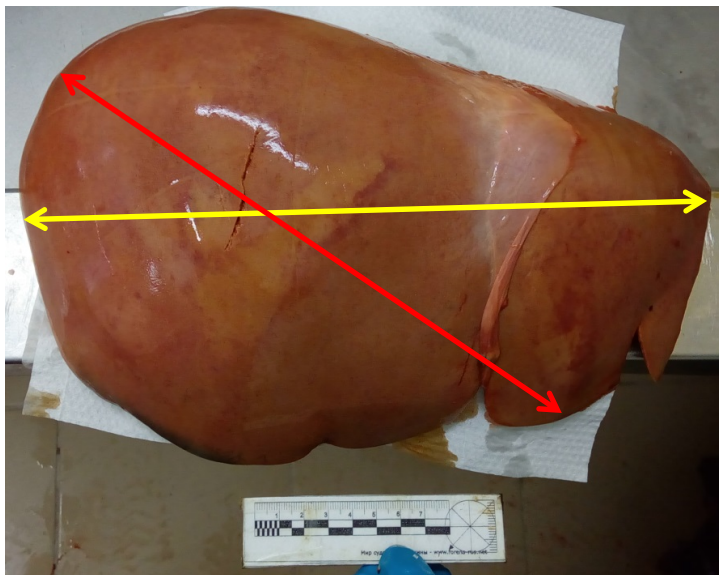


Рис. 5. Измерение ширины печени (ШП, желтая стрелка) и косо поперечного размера (КПР, красная стрелка)

Первоначальный набор материала для измерения печени и ее объема методом вытеснения жидкости осуществляли на трупных препаратах нефиксированной печени, извлеченной из брюшной полости трупа в ходе судебно-медицинского вскрытия.

Исследование выполнено на 34 трупах лиц, умерших в результате различных заболеваний, исследованных в ГБУЗ «Бюро судебно-медицинской экспертизы Калининградской области». Все судебно-медицинские исследования проводились в соответствии с приказом Минздрава РФ от 12 мая 2010 г. № 346-н «Об утверждении порядка организации и производства судебно-медицинских экспертиз в государственных судебно-экспертных учреждениях Российской Федерации». Трупы исследовались по методу Шора. Среди исследованных трупов было 18 мужчин и 13 женщин в возрасте от 28 до 96 лет. Причина смерти исследованных указана в таблице 2.

Таблица 2

Причина смерти и количество наблюдений, n

Причина смерти	n
Рак поджелудочной железы	1
Обтурационная асфиксия	1
Геморрагический инсульт	1
Повешение	1
Ожоговая болезнь в стадии септикотоксемии	1
Тромбоэмболия легочной артерии	1
Гипотермия	1



Окончание табл. 2

Причина смерти	n
Эмпиемы плевры	1
Рак мочевого пузыря	1
Двухсторонняя субтотальная плевропневмония	1
Отравление неустановленным веществом	1
Ишемическая кардиомиопатия	1
Цирроз печени	2
Острый инфаркт миокарда	1
Алкогольная кардиомиопатия	2
Атеросклеротическая болезнь сердца	14

53

В ходе судебно-медицинского вскрытия печень извлекалась из брюшной полости. После отсечения желчного пузыря и связочного аппарата печень взвешивалась и затем помещалась в емкость с водой для определения объема органа методом измерения объема вытесненной жидкости.

Измерение размеров печени осуществлялось на срезах обеих долей по вышеперечисленным принципам определения размеров печени при ультразвуковом исследовании. Для проведения измерений по принципам, применяемым в ультразвуковом исследовании, осуществляли два разреза печени в парасагитальной плоскости. Правую долю рассекали на уровне наиболее выступающей точки диафрагмальной поверхности, соответствующей правому куполу диафрагмы (см. рис. 1). Левую долю рассекали в непосредственной близости к серповидной связке (см. рис. 3). Полный перечень произведенных измерений печени указан далее в таблице 3.

Метод вычисления объема печени

Для формирования формулы вычисления объема печени использовался генетический алгоритм (ГА), основные положения которого изложены в работе Д. Уитли (D. Whitley) [30].

Краткое описание генетического алгоритма

Это универсальный глобальный оптимизационный алгоритм. «Универсальный» означает, что с помощью генетического алгоритма можно оптимизировать произвольные объекты (если доступны к изменению изменяемые параметры объекта и может быть измерена степень «оптимальности» измененного объекта); «глобальный» — что он осуществляет поиск оптимума глобально, вне зависимости от локального поведения функции оптимальности (не останавливаясь, таким образом, в локальных оптимумах).



Генетический алгоритм (ГА) построен по аналогии с механизмом, обеспечивающим приспособление к экологическим нишам в животном мире. Его основные положения:

— Каждому признаку, на который мы хотим воздействовать, ставится в соответствие «ген» (чаще всего это число); ген может принимать значение в выбранном нами диапазоне; процесс пересчета параметра в ген называется кодированием.

— Все признаки оптимизируемого объекта, на который мы хотим воздействовать, после кодирования образуют «экземпляр» с конкретными, обусловленными признаками объекта, комплектом генов.

— Имея экземпляр, можно декодировать его гены (генотип), а получив значения параметров объекта (фенотип), задать объекту эти параметры; после этого нужно «испытать» полученный объект — измерить на реальном объекте или сделать расчет по модели (или формуле). Причем результатом «испытания» должно быть число, которое уменьшается по мере приближения к оптимальному состоянию в случае минимизации (или увеличивается в случае максимизации). Это число называют значением «приспособленности» экземпляра.

— Создается несколько экземпляров со случайно заполненными генами (популяция, в простейшем случае — одна).

— Для каждого экземпляра поколения вычисляется приспособленность. Чем лучше приспособленность, тем выше шансы экземпляра участвовать в формировании следующего поколения.

— После этого к экземплярам поколения применяются генетические операторы, основные:

— мутация — незначительные изменения в одном из нескольких генах экземпляра;

— скрещивание — обмен несколькими генами между экземплярами поколения;

— отбор — прямое попадание в следующее поколение или в качестве участников в мутации или скрещивании.

— В результате образуется следующее поколение с тем же количеством экземпляров, для этого нового поколения вновь вычисляется приспособленность и т.д. Это цикл повторяется, пока не будет выполнено какое-либо из условий остановки алгоритма — достижение желаемой величины приспособленности, вырождение популяции (подавляющая доля одинаковых экземпляров, что делает бессмысленным скрещивание), количество поколений или др.

Таким образом, работу с ГА можно разделить на 3 фазы:

1. Выбор кодируемых параметров объекта (фенотип), способа кодирования (генотип) и способа получения (вычисления) значения оптимальности (приспособленности).

2. Выбор параметров работы ГА (параметры популяции и генетических операторов) и критериев остановки (достаточная приспособленность, вырождение популяции, количество поколений и др.).

3. Выполнение ГА.

В данной работе оптимизация с помощью ГА представлена в виде трех блок-схем (рис. 6–8). Фаза 1 — «Задание структуры формулы» (рис. 6, 7); фаза 2 — «Задание ограничений на формулу» и «Задание



параметров» (рис. 6); фаза 3 – рисунок 7. Особенностью реализации генетического алгоритма, использованного в настоящей работе, является то, что в ходе выполнения сохраняется лучший (наиболее приспособленный) на текущий момент экземпляр. С этой целью в начале алгоритма задается $E_{best} = \infty$, а при вычислении приспособленности E , если экземпляр имеет ее меньше, чем E_{best} , экземпляр сохраняется, а E_{best} заменяется E (рис. 8, ветвь *Да*).

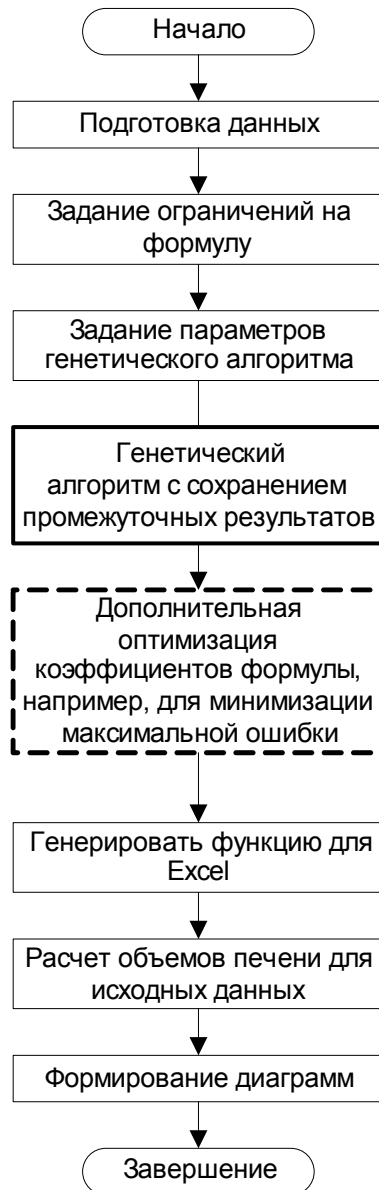


Рис. 6. Выбор кодируемых параметров объекта (фенотип)



Генетический алгоритм с сохранением промежуточных результатов

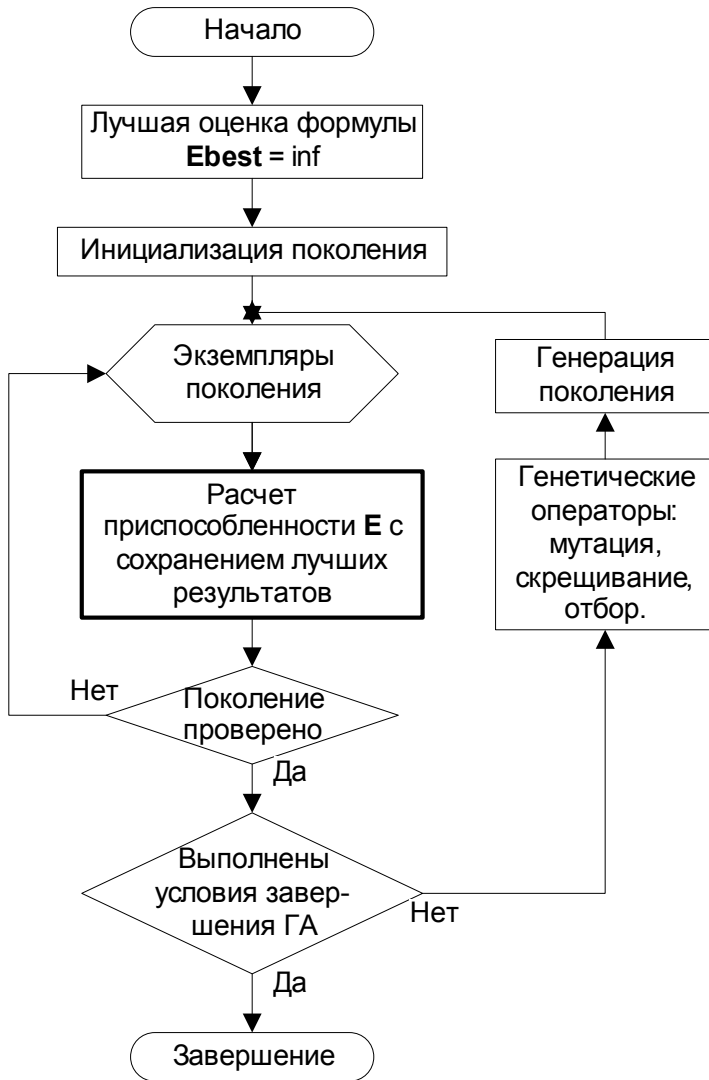


Рис. 7. Принцип работы генетического алгоритма



Расчет приспособленности E с сохранением лучших результатов

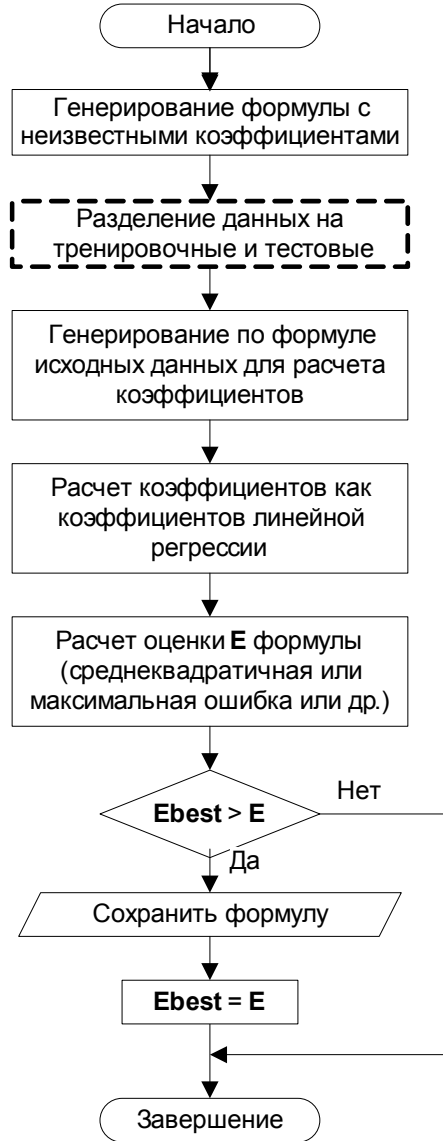


Рис. 8. Вычисление приспособленности

Рассмотрим детали подробнее.

Фенотип экземпляра: оптимизации подвергается формула, аппроксимирующая реальные объемы печени в функции от ее размеров и антропометрических данных: рост, возраст, пол. Размеры печени, использованные для получения формулы, приведены в таблице 3.



Таблица 3

**Размеры печени, измеренные *ex vivo* на извлеченных препаратах
трупной печени по принципам, соответствующим измерениям
при ультразвуковом исследовании**

Размер	Описание
Косой вертикальный размер (КВР)	Продольный размер в парасагиттальном сечении правой доли на уровне средне-ключичной линии, измеренный от наиболее высокой точки диафрагмальной поверхности до нижнего края печени (см. рис. 2)
Толщина правой доли (ТПД)	Переднезадний размер в парасагиттальном сечении правой доли на уровне средне-ключичной линии, измеренный от передней диафрагмальной поверхности до задней диафрагмальной поверхности под прямым углом к вертикальной оси (см. рис. 2)
Кранио-каудальный размер правой доли (ККРПД)	Продольный размер в парасагиттальном сечении правой доли на уровне средне-ключичной линии, измеренный от наиболее высокой точки диафрагмальной поверхности до нижнего края печени строго по вертикальной оси (см. рис. 2)
Кранио-каудальный размер левой доли (ККЛД)	Вертикальный размер в парасагиттальном/сагиттальном сечении левой доли на уровне срединной линии, измеренный от задней диафрагмальной поверхности до нижнего края печени (см. рис. 4)
Толщина левой доли печени (ТЛД)	Переднезадний размер в парасагиттальном/сагиттальном сечении левой доли на уровне срединной линии, измеренный от передней диафрагмальной поверхности до задне-диафрагмальной поверхности под прямым углом к вертикальной оси (см. рис. 4)
Ширина печени (ШП)	Измерение между наиболее удаленными точками правой границы и левой границы печени строго в горизонтальной плоскости с точки зрения правильного анатомического положения (см. рис. 5)
Косой поперечный размер печени (КПП)	Измерение между наиболее удаленными точками правого купола диафрагмы и нижнего края левой доли печени (см. рис. 5)

Сама формула имеет вид полинома:

$$V = A_0 + A_n \sum_{n=1}^N \prod_{m=1}^M (X_{n,m})^{P_{n,m}}, \quad (1)$$

где V – оценка объема печени; $A_0 \dots A_N$ – числовые коэффициенты; N – количество степенных членов полинома; M – количество множителей в каждом степенном члене; $X_{n,m}$ – один из размеров печени из таблицы 3; $P_{n,m}$ – степень при $X_{n,m}$



Например, формула может выглядеть так (обратим внимание, что так как генетический алгоритм не проверяет размеры в формуле на повторение, оптимизированную формулу по завершению алгоритма нужно проверить на возможность упрощения)

$$V = 2242 + 1021 \cdot \text{ККПД}^{0,5} - 7451 \cdot \text{КПР}^{-1} \cdot \text{ТЛД}^{0,5} \cdot \text{ТПД}^{-0,5}.$$

В перечисленных параметрах формулы к фенотипу авторы отнесли $X_{n,m}$ и $P_{n,m}$; ген для $X_{n,m}$ представлял собой целое число (номер размера в списке размеров), ген для $P_{n,m}$ — вещественное число; общее число генов в экземпляре $2 \cdot N \cdot M$.

К ограничениям на формулу были отнесены N , M , а также диапазон и кратность, с которой может задаваться $P_{n,m}$. Числовые коэффициенты $A_0 \dots A_N$ рассчитывались численно как коэффициенты линейной регрессии при заданных генетическим алгоритмом степенных членах полинома (см. рис. 8), расчет $A_0 \dots A_N$ не относится к генетическому алгоритму как таковому.

Приспособленность вычислялась как среднеквадратичное значение разницы между реальными и вычисленными по формуле объемами печени; цель оптимизации — минимизация этого значения.

Сравнение известных формул с предложенной формулой

Сравнение осуществлялось по следующим параметрам:

Абсолютная ошибка:

$$Ea_i = V_{\text{calculation}_i} - V_{\text{experiment}_i}.$$

Относительная ошибка:

$$Er_i = \frac{V_{\text{calculation}_i} - V_{\text{experiment}_i}}{V_{\text{experiment}_i}} \cdot 100\%.$$

Среднеквадратичная абсолютная ошибка:

$$Esa = \sqrt{\frac{1}{Im} \sum_{i=1}^{Im} V_{\text{calculation}_i} - V_{\text{experiment}_i}}.$$

Среднеквадратичная относительная ошибка:

$$Esr = \sqrt{\frac{1}{Im} \sum_{i=1}^{Im} \frac{V_{\text{calculation}_i} - V_{\text{experiment}_i}}{V_{\text{experiment}_i}} \cdot 100\%}.$$

где i — номер строки данных, Im — количество строк данных; $V_{\text{calculation}_i}$ — рассчитанный объем печени, $V_{\text{experiment}_i}$ — объем печени, измеренный экспериментально.



Результаты

Были получены несколько формул, сопоставимых друг с другом по среднеквадратичной ошибке. Среди них выбрана формула с наименьшей максимальной ошибкой:

$$V = 113 + 16.6 \cdot \text{ТПД}^{-1} \cdot \text{КВР}^{\frac{3}{2}} + 3.92 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Рост} \cdot \text{ТПД}^{\frac{5}{2}} - 2.23 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Рост}^{5/2} \cdot \text{Возраст}^2 + 2.11 \cdot \text{ККЛД}$$

60

(размеры печени измерялись в мм, рост в см, возраст в годах, объем печени в см³).

В нашей предыдущей работе [2] проведена оценка возможности измерения объема печени на основании линейных размеров органа по пяти формулам, предложенным для ультразвуковой воллометрии [9; 15; 16; 3; 29].

Было показано, что оптимальной формулой для вычисления объема печени на основе линейных размеров органа с позиций наименьшего отклонения результата вычисления от реального объема печени является формула Дж. Чайлдс [11; 12]. В связи с этим все последующие сопоставления предложенной нами формулы приводятся в сравнении с формулой Дж. Чайлдс (табл. 4, рис. 9–11).

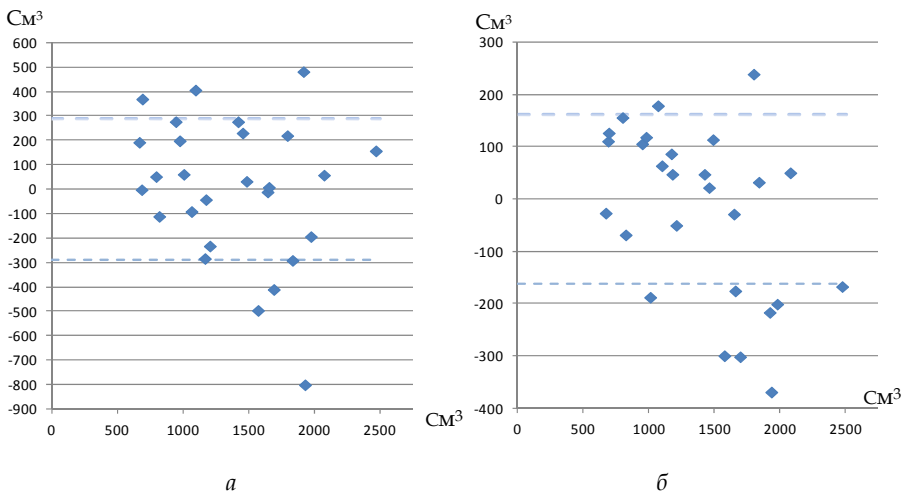


Рис. 9. Абсолютная ошибка:

а – по формуле Дж. Чайлдс, б – по предлагаемой нами формуле;
по оси X – экспериментально измеренный объем, по оси Y – абсолютная ошибка

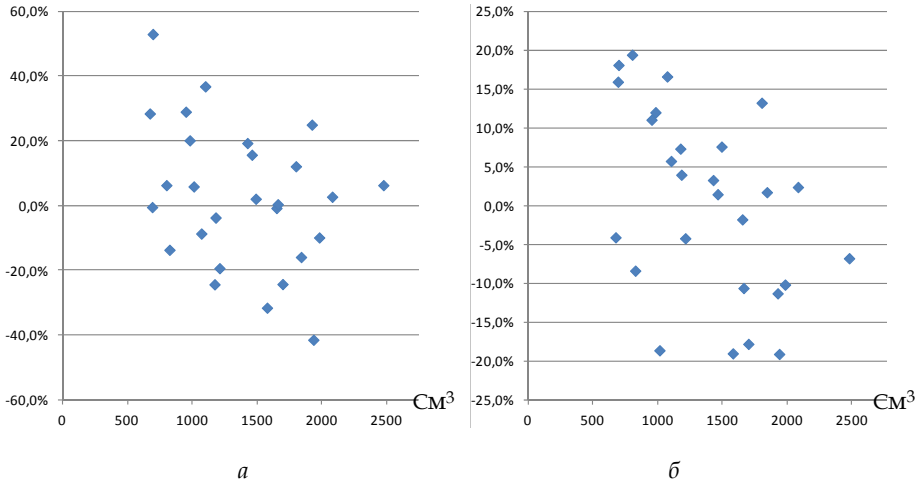


Рис. 10. Относительная ошибка:
a – по формуле Дж. Чайлдс, *б* – по предлагаемой нами формуле;
 по оси X – экспериментально измеренный объем, по оси Y – относительная ошибка

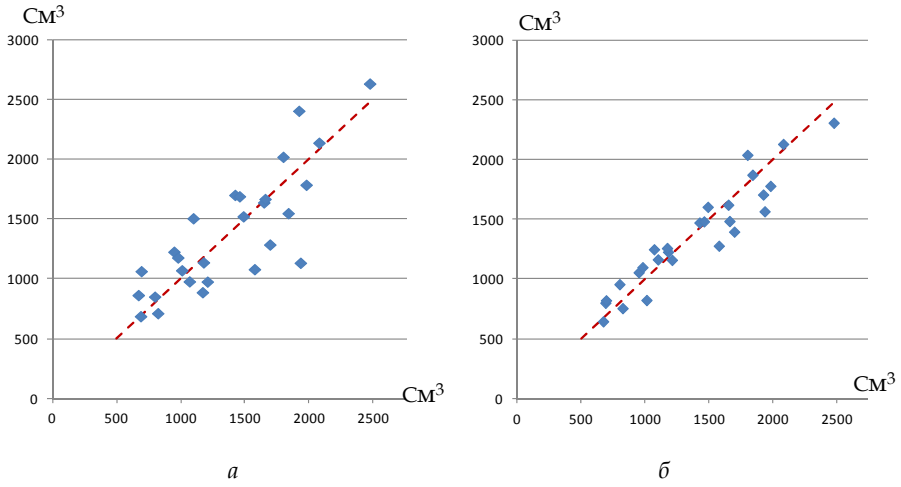


Рис. 11. Вычисленный объем:
a – по формуле Дж. Чайлдс, *б* – по предлагаемой нами формуле;
 по оси X – экспериментально измеренный объем, по оси Y – вычисленный объем

Исходные данные и результаты применения предложенной формулы и формулы Дж. Чайлдс

№	Антроп.		Размеры печени				Объем печени, см ³	Предложенная формула		Формула Дж. Чайлдс	
	Рост, см	Возраст, лет	КВР, мм	ТПД, мм	ТЛД, мм	КК ЛД, мм		Абс. ошибка, см ³	Отн. ошибка, %	Абс. ошибка, см ³	Отн. ошибка, %
1	181	28	255	110	51	152	1840	77	4,2	-293	-16
2	144	92	176	66	53	101	672	-27	-4,1	191	28
3	175	56	248	82	55	142	1697	-302	-17,8	-412	-24
4	165	55	232	78	52	112	1180	47	4,0	-44	-4
5	157	82	247	98	57	118	1100	63	5,7	405	37
6	177	55	274	92	61	155	1650	-29	-1,8	-13	-1
7	167	75	228	82	56	126	950	105	11,0	275	29
8	178	36	305	102	64	165	1800	238	13,2	218	12
9	177	70	297	92	59	134	1425	47	3,3	275	19
10	155	96	211	52	37	98	690	110	15,9	-3	0
11	170	39	273	122	64	162	2080	50	2,4	56	3
12	157	75	238	77	54	115	980	118	12,0	197	20
13	180	54	352	112	69	192	2475	-168	-6,8	156	6
14	170	51	293	82	39	112	1935	-369	-19,1	-802	-41
15	173	47	289	104	57	134	1980	-201	-10,2	-195	-10
16	177	59	275	102	57	103	1460	21	1,5	229	16
17	170	63	155	115	49	119	1577	-300	-19,0	-498	-32
18	153	75	233	70	46	132	1210	-51	-4,2	-234	-19
19	170	85	207	75	55	135	695	126	18,1	368	53

20	165	59	263	95	56	165	1490	113	7,6	31	2
21	170	53	241	81	33	103	1172	86	7,3	-285	-24
22	170	87	225	65	59	114	1011	-188	-18,6	60	6
23	177	78	291	68	38	104	1070	178	16,6	-93	-9
24	180	76	278	87	65	189	1660	-176	-10,6	6	0
25	157	76	186	85	38	136	800	155	19,4	50	6
26	174	62	255	113	85	156	1923	-217	-11,3	480	25
27	168	86	219	71	28	99	824	-69	-8,4	-113	-14
28	177	65	249	110	42	142	1430	121	8,4	-118	-8
29	182	64	284	75	38	119	1530	-144	-9,4	-504	-33
30	177	50	352	80	65	172	1977	147	7,4	-94	-5
31	180	35	349	92	48	181	2300	-43	-1,9	-660	-29
<i>Максимальная ошибка</i>								238	19,4	480	52,9
<i>Минимальная ошибка</i>								-369	-19,1	-802	-41,5
<i>Среднеквадратичное значение ошибки</i>								157,62	11,32	308,32	21,71



Как видно из таблицы и диаграмм, предлагаемая формула на наших данных демонстрирует значительно более высокую точность по сравнению с формулой Дж. Чайлдс. Абсолютная ошибка измерений объема печени по формуле Дж. Чайлдс составила от -802 до $+480$ см³ против -369 до $+238$ см³ (уменьшение более чем в 2 раза); среднеквадратичная абсолютная ошибка 308 см³ против 158 см³ (уменьшение в 1,95 раза); среднеквадратичная относительная ошибка $21,7\%$ против $11,8\%$ (уменьшение в 1,92 раза); относительная ошибка лежит в диапазоне от $-41,5$ до $+52,9\%$ против диапазона от $-19,4$ до $+19,1\%$ (уменьшение более чем в 2 раза).

Обсуждение

Существующие на сегодня волюметрические формулы [11; 12; 15; 16; 29] разработаны на основе регрессионного анализа. Предложенный нами метод разработки волюметрической формулы с использованием ГА обладает тем преимуществом, что позволяет автоматизировано получить более точную формулу расчета объема печени на основе большого набора доступных к измерению размеров среди чрезвычайно большого количества вариантов такой формулы, причем за разумное время.

Оценить количество возможных вариантов расчетной формулы можно, отталкиваясь от выражения (1).

Рассмотрим сначала формулу с одним степенным членом ($N = 1$). В этом случае количество вариантов составит с учетом того, что каждый аргумент войдет в степенной член не более 1 раза

$$N_{\text{вар}1} = \frac{N_{\text{пер}}!}{(N_{\text{пер}} - M)!} \cdot \frac{1}{M!} \cdot (N_{\text{ст}})^M,$$

где $N_{\text{пер}}$ – общее доступное для анализа количество переменных (у нас использовалось 10); M – количество множителей в полиноме; использовалось до 4; $\frac{N_{\text{пер}}!}{(N_{\text{пер}} - M)!}$ – количество комбинаций аргументов с

учетом того, что каждый аргумент войдет в степенной член не более 1 раза; $M!$ – количество возможных перестановок аргументов в степенном члене, разделив на $M!$, учитываем коммутативность произведения, что перестановки его не изменяют; $N_{\text{ст}}$ – количество возможных степеней одного аргумента:

$$N_{\text{ст}} = (N_{\text{ст.плюс}} - N_{\text{ст.минус}}) \cdot K_{\text{ст.кратн}},$$

где $N_{\text{ст.плюс}}$ – максимальное значение степени $P_{n,m}$; использовалось 3; $N_{\text{ст.минус}}$ – минимальное значение степени $P_{n,m}$; использовалось -3 ; $K_{\text{ст.кратн}}$ – кратность степени $P_{n,m}$; использовалось 2 (то есть $P_{n,m}$ может принимать значения $1/2, 2, 3/2$ и т. д.).

В нашем случае:

$$N_{\text{ст}} = (3+3) \cdot 2 = 12.$$



Тогда

$$N_{\text{вар}1} = \frac{10!}{(10-4)! \cdot 4!} \cdot \frac{1}{4!} \cdot 12^4 = 4354560.$$

В качестве второго члена полинома можно использовать любой, кроме первого, значит

$$N_{\text{вар}2} = N_{\text{вар}1} - 1.$$

и так далее. Для полинома с 4 степенными членами количество вариантов составит

$$N_{\text{вар}1} \cdot N_{\text{вар}2} \cdot N_{\text{вар}3} \cdot N_{\text{вар}4} = (4354560) \cdot (4354560 - 1) \times \\ \times (4354560 - 2) \cdot (4354560 - 3) = 3.5956426 \cdot 10^{26}.$$

65

Очевидно, что такое количество вариантов нельзя проверить за разумное время.

В результате использования большого исходного набора возможных формул предложенная нами формула обладает рядом принципиальных отличий от известных формул. «Регрессионные» формулы вычисления объема печени используют в качестве аргументов только линейные размеры органа. В нашей формуле имеет место комбинация линейных размеров органа, антропометрических данных (рост) и возраста. Интересно, что половой фактор не был принят генетическим алгоритмом как значимый, улучшающий точность формулы. Полагаем, что именно комбинация в формуле линейных размеров, роста и возраста является причиной более высокой точности результатов предложенной формулы.

Для эффективного использования предложенной формулы в рутинном ультразвуковом исследовании органов брюшной полости необходимо соблюдение определенных условий.

Первое условие. Методика измерений. Использование подхода к измерению правой доли, изображенного на рисунке 2, нам представляется оптимальным для оценки объема по трем размерам в парасагиттальной плоскости. КВР и ТПД при данном подходе имеют минимальную погрешность в измерениях. КК ПД при некоторых конституциональных особенностях пациентов может быть занижен, так как наиболее удаленная верхняя точка правого купола диафрагмы не входит в сечение. В связи с этим КК ПД исключен из формулы вычисления объема. Мы используем КВР, который при данном подходе к измерению максимально приближается к МРТ измерениям [26]. Мы полагаем, что метод измерения КВР при косом сканировании по средне-ключичной линии из субкостального доступа [4; 5] дает заниженные результаты в связи с невозможностью строго зафиксировать нижний край печени для начальной точки измерений. По всей видимости, этот метод дает регулярную ошибку на занижение результатов. Он может применяться при использовании нормативов, предложенных в руководствах [4; 5], но позволяет оценить только условную величину, которая не отражает объем печени. Полагаем, что различные методы медицинской визуализации должны стремиться к максимальному приближению результатов измерения линейных размеров.



Второе условие. Оценка вычисленного объема. Клиническая оценка объема печени пациента возможна с позиций определения стандартного объема. Понятие стандартного объема было сформулировано в 90-е гг. прошлого столетия в связи с развитием трансплантологии. Стандартный (долженствующий) объем — это объем печени, который вычисляется на основе конституциональных особенностей и антропометрических данных у конкретного индивидуума, одновременно будучи достоверным отражением печеночных метаболических потребностей у индивидуума [21; 27]. За последние десятилетия было предложено множество формул определения стандартного объема печени, что обусловлено стремлением исследователей найти оптимальную формулу, учитывающую этно-территориальные особенности популяции [24]. В нашей предыдущей работе [1] показано, что наиболее точной формулой вычисления стандартного объема печени является формула А. Чоукера (A. Chouker) [13], которая может быть рекомендована в качестве референсной оценки объема печени в условиях Калининградского региона РФ.

На взгляд авторов, предложенный алгоритм синтеза полиномиальных формул может быть использован и для получения воллометрических формул для других органов при радиологических исследованиях.

Заключение

С использованием ГА разработана новая формула вычисления объема печени:

$$V = 113 + 16.6 \cdot \text{ТПД}^{-1} \cdot \text{КВР}^2 + 3.92 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Рост} \cdot \text{ТПД}^2 - 2.23 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Рост}^{5/2} \cdot \text{Возраст}^2 + 2.11 \cdot \text{ККЛД}$$

Предложенная формула превосходит по точности существующие воллометрические формулы и может быть рекомендована к применению в ультразвуковой диагностике.

Список литературы

1. Изранов В.А., Казанцева Н.В., Мартинович М.В. и др. Оценка точности вычисления стандартного объема при ультразвуковой воллометрии печени // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2017. №3. С. 37–50.
2. Изранов В.А., Ермаков А.В., Гордова В.С. и др. Выбор оптимальной формулы ультразвуковой воллометрии на основе линейных размеров печени // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2017. №4. С. 39–47.
3. Капустин С.В., Пиманов С.И., Паскалин С. Ультразвуковое исследование в таблицах и схемах. Витебск, 2005.
4. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Общая ультразвуковая диагностика / под ред. В.В. Митькова. М., 2013.



5. *Практическая ультразвуковая диагностика: руководство для врачей* : в 5 т. / под ред. Г.Е. Труфанова, В.В. Рязанова. М., 2016. Т.1 : Ультразвуковая диагностика заболеваний органов брюшной полости.

6. Bora A., Alptekin C., Yavuz A., et al. Assessment of liver volume with computed tomography and comparison of findings with ultrasonography // *Abdom. Imaging*. 2014. Vol. 39. P. 1153–1161.

7. Borchert D., Schuler A., Muche R. et al. Comparison of Panorama Ultrasonography, Conventional B-Mode Ultrasonography, and Computed Tomography for Measuring Liver Size // *Ultraschall. in Med*. 2010. Vol. 31. P.31–36.

8. Carr D., Duncan J.G., Railton R. et al. Liver volume determination by ultrasound: a feasibility study // *Br. J. Radiol*. 1976. Vol. 49. P. 776–778.

9. Childs J.T., Esterman A., Thoires K.A. Ultrasound measurements of the liver: an intra and inter-rater reliability study // *Australian journal of ultrasound in medicine*. 2014. Vol. 17(3). P. 113–119.

10. Childs J.T., Esterman A.J., Phillips M. et al. Methods of determining the size of the adult liver using 2D ultrasound: a systematic review of articles reporting liver measurement techniques // *J. Diagn. Med. Sonogr*. 2014. Vol. 30. P. 296–306.

11. Childs J.T., Esterman A.J., Thoires K.A., Turner R.C. Ultrasound in the assessment of hepatomegaly: A simple technique to determine an enlarged liver using reliable and valid measurements // *Sonography*. 2016. Vol. 3. P. 47–52.

12. Childs J.T., Esterman A.J., Thoires K.A. The development of a practical and uncomplicated predictive equation to determine liver volume from simple linear ultrasound measurements of the liver // *Radiography*. 2016. Vol. 22. P. 125–130.

13. Chouker A., Martignoni A., Martin Dugas M. et al. Estimation of Liver Size for Liver Transplantation: The Impact of Age and Gender // *Liver Transplantation*. 2004. Vol. 10, No 5. P. 678–685.

14. D'Onofrio M., De Robertis R., Demozzi E. et al. Liver volumetry: Is imaging reliable? Personal experience and review of the literature // *WJR* 2014. Vol. 6(4). P. 62–71.

15. Elstein D., Hadas-Halpern I., Azuri U. et al. Accuracy of ultrasonography in assessing spleen and liver size in patients with Gaucher disease: comparison to computed tomographic measurements // *J. Ultrasound Med*. 1997. Vol. 16(3). P. 209–211.

16. Glenn D., Thurston D., Garver P., Beutler E. Comparison of magnetic resonance imaging and ultrasound in evaluating liver size in Gaucher patients // *Acta Haematol*. 1994. Vol. 92(4). P. 187–189.

17. Hiroshige S., Shimada M., Harada N. et al. Accurate preoperative estimation of liver-graft volumetry using three-dimensional computed tomography // *Transplantation*. 2003. Vol. 75. P. 1561–1564.

18. Hwang S., Lee S.G., Kim K.H. et al. Correlation of blood-free graft weight and volumetric graft volume by an analysis of blood content in living donor liver grafts // *Transplant. Proc*. 2002. Vol. 34. P. 3293–3294.

19. Kitajima K., Taboury J., Boleslawski E. et al. Sonographic preoperative assessment of liver volume before major liver resection // *Gastroenterol. Clin. Biol*. 2008. Vol. 32, №4. P. 382–389

20. Leung N.W., Farrant P., Peters T.J. Liver volume measurement by ultrasonography in normal subjects and alcoholic patients // *J. Hepatol*. 1986. Vol. 2(2). P. 157–164.

21. Lin X.Z., Sun Y.N., Liu Y.H. et al. Liver volume in patients with or without chronic liver diseases // *Hepatogastroenterology*. 1998. Vol. 45(22). P. 1069–1074.

22. Niehues S.M., Unger J.K., Malinowski M., et al. Liver volume measurement: reason of the difference between in vivo CT-volumetry and intraoperative ex vivo determination and how to cope it // *Eur. J. Med. Res*. 2010. Vol. 15. P. 345–350.



23. *Patlas M., Hadas-Halpern I., Abrahamov A., et al.* Spectrum of abdominal sonographic findings in 103 pediatric patients with Gaucher disease // *Eur. Radiol.* 2002. Vol. 12. P. 397–400.
24. *Pomposelli J.J., Tongyoo A., Wald C. et al.* Variability of Standard Liver Volume Estimation Versus Software-Assisted Total Liver Volume Measurement // *Liver transplantation.* 2012. Vol. 18. P. 1083–1092.
25. *Rasmussen S.N.* Liver volume determination by ultrasonic scanning // *Br. J. Radiol.* 1972. Vol. 45. P. 579–585.
26. *Roloff A.M. et al.* Accuracy of simple approaches to assessing liver volume in radiological imaging // *Abdom. Radiol.* 2016. Vol. 41. P. 1293–1299.
27. *Urata K., Kawasaki S., Matsunami H. et al.* Calculation of child and adult standard liver volume for liver transplantation // *Hepatology.* 1995. Vol. 21(5). P. 1317–1321.
28. *Xiaoqi Lv, Yu Miao, Xiaoying Ren et al.* The study and implementation of liver volume measuring method based on 3-dimensional reconstruction technology // *Optik.* 2015. Vol. 126. P. 1534–1539.
29. *Zoli M., Pisi P., Marchesini G. et al.* A rapid method for the in vivo measurement of liver volume // *Liver.* 1989. Vol. 9(3). P.159–163.
30. *Whitley D. A.* genetic algorithm tutorial // *Statistics and Computing.* 1994. Vol. 4 (2). P. 65–85.

Об авторах

Мирослав Владимирович Мартинович – канд. техн. наук, доц., Новосибирский государственный технический университет, Россия.

E-mail: martinovich_m@mail.ru

Владимир Александрович Изранов – д-р мед. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград; врач ультразвуковой диагностики Клинико-диагностического центра Балтийского федерального университета им. И. Канта, Россия.

E-mail: Vlzranov@kantiana.ru

Андрей Владимирович Ермаков – канд. мед. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: ermakovandrey2011@ya.ru

Наталья Владимировна Казанцева – канд. мед. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: NKazantseva@kantiana.ru

Ирина Андраниковна Степанян – асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград; врач ультразвуковой диагностики Клинико-диагностического центра Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининград, Россия.

E-mail: irina.stepanyan.7@gmail.com

The authors

Dr. Miroslav V. Martinovich – Associate Professor, the Department of Electronics and Electrical Engineering, Novosibirsk State Technical University, Russia.

E-mail: martinovich_m@mail.ru



Prof. Vladimir A. Izranov – Head of the Department of Fundamental Medicine, the Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: VIzranov@kantiana.ru

Dr. Andrey Ermakov – Associate Professor, the Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: ermakovandrey2011@ya.ru

Dr. Natalia V. Kazantseva – Associate Professor, the Department of Fundamental Medicine, the Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: NKazantseva@kantiana.ru

Irina A. Stepanyan – Postgraduate Student, the Department of Fundamental Medicine, the Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: irina.stepanyan.7@gmail.com