



CT volumetry with three-dimensional modelling in the preoperative management of patients with alveolar echinococcosis of the liver

Iliar Baudinov*

Assistant

Kyrgyz State Medical Academy named after I.K. Akhunbaev
720020, 92 Akhunbaev Str., Bishkek, Kyrgyz Republic
<https://orcid.org/0000-0002-2237-9491>

Abstract. Alveolar echinococcosis of the liver is a chronic parasitic disease with an infiltrative growth pattern, leading to progressive destruction of the hepatic parenchyma and involvement of the vascular-biliary structures. The prolonged course of the disease is often accompanied by a compensatory increase in the total volume of the liver, which is important when assessing resectability and determining surgical tactics. One of the key parameters of preoperative planning is the Future liver remnant, an indicator that characterises the morphological reserve and allows predicting the likelihood of postoperative liver failure. The aim of the study was to evaluate the diagnostic value of computed tomography volumetry and virtual resection in planning surgical treatment for patients with alveolar echinococcosis of the liver. The study included 59 patients with a confirmed diagnosis who were examined at medical centres in Bishkek in 2023-2025. All patients underwent multispiral computed tomography with intravenous contrast, and post-processing was performed using the LiverAnalysis+ software package. The total liver volume, the volume of affected tissue, the estimated resection volume, and the Future liver remnant were assessed. The average total liver volume in patients without previous surgery was 2,008 cm³, reflecting compensatory hypertrophy in the long-term course of the disease. In patients after surgery, this indicator was lower – 1,635 cm³. The average Future liver remnant was 1,162 cm³ (57.9%) in patients without surgery and 774 cm³ (49.7%) in patients after resection. In one-third of the operated patients, the Future liver remnant was below the critical level (<30–40%), indicating an increased risk of developing liver failure. The results confirmed that computed tomography volumetry with virtual resection is an essential tool for assessing surgical risks and should be included in the standard preoperative planning for the treatment of patients with alveolar echinococcosis of the liver

Keywords: alveolar echinococcosis of the liver; CT volumetry; Future liver remnant; preoperative planning; postoperative liver failure

Introduction

Liver volumetry – a method for quantitatively assessing the total liver volume (TLV), its segments, pathological inclusions, and the future liver remnant (FLR) based on medical imaging data [1]. The most accurate and widely used preoperative tool is computed tomography (CT) with volumetry, based on automatic or manual segmentation of the liver and lesions using CT data with bolus contrast [2] Magnetic resonance imaging (MRI) with volumetry is similar to CT volumetry,

but is used less frequently due to its higher cost and limited availability, and is mainly used in patients with impaired renal function when iodine-containing contrast for CT is contraindicated. Volumetric ultrasound (ultrasound examination with volumetry and three-dimensional modelling, 3D-US volumetry) is a method of quantitative assessment of organ volume using three-dimensional ultrasound imaging, mainly used to assess foetal liver volume [3]. This method can be useful

Suggested Citation:

Baudinov I. CT volumetry with three-dimensional modelling in the preoperative management of patients with alveolar echinococcosis of the liver. *Eurasian Health J.* 2025;17(4):16-33. DOI: 10.54890/1694-8882-2025-4-16

*Corresponding author



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

when CT or MRI are unavailable or undesirable [4], as well as during surgery for surgical navigation [5]. However, ultrasound volumetry still has low accuracy and is used only for a rough estimate of liver volume, while transient elastography serves as an additional tool for stratifying the risk of post-hepatectomy liver failure (PHLF) [6].

An objective assessment of the functional capacity of the future liver remnant (FLR) is performed using methods such as hepatobiliary scintigraphy with ⁹⁹Tc-meobrofenin [7], functional MRI with Gd-EOB-DTPA contrast (Gadolinium-Ethoxybenzyl-Diethylenetriamine Pentaacetic Acid) [8]. These methods help to determine the viability of the remaining tissue, especially in cases of diffuse liver parenchymal damage, which is impossible with standard CT volumetry [9].

Alveolar echinococcosis of the liver (AEL) is an infiltrative parasitic lesion that resembles malignant tumours in its behaviour and often requires extensive resection and complex preoperative planning [10,11]. Due to the frequent involvement of large vessels and extensive damage to the liver parenchyma, accurate preoperative planning, including volumetry and three-dimensional modelling, is particularly important in order to assess resectability and predict the functional adequacy of the remaining part of the organ [12].

Computed tomography with intravenous bolus contrast is one of the main methods for diagnosing parasitic liver lesions [13]. However, specialised software is required for detailed image analysis, assessment of the extent of the lesion, and calculation of the FLR prior to surgical intervention [14]. One such tool is LiverAnalysis+, a software package designed for automatic segmentation, volumetry, and analysis of liver function parameters. The aim of the study was to evaluate the diagnostic and planning capabilities of CT volumetry of the liver using the LiverAnalysis+ software package in patients with alveolar echinococcosis of the liver.

Materials and Methods

Study design: retrospective, multicentre. The study was based on a retrospective analysis of bolus contrast CT scans in patients with alveolar echinococcosis of the liver between 2023 and 2025. Data were collected at three diagnostic centres in Bishkek: the "System" Medical Centre, the SRM Medical Centre, and the National Centre of Cardiology and Therapy (Department of Diagnostic Imaging). The study included 59 patients with a confirmed diagnosis of AEL, of whom 30 were men (50.8%) and 29 were women (49.2%); age ranged from 13 to 69 years (mean age 37.9 years). Inclusion criteria were:

- Clinically and morphologically confirmed diagnosis of alveolar echinococcosis of the liver;
- Availability of CT scan of the abdominal organs with bolus contrast;
- CT volumetry using LiverAnalysis+.

Exclusion criteria were:

- Patients with unsatisfactory contrast enhancement;
- Cases in which the diagnosis of parasitic liver damage was not confirmed by other methods of radiological diagnosis or histological examination;
- Patients with combined liver damage (parasitic and neoplastic processes).

The CT protocol included 0.5-1 mm slices, 3 phases of contrast enhancement using the standard technique. Post-processing of DICOM data in LiverAnalysis+.

The main tasks of CT volumetry of the liver: determination of total liver volume (TLV) – calculation of the total volume of the organ, including healthy and pathologically altered tissue; assessment of the volume of affected tissues – determination of the part of the liver involved in the pathological process; segmentation of the liver – the process of calculating the volume of each segment of the liver separately, based on the location of the hepatic veins and branches of the portal vein; performing virtual liver resection (VR resection) to simulate possible surgical options; calculation of residual Future Liver Remnant (FLR) – prediction of the volume of liver that will remain after resection; prediction of the development of postoperative liver failure – the minimum acceptable FLR that ensures sufficient liver function after surgery; monitoring of changes – assessment of changes in liver volume in diseases, after surgical interventions, during multi-stage surgical interventions such as ALPPS (Associating Liver Partition and Portal vein Ligation for Staged hepatectomy, two-stage liver resection with portal vein ligation and parenchymal division).

The steps for calculating liver volume in the LiverAnalysis+ programme included several sequential steps. Import of DICOM CT data with bolus contrast. Automatic liver segmentation – the programme's algorithms determine the boundaries of the organ, excluding neighbouring structures (gallbladder, stomach, etc.). Segmentation according to the Couinaud classification – automatic or semi-automatic division of the liver into segments, highlighting vascular structures, and construction of a 3D model. Lesion assessment – the operator manually or semi-automatically selects the lesions, and the programme calculates their total volume. Virtual liver resection – anatomical or atypical variants are possible with resection line modelling. FLR calculation in the LiverAnalysis+ software package was performed automatically using two mathematical models reflecting different approaches to assessing functionally preserved parenchyma. Formula 1 – taking into account the volume of tumour lesions (1):

$$FLR (\%) = \left(\frac{V_{FLR}}{V_{Total} - V_{Tumor}} \right) \times 100. \quad (1)$$

where V_{flr} – the volume of the remaining part of the liver after resection, V_{Total} – total liver volume, V_{Tumor} – volume of the tumour to be removed.

This formula takes into account the fact that the affected areas of the liver do not participate in metabolic processes, and thus provides an FLR value that is closer to a functional assessment. However, the method remains approximate, since the volume of pathological tissue does not always linearly reflect the degree of functional loss. Formula 2 – classic volumetric (2):

$$FLR\% = \frac{V_{FRL}}{V_{total}} \cdot 100. \quad (2)$$

where V_{FRL} – volume of the remaining part of the liver after resection, V_{total} – total liver volume.

This method is the standard in volumetry and is used in most clinical studies and preoperative planning protocols [15]. Although it does not take non-functioning tissue into account, it ensures the stability of calculations and the comparability of data between different patients and centers. These calculations allow for a quantitative assessment of the residual liver volume and prediction of the risk of postoperative insufficiency [16]. The difference between the first formula is that it takes into account the volume of the tumour that does not participate in the functional work of the liver, so

this form is close to the functional method of measuring FLR, but it is not sufficiently accurate. In this study, to ensure sample homogeneity and data comparability, the FLR was calculated using the classic Formula (2), based on the ratio of the residual liver volume to the total organ volume. Clinical significance of FRL:

- FRL ≥ 30% – safe volume in healthy patients;
- FRL ≥ 40-50% – necessary FLR volume in chronic diseases (cirrhosis, steatosis, condition after chemotherapy, etc.).

Statistical data processing. Data analysis was performed in IBM SPSS Statistics 23.0. Descriptive analysis was performed to determine the mean, standard deviation, median, minimum and maximum values. The normality of the distribution was checked using the Shapiro-Wilk test. Data visualisation was performed using histograms and boxplots reflecting the median, interquartile range, and outliers. The level of statistical significance was $p < 0.05$.

Results

Post-processing of CT data from 59 patients was performed using the LiverAnalysis+ software package (Fig. 1).

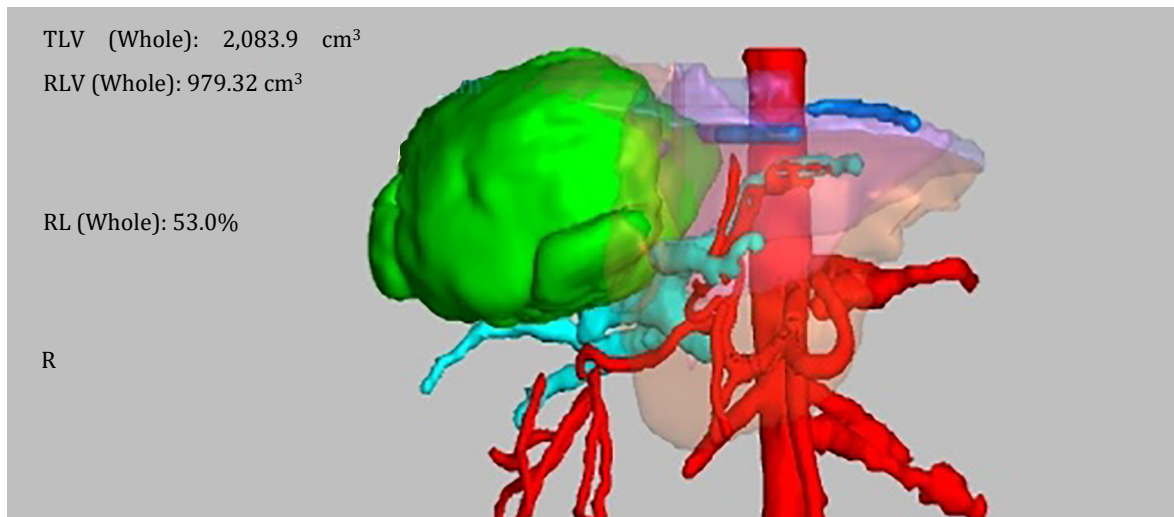


Figure 1. 3D reconstruction of the liver with a large parasitic node (green formation) during processing by the *LiverAnalysis+* programme

Source: created by the author

Most patients (78.0%) had a single lesion (Table 1). Sixteen point nine per cent of patients had two lesions, and only 5.1% had three or more. The average number of lesions was $1.32 (\pm 0.75)$.

Table 1. Distribution of patients by number of liver lesions

Number of lesions	Frequency (n)	Percentage (%)	Cumulative percentage (%)
1	46	78.0	78.0
2	10	16.9	94.9
3	1	1.7	96.6
4	1	1.7	98.3
5 or more	1	1.7	100.0

Source: created by the author

In the sample studied, 79.7% of patients (n = 47) had not undergone surgical treatment at the time of CT volumetry, while 20.3% (n = 12) had undergone various types of surgical interventions. Among the surgical procedures, atypical resections (8.5%) and left-sided hemihepatectomy (5.1%) were the most common, while segmentectomy, sectorectomy, and right-sided hemihepatectomy were less common.

For further analysis, patients were divided into two groups:

- Group 1 – patients who did not undergo surgery (n = 47);
- Group 2 – patients who underwent various types of liver resection (n = 12).

This approach allowed for a more detailed study of the effect of lesion volume, degree of vascular invasion, and volumetry parameters on the effectiveness of pre-operative planning based on CT volumetry.

In patients without surgery, the average liver volume is greater than in patients after surgery, by approximately 300-400 cm³. The spread of values in the group

without surgery was also significantly more pronounced (wide range), with a predominance of increased volumes of liver parenchyma. This phenomenon is consistent with the literature, according to which patients with alveolar echinococcosis of the liver often experience a compensatory increase in total liver volume due to the prolonged chronic course of the disease [17]. The central tendency and dispersion indicators were calculated for each group (Table 2). The table shows that in patients without surgery, the average liver volume is 2,008 cm³, while in patients after surgery, it is about 1,635 cm³. The difference in average volumes is approximately 15-20% in favour of the group without surgery.

The histograms (Fig. 2) show the distribution of liver volume for each group. It can be noted that the distribution shapes are close to normal (bell-shaped). The box plot (Fig. 2) clearly compares the medians and the spread of liver volume in the two groups. In patients who have not undergone surgery, the median is higher, the interquartile range is wider, and higher values are observed.

Table 2. Descriptive statistics of liver volume in patients without surgery and after surgical intervention

Indicator	Without surgery (n = 47)	After surgery (n = 12)
Mean volume, cm ³	2,008	1,635
Median, cm ³	1,874	1,578
Standard deviation, cm ³	728	1,014
Range, cm ³	868-4,400	829-2,416

Source: created by the author

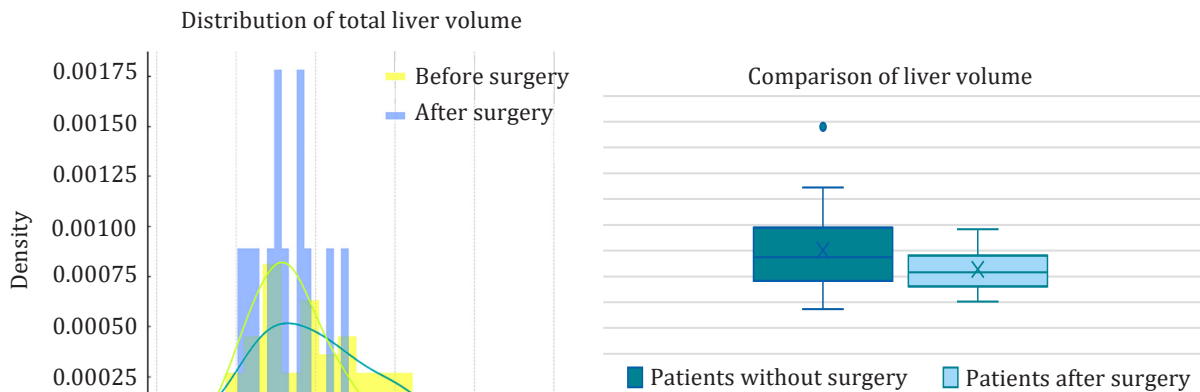


Figure 2. Distribution of liver volume in patients

Source: created by the author

In patients without surgical interventions, the mean volume of parasitic lesions was 658 cm³ and the median was 411 cm³, whereas in patients who had undergone surgery these values were 243 cm³ and 85 cm³, respectively (Fig. 3). The maximum lesion volume in the first group reached 2,580 cm³, compared with 1,035 cm³ in the second group, reflecting a significantly more extensive disease process in non-operated patients.

In relative terms, the mean volume of liver involvement in patients without surgery was 28.4% of the total liver volume (median 24.6%, range 0.1–80.5%), whereas after surgical interventions it was 12.5% (median 5.7%, range 3.1–42.9%). As shown by the data, in non-operated patients the extent of involvement, both in absolute and relative terms, was approximately 2.5–5 times greater than in patients after liver resections.

All patients underwent virtual liver resection (VR resection) to model possible surgical treatment options. The selection of the optimal surgical approach

was carried out in collaboration with experienced surgeons with many years of expertise in the surgical management of alveolar echinococcosis of the liver (Fig. 4).

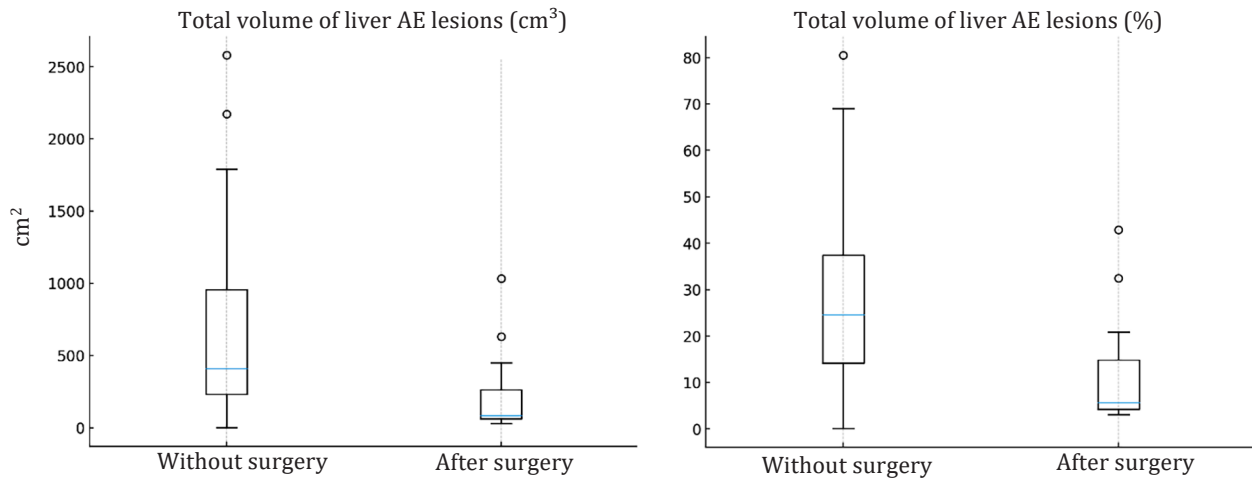


Figure 3. Volume of liver alveolar echinococcosis lesions

Source: created by the author

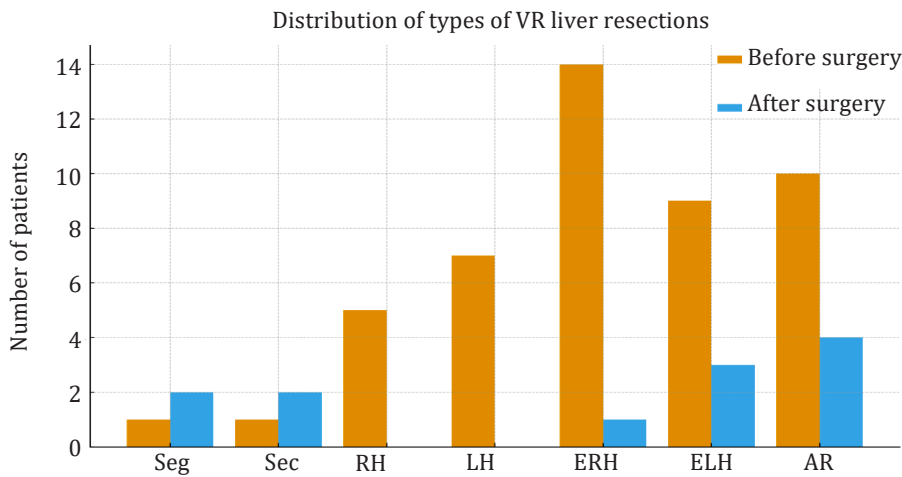


Figure 4. Types of virtual liver resections

Note: Seg – Segmentectomy; Sec – Sectorectomy; RH – Right hemihepatectomy; LH – Left hemihepatectomy; ERH – Extended right hemihepatectomy; ELH – Extended left hemihepatectomy; AR – Atypical resection

Source: created by the author

The most frequently modelled surgical option in patients without previous surgical interventions was extended right hemihepatectomy, accounting for 29.8% of cases. Extended right and extended left hemihepatectomy together comprised just under half of all cases (48.9%), indicating a high prevalence of extensive disease requiring resection of large liver volumes. Atypical resections were modelled in only 21.3% of cases, reflecting the need for an individualised surgical approach. Minimally invasive procedures, such as segmentectomy and sectorectomy, were modelled in only 4.2% of cases, confirming the limited applicability of organ-preserving surgery in the presence of extensive liver parenchymal involvement.

Among patients who had previously undergone surgical interventions, the most common types of VR

resections were extended left hemihepatectomy (3 patients, 25%) and atypical resection (4 patients, 33.3%), indicating variability in the pattern of liver parenchymal involvement in most patients with progressive alveolar echinococcosis.

The mean future liver remnant volume in patients of the first group was 1,162 cm³, compared with 774 cm³ in the second group (Fig. 5). The median FLR volume was 1,074 cm³ in Group 1 versus 628 cm³ in Group 2. The standard deviation was 637.56 cm³ in Group 1 and lower in Group 2 at 388.41 cm³. The minimum FLR volume was 341 cm³ in the first group and 181 cm³ in the second group, while the maximum values were 2,804 cm³ (Group 1) and 1,359 cm³ (Group 2), respectively.

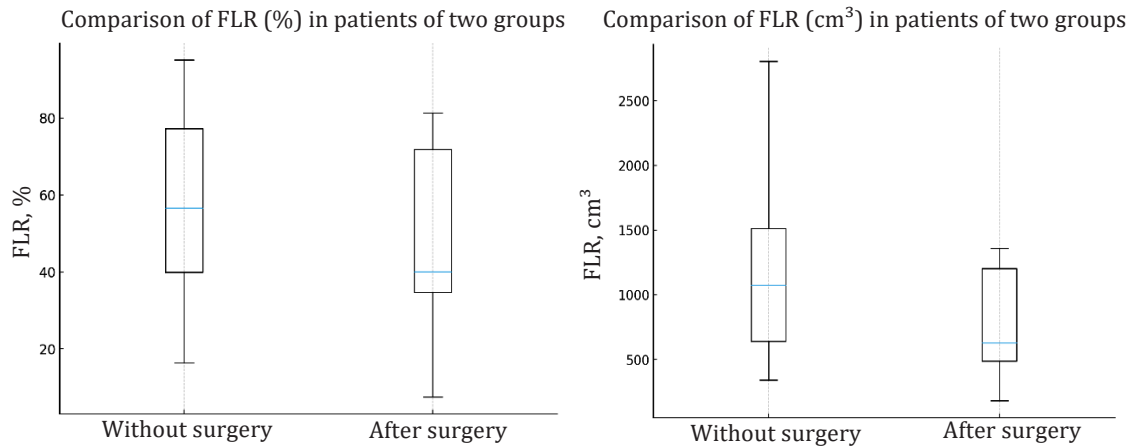


Figure 5. Box plot of future liver remnant volume in two patient groups in cm^3 and % during VR resections
Source: created by the author

The mean percentage of the future liver remnant (FLR) was 57.95% in Group 1 and 49.7% in Group 2. The median FLR percentage was 56.6% in Group 1 versus 40.1% in Group 2. The range of FLR values was 16.4–95.1% in Group 1 and 7.5–81.4% in Group 2. As expected, patients with a history of previous surgical interventions tended to have a smaller residual liver volume, which is attributable to the reduced amount of remaining liver tissue. The lower percentage FLR observed in the post-surgical group highlights the need for more meticulous planning of repeat interventions, as the risk of post-hepatectomy liver failure is higher in this group.

Discussion

The results of the present study demonstrate the high clinical relevance of CT volumetry with three-dimensional modelling in patients with alveolar echinococcosis of the liver. This method allows not only accurate assessment of the anatomical liver volume and the extent of parasitic involvement, but also virtual simulation of the planned resection volume, which substantially improves the accuracy of preoperative planning.

Additional confirmation of the clinical importance of assessing the future liver remnant in AEL is provided by recent studies focusing on methods of inducing hypertrophy of the liver parenchyma. In a retrospective series of 19 patients with advanced forms of AEL, portal vein embolisation (PVE) and two-stage hepatectomy (TSH) were shown to effectively increase the future liver remnant volume in cases with initially insufficient FLR [18]. Notably, neither the total liver volume nor the volume of parasitic involvement changed significantly after PVE, whereas the increase in FLR was pronounced, reaching a median growth rate of 4.49% per month after PVE and 3.34% per month after the first stage of TSH. The findings of the present study are consistent with these observations. In patients without previous surgical interventions, the mean FLR was $1,162 \text{ cm}^3$ (57.9%), reflecting preserved functional

liver reserve despite extensive disease. In contrast, in patients after liver resections the mean FLR decreased to 774 cm^3 (49.7%), and in some cases reached borderline low values, potentially associated with a higher risk of postoperative liver failure. Comparison with published data on FLR hypertrophy rates after PVE suggests that, in patients with reduced FLR in the cohort, the use of hypertrophy-inducing techniques could have significantly improved the preoperative prognosis.

In a case series reported by H.D. Shen *et al.*, which included patients with multiple giant lesions of AEL, two-stage resections were successfully performed in all cases, with no mortality and no recurrences during follow-up exceeding one year [19]. The authors emphasised that the key limiting factor for radical treatment is a low FLR, and that an increase in the residual liver volume between stages makes curative resection feasible. These observations highlight an important characteristic of AEL: hypertrophy occurs predominantly in relatively preserved liver segments, while the total liver volume remains relatively stable due to the large proportion of non-functioning parasitic tissue.

In the majority of patients without previous surgical interventions, the mean future liver remnant volume was $1,162 \text{ cm}^3$, corresponding to 57.9% of the total liver volume. This value substantially exceeds the generally accepted safe FLR thresholds described for malignant liver tumours [20]. Numerous studies on liver resection for malignancies have shown that in patients with intact parenchyma it is sufficient to preserve 20–30% of the liver volume, whereas in the presence of fibrosis, steatosis, cirrhosis, or chemotherapy-induced liver injury, the minimum safe FLR increases to 30–40% and even 40–50% of the total liver volume [21]. Against this background, the FLR values obtained in the present study, both in patients without previous surgery (57.9%) and in previously operated patients (mean 49.7%), are well above the critical thresholds commonly applied in oncological practice.

Of particular interest are data reported in the literature on repeat liver resections for recurrent malignant lesions, where, similarly to AEL, the key parameter of preoperative planning is the future liver remnant (FLR). In a described clinical case of repeat resection for recurrent colorectal liver metastases, the non-congested FLR was only 34.9%, which was considered insufficient for safe surgery in view of prior chemotherapy and primary hepatectomy [22]. After portal vein embolisation and reconstruction of the right hepatic vein, the FLR increased to 58.0%, which made it possible to perform a repeat bisegmentectomy without the development of post-hepatectomy liver failure. This example highlights that an FLR below 30–40% in patients undergoing repeat interventions is critical and requires mandatory use of strategies aimed at increasing the functionally active residual liver volume [23]. In a similar manner, the present results demonstrate that in one third of patients after surgery for AEL, the FLR was below the recommended threshold, necessitating more in-depth preoperative assessment and potential application of liver hypertrophy induction techniques.

Despite the widespread use of anatomical CT volumetry, the findings of the present study are consistent with reports emphasising that the absolute anatomical FLR does not always correlate with the risk of postoperative liver failure. In the study by M. Serenari *et al.* [24] functional FLR (FLR-F) was shown to be a more accurate predictor of post-hepatectomy liver failure, with threshold values significantly higher than the classical “50/50 criteria”. Nearly half of the patients developed post-hepatectomy liver failure after major resections despite having an anatomically acceptable FLR, underscoring the importance of assessing the functional viability of the liver parenchyma. These data support the need to apply functional assessment methods, particularly in patients with chronic inflammatory liver diseases, in whom anatomical volume does not always reflect the true functional reserve of the organ. For comprehensive surgical risk assessment, volumetric analysis should be combined with functional methods, such as hepatobiliary scintigraphy with ^{99m}Tc-mebrofenin or functional MRI with Gd-EOB-DTPA contrast enhancement. This approach is especially relevant in patients with fibrosis, steatosis, or those undergoing repeat surgical interventions [25].

Taken together, the obtained data confirm that CT volumetry with calculation of the total liver volume and the future liver remnant is a key tool in preoperative planning for patients with alveolar echinococcosis of the liver. In the majority of non-operated patients, compensatory enlargement of the total liver volume and a relatively high FLR are observed, creating more favourable conditions for performing radical surgical interventions. In contrast, in patients with previous liver resections the FLR is significantly reduced, and in some

cases reaches critical values, which markedly increases the risk of developing postoperative liver failure.

Despite the widespread use of anatomical FLR assessment, international data indicate that functional evaluation of the future liver remnant (for example, using Gd-EOB-enhanced MRI) is a more accurate predictor of postoperative liver failure, particularly in patients with chronic liver disease. However, at present these methods are virtually unavailable in the Kyrgyz Republic due to the lack of specialised equipment. As a result, clinical practice is largely based on anatomical FLR parameters, which inevitably limits the accuracy of prognostic assessment. The results obtained highlight the need for further development of functional liver radiology in the Kyrgyz Republic, implementation of quantitative functional assessment techniques, and expansion of diagnostic capabilities in order to improve the safety of surgical treatment.

Thus, anatomical CT volumetry combined with resection modelling remains the most objective tool for selecting the optimal surgical strategy in settings with limited resources; nevertheless, the pursuit of integrating functional assessment methods represents an important objective for improving the quality of care for patients with alveolar echinococcosis of the liver.

Conclusions

CT volumetry with three-dimensional modelling enables accurate determination of the extent of liver involvement and prediction of the residual parenchymal volume, which is critically important for planning surgical treatment in AEL. In patients without previous surgical interventions, the mean future liver remnant volume exceeds safe threshold values, whereas in patients who have undergone liver resections a significant reduction in FLR volume is observed, increasing the risk of postoperative complications.

The wide range of FLR values and their high variability emphasise the need for individualised surgical planning. Virtual resection improves the accuracy of residual liver volume calculation and facilitates selection of the optimal surgical strategy. Functional liver assessment methods (hepatobiliary scintigraphy, functional MRI with Gd-EOB-DTPA) should be used in addition to volumetric analysis, especially in patients with chronic liver disease or those undergoing repeat interventions. Thus, CT volumetry with three-dimensional modelling should become an integral component of preoperative planning in AEL, particularly in cases requiring extensive or repeated resections.

Acknowledgements

The author expresses gratitude to the staff of the radiology departments of the Medical Centre “Systems”, the SRM Medical Centre, and the National Centre of Cardiology and Therapy for providing data and assistance in conducting the study. Special appreciation

is extended to the surgeons who participated in the discussion of the results of virtual resections and in the validation of preoperative calculations: Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Faculty Surgery named after Academician K.R. Ryskulov of the I.K. Akhunbaev Kyrgyz State Medical Academy, Aitbaev Siezbek Ailchievich, and surgeon of the Department of Intestinal Tumours of the National Centre of Oncology and Haematology, Abdrasulov Kanybek Duyshobekovich. The author also expresses gratitude to the Department of Radiology of the I.K. Akhunbaev Kyrgyz State Medical Academy, represented by Candidate of Medical Sciences, Associate

Professor, and Head of the Department, Kadyrova Aliya Ishenbekovna, for methodological support during the preparation of the study.

Funding

The study was conducted without external funding. No financial support was received from governmental, commercial, or non-profit organisations.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest. There are no personal, financial, or other relationships that could have influenced the results of the study.

References

- [1] Fengming Y, Zhang W, Feng L. Efficacy and safety of different options for liver regeneration of future liver remnant in patients with liver malignancies: a systematic review and network meta-analysis. *World J Surg Oncol.* 2022;20(1):399. Published 2022 Dec 16. DOI: [10.1186/s12957-022-02867-w](https://doi.org/10.1186/s12957-022-02867-w)
- [2] Aliseda D, Rotellar F, Sancho L, Batidas JF, Martínez de la Cuesta A, Rodríguez-Fraile M. Surgery and radioembolization of liver tumors. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol (Engl Ed).* 2023;42(4):265-71. DOI: [10.1016/j.remnie.2023.06.002](https://doi.org/10.1016/j.remnie.2023.06.002)
- [3] Mousa AA, Mohammed AM, El-Mohandes MI, Ahmed RG. The fetal liver volume assessment by three-dimensional ultrasound as a parameter to monitor fetal growth. *Med J Cairo Univ.* 2022;90(3):351-8. DOI: [10.21608/mjcu.2022.235034](https://doi.org/10.21608/mjcu.2022.235034)
- [4] Sivayogaraj K, Guruge ST, Liyanage U, Udupihille J, Jayasinghe S, Fernando G, et al. LiverUSRecon: Automatic 3D reconstruction and volumetry of the liver with a few partial ultrasound scans. In: *Med Image Comput Comput Assist Interv (MICCAI) 2024. Lect Notes Comput Sci (LNCS).* Cham: Springer; 2024. 436-45. DOI: [10.1007/978-3-031-72104-5_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-72104-5_42)
- [5] Smit JN, Kuhlmann KFD, Thomson BR, Kok NFM, Fusaglia M, Ruers TJM. Technical note: Validation of 3D ultrasound for image registration during oncological liver surgery. *Med Phys.* 2021; 2021;48(10):5694-701. DOI: [10.1002/mp.15080](https://doi.org/10.1002/mp.15080)
- [6] Primavesi F, Maglione M, Cipriani F, Denecke T, Oberkofler CE, Starlinger P, et al. E-AHPBA-ESSO-ESSR Innsbruck consensus guidelines for preoperative liver function assessment before hepatectomy. *Br J Surg.* 2023;110(10):1331-47. DOI: [10.1093/bjs/znad233](https://doi.org/10.1093/bjs/znad233)
- [7] Smet H, Martin D, Uldry E, Duran R., Giradet R, Schaefer N, et al. Tc-99m mebrofenin hepatobiliary scintigraphy to assess future liver remnant function before major liver surgery. *J Surg Oncol.* 2023;128(8):1312-9. DOI: [10.1002/jso.27426](https://doi.org/10.1002/jso.27426)
- [8] Li C, Liu H, Wang J, Li X, Cui T, Wang R, et al. Multiparametric MRI combined with liver volume for quantitative evaluation of liver function in patients with cirrhosis. *Diagn Interv Radiol.* 2022;28(6):547-54. DOI: [10.5152/dir.2022.211325](https://doi.org/10.5152/dir.2022.211325)
- [9] Wang YY, Zhang J, Zhuang X, Jin QY, Liu LQ. Gadolinium-ethoxybenzyl-diethylenetriamine pentaacetic acid-enhanced MRI improves diagnosis and efficacy evaluation of early-stage hepatocellular carcinoma. *Am J Cancer Res.* 2024;14(10):4855-67. DOI: [10.62347/WYNK6968](https://doi.org/10.62347/WYNK6968)
- [10] Graeter T, Shi R, Bao H, Liu W, Jiang Y, Schmidberger J, et al. Intrahepatic manifestation and distant extrahepatic disease in alveolar echinococcosis: A multicenter cohort study. *Acta Radiol.* 2021;62(8):997-1005. DOI: [10.1177/0284185120951958](https://doi.org/10.1177/0284185120951958)
- [11] Vuitton DA, McManus DP, Rogan MT, Rogan MT, Roming T, Gottstein B, et al. International consensus on terminology to be used in the field of echinococcoses. *Parasite.* 2020;27:41. DOI: [10.1051/parasite/2020024](https://doi.org/10.1051/parasite/2020024)
- [12] Zhang J, Dawa, Suolang D, Lei Y, Wang J, Basang D. The application of preoperative three-dimensional reconstruction visualization digital technology in the surgical treatment of hepatic echinococcosis in Tibet. *Front Surg.* 2021;8:715005. DOI: [10.3389/fsurg.2021.715005](https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.715005)
- [13] Zhang H, Zhang L, Zhang C, Zhu YH, Hong YE, Li L, et al. CT imaging features and diagnostic algorithm for hepatic cystic echinococcosis. *Sci. Rep.* 2025;15(1):10671. DOI: [10.1038/s41598-025-94860-y](https://doi.org/10.1038/s41598-025-94860-y)
- [14] Miki A, Sakuma Y, Watanabe J, Endo K, Sasanuma H, Teratani T, et al. Remnant liver function is associated with long-term survival in patients with hepatocellular carcinoma undergoing hepatectomy. *Sci. Rep.* 2023;13(1):15637. DOI: [10.1038/s41598-023-42929-x](https://doi.org/10.1038/s41598-023-42929-x)

- [15] Nagayama Y, Hokamura M, Taguchi N, Yokota Y, Osaki T, Shiraishi S, et al. Liver function estimation using multiphase hepatic CT: Diagnostic performance of iodine-uptake and volumetric parameters. *Eur Radiol.* 2025;35(9):5781–91. DOI: [10.1007/s00330-025-11497-1](https://doi.org/10.1007/s00330-025-11497-1)
- [16] Voskanyan SE, Chuchuyev ES, Artemiyev AI, Zabezhinsky DA, Bashkov AN, Zhurbin VS, et al. Associated Liver Partition and Portal vein ligation for Staged hepatectomy (ALPPS) in focal liver diseases management. *Pirogov Russ J Surg.* 2018;2:39–44. DOI: [10.17116/hirurgia2018239-44](https://doi.org/10.17116/hirurgia2018239-44)
- [17] Wen H, Vuitton L, Tuxunet T, Li J, Vuitton DA, Zhang W, et al. Echinococcosis: Advances in the 21st century. *Clin. Microbiol. Rev.* 2019;32(2):e00075–18. DOI: [10.1128/CMR.00075-18](https://doi.org/10.1128/CMR.00075-18)
- [18] Guo Q, Wang M, Zhong K, Li J, Jiang T, Ran B, et al. Application of hepatic lobe hyperplasia techniques in the treatment of advanced hepatic alveolar echinococcosis: A single-centre experience. *BMC Surg.* 2022;22(1):415. DOI: [10.1186/s12893-022-01864-w](https://doi.org/10.1186/s12893-022-01864-w)
- [19] Shen HD, Chen KF, Li B, Zhang HZ, Yang KM, Chen Y, et al. Two-stage hepatectomy for multiple giant alveolar echinococcosis. *Med.* 2017;96(33):e7819. DOI: [10.1097/MD.00000000000007819](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007819)
- [20] Reese T, Gilg S, Böcker J, Wagner KC, Vail M, Engstrand J, et al. Impact of the future liver remnant volume before major hepatectomy. *Eur J Surg Oncol.* 2024;50(11):108660. DOI: [10.1016/j.ejso.2024.108660](https://doi.org/10.1016/j.ejso.2024.108660)
- [21] Guglielmi A, Ruzzenente A, Conci S, Valdegamberi A, Iacono C. How much remnant is enough in liver resection? *Dig Surg.* 2012;29(1):6–17. DOI: [10.1159/000335713](https://doi.org/10.1159/000335713)
- [22] Matsuki R, Momose H, Kogure M, Suzuki Y, Sakamoto Y. Bisegmentectomy and venous reconstruction after portal vein embolization for the remnant hemiliver in a patient with recurrent colorectal liver metastases. *Ann Gastroenterol Surg.* 2020;5(2):259–64. DOI: [10.1002/ags3.12393](https://doi.org/10.1002/ags3.12393)
- [23] Gavriilidis P, Marangoni G, Ahmad J, Azoulay D. Simultaneous portal and hepatic vein embolization is better than portal embolization or ALPPS for hypertrophy of future liver remnant before major hepatectomy: A systematic review and network meta-analysis. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int.* 2023;22(3):221–7. DOI: [10.1016/j.hbpd.2022.08.013](https://doi.org/10.1016/j.hbpd.2022.08.013)
- [24] Serenari M, Bonatti C, Zanoni L, Peta G, Tabacchi E, Cucchetti A, et al. The role of hepatobiliary scintigraphy combined with spect/ct in predicting severity of liver failure before major hepatectomy: A single-center pilot study. *Updates Surg.* 2021;73(1):197–208. DOI: [10.1007/s13304-020-00907-2](https://doi.org/10.1007/s13304-020-00907-2)
- [25] Tsuruga Y, Kamiyama T, Kamachi H, Orimo T, Shimada S, Nagatsu A, et al. Functional transition: Inconsistently parallel to the increase in future liver remnant volume after preoperative portal vein embolization. *World J Gastrointest Surg.* 2021;13(2):153–63. DOI: [10.4240/wjgs.v13.i2.153](https://doi.org/10.4240/wjgs.v13.i2.153)

Боордун альвеолярдык эхинококкозу менен ооруган бейтаптардага операцияга чейинки мөөнөтө 3D моделдөө менен КТ-волюметрияны колдонуу

Ильяр Баудинов

Ассистент

И. К. Ахунбаев атындагы Кыргыз мамлекеттик медициналык академиясы
720020, Ахунбаев көч., 92, Бишкек ш., Кыргыз Республикасы
<https://orcid.org/0000-0002-2237-9491>

Аннотация. Боордун альвеолярдык эхинококкозу – инфилтративдүү өсүү мүнөзүнө ээ болгон өнөкөт паразитардык оорусу, ал боор паренхимасынын прогрессиялык бузулушуна, ошондой эле кан тамырдык жана өт жолдорунун жабыркашына алып келет. Оорунун узакка созулган жүрүшүндө боордун жалпы көлөмүнүн компенсатордук чоңоюшу байкалат, бул резектабилдүүлүктү баалоодо жана хирургиялык тактиканы аныктоодо маанилүү диагностикалык көрсөткүч болуп саналат. Операцияга чейинки пландаштырууда негизги параметрлердин бири – операциядан кийин калуучу боор көлөмү, ал боордун морфологиялык резервин чагылдырып, операциядан кийинки боор жетишсиздигинин пайда болуусунун коркунучун алдын ала баалоого мүмкүндүк берет. Изилдөөнүн максаты – боордун альвеолярдык эхинококкозу менен ооруган бейтаптарда компьютердик томографияга негизделген волюметриянын жана виртуалдык резекциянын операцияга чейинки пландаштыруудагы диагностикалык маанисин аныктоо. Изилдөөгө 2023-2025-жылдар аралыгында Бишкек шаарындагы медициналык борборлордо текшерүүдөн өткөн, диагнозу тастыкталган 59 бейтап киргизилди. Бардык бейтаптарга контрасттык күчөтүү менен мультиспиралдык компьютердик томография жүргүзүлүп, алынган маалыматтар LiverAnalysis+ программалык комплекси аркылуу иштелип чыкты. Боордун жалпы көлөмү, жабыркаган ткандардын көлөмү, болжолдуу резекция көлөмү жана операциядан кийин калуучу боор көлөмү эсептелди. Операция жасалбаган бейтаптарда боордун орточо жалпы көлөмү 2008 см³ түзүп, оорунун узакка созулган өнүгүүсүнө мүнөздүү компенсатордук гипертрофияны чагылдырды. Мурда хирургиялык кийлигишүү жасалган бейтаптарда бул көрсөткүч төмөн болуп, орточо 1635 см³ түздү. Операция жасалбаган топто келечектеги калуучу боордун орточо көлөмү 1162 см³ (57,9 %), ал эми операция өткөн бейтаптарда 774 см³ (49,7 %) болду. Операция өткөн бейтаптардын үчтөн биринде келечектеги калуучу боор көлөмү критикалык деңгээлден (<30-40 %) төмөн болуп, операциядан кийинки боор жетишсиздигинин пайда болуусунун жогорку коркунучун көрсөттү. Алынган жыйынтыктар компьютердик томографиялык волюметрия жана виртуалдык резекция боордун альвеолярдык эхинококкозун хирургиялык дарылоону пландаштырууда хирургиялык коркунучтарды баалоонун маанилүү жана милдеттүү куралы экенин тастыктайт

Негизги сөздөр: боордун альвеолярдык эхинококкозу; КТ-волюметрия; келечектеги калган боор көлөмү; операцияга чейинки пландаштыруу; операциядан кийинки боор жетишсиздиги



КТ-волюметрия с трехмерным моделированием в предоперационном ведении пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени

Ильяр Баудинов*

Ассистент

Кыргызская государственная медицинская академия им. И. К. Ахунбаева
720020, ул. Ахунбаева, 92, г. Бишкек, Кыргызская Республика
<https://orcid.org/0000-0002-2237-9491>

Аннотация. Альвеолярный эхинококкоз печени представляет собой хроническое паразитарное заболевание с инфильтративным типом роста, приводящее к прогрессирующему разрушению печёночной паренхимы и вовлечению сосудисто-билиарных структур. Продолжительное течение заболевания нередко сопровождается компенсаторным увеличением общего объёма печени, что имеет важное значение при оценке резектабельности и определении хирургической тактики. Одним из ключевых параметров предоперационного планирования является будущий остаточный объём печени – показатель, характеризующий морфологический резерв и позволяющий прогнозировать вероятность развития послеоперационной печёночной недостаточности. Цель исследования: оценить диагностическую ценность компьютерно-томографической волюметрии и виртуальной резекции в планировании хирургического лечения пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени. В исследование включено 59 пациентов с подтверждённым диагнозом, обследованных в медицинских центрах города Бишкек в 2023-2025 годах. Всем пациентам проводилась мультиспиральная компьютерная томография с внутривенным контрастированием, а постобработка выполнялась в программном комплексе LiverAnalysis+. Оценивались общий объём печени, объём поражённых тканей, предполагаемый объём резекции и будущий остаточный объём печени. Средний общий объём печени у пациентов без предшествующих операций составил 2008 см³, что отражает компенсаторную гипертрофию при длительном течении заболевания. У пациентов после оперативных вмешательств этот показатель был ниже – 1635 см³. Средний будущий остаточный объём печени составил 1162 см³ (57,9%) у пациентов без операции и 774 см³ (49,7%) у пациентов после резекций. У трети оперированных пациентов будущий остаточный объём был ниже критического уровня (<30-40%), что указывает на повышенный риск развития печёночной недостаточности. Полученные результаты подтвердили, что компьютерно-томографическая волюметрия с виртуальной резекцией является важнейшим инструментом оценки хирургических рисков и должна входить в стандарт предоперационного планирования при лечении пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени

Ключевые слова: альвеолярный эхинококкоз печени; КТ-волюметрия; будущий остаточный объём печени; предоперационное планирование; послеоперационная печеночная недостаточность

Введение

Волюметрия печени – метод количественной оценки общего объёма печени (ООП), её сегментов, патологических включений и будущего объёма печени (БОП) по данным медицинской визуализации [1].

Наиболее точным и распространённым предоперационным инструментом является компьютерная томография (КТ) с волюметрией, основанная на автоматической или ручной сегментации печени и

Suggested Citation:

Baudinov I. CT volumetry with three-dimensional modelling in the preoperative management of patients with alveolar echinococcosis of the liver. Eurasian Health J. 2025;17(4):16-33. DOI: 10.54890/1694-8882-2025-4-16

*Corresponding author



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

очагов по данным КТ с болюсным контрастированием [2]. Магниторезонансная томография (МРТ) с волюметрий аналогична КТ-волюметрии, но используется реже из-за более высокой стоимости и ограниченной доступности, и её применяют преимущественно у пациентов с нарушением функции почек, когда йодсодержащий контраст для КТ противопоказан. УЗИ с волюметрией (ультразвуковое исследование с волюметрией и трехмерным моделированием, 3D-US volumetry) – это метод количественной оценки объема органа с применением трёхмерной ультразвуковой визуализации, применяется главным образом для оценки объема печени плода [3]. Этот метод может быть полезен, когда КТ или МРТ недоступны или нежелательны [4], а также в интраоперационный период для хирургической навигации [5]. Однако УЗИ-волюметрия по-прежнему имеет низкую точностью и применяется лишь для ориентировочной оценки объема печени, тогда как транзитная эластография служит дополнительным инструментом для стратификации риска постоперационной печёночной недостаточности (ПОПН) [6].

Объективную оценку функциональной способности будущего остатка печени (фБОП), проводят используя такие методы, как гепатобилиарная сцинтиграфия с ⁹⁹Tc-меоброфенином [7], функциональная МРТ с контрастом Gd-EOB-DTPA (Gadolinium-Ethoxybenzyl-Diethylenetriamine Pentaacetic Acid; Гадолиний-этоксибензил-диэтилен-триаминпентауксусная кислота) [8]. Эти методы помогают определить жизнеспособность оставшейся ткани, особенно в условиях диффузного поражения паренхимы печени, что невозможно при стандартной КТ-волюметрии [9].

Альвеолярный эхинококкоз печени (АЭП) – инфильтративно растущее паразитарное поражение, напоминающее по поведению злокачественные опухоли, нередко требующее обширных резекций и сложного предоперационного планирования [10,11]. В связи с частым вовлечением крупных сосудов и обширным поражением паренхимы печени особое значение приобретает точное предоперационное планирование, включающее волюметрию и трехмерное-моделирование, позволяющее оценить резектабельность и прогнозировать функциональную достаточность оставшейся части органа [12].

Компьютерная томография с внутривенным болюсным контрастированием является одним из основных методов диагностики паразитарных поражений печени [13]. Однако для детального анализа изображений, оценки объема поражения и расчета БОП перед хирургическим вмешательством требуется специализированное программное обеспечение [14]. Одним из таких инструментов является LiverAnalysisplus – программный комплекс, предназначенный для проведения автоматической

сегментации, волюметрии и анализа функциональных параметров печени. Цель исследования: оценить диагностические и планировочные возможности КТ-волюметрии печени с использованием программного комплекса LiverAnalysis+ у пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени.

Материалы и методы

Дизайн исследования: ретроспективное, мультицентровое. Работа основана на ретроспективном анализе КТ с болюсным контрастированием у пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени за 2023-2025 гг. Сбор данных проводился в трех диагностических центрах г. Бишкек: МЦ «Систем», МЦ SRM и НЦКиТ (отделение лучевой диагностики). Пациенты: 59 больных с подтвержденным диагнозом АЭП, из них 30 мужчин (50,8 %) и 29 женщин (49,2 %), возраст от 13 до 69 лет (средний 37,9 лет). Критерии включения:

- Клинически и морфологически подтвержденный диагноз альвеолярного эхинококкоза печени;
- Наличие КТ органов брюшной полости с болюсным контрастированием;
- Проведение КТ-волюметрии с использованием LiverAnalysis+.

Критериями исключения стали:

- Пациенты с неудовлетворительным контрастным усилением;
- Случаи, при которых диагноз паразитарного поражения печени не был подтвержден другими методами лучевой диагностики или гистологическим исследованием;
- Пациенты с сочетанным поражением печени (паразитарный и неопластический процессы).

Протокол КТ включал срезы 0,5-1 мм, 3 фазы контрастирования по стандартной методике. Постобработка DICOM-данных в LiverAnalysis+.

Основные задачи КТ – волюметрии печени: определение общего объема печени (ООП) – вычисление суммарного объема органа, включая здоровую и патологически измененную ткань; оценка объема пораженных тканей – определение части печени, вовлечённой в патологический процесс; сегментация печени – процесс вычисления объема каждого сегмента печени по отдельности, на основании расположения печеночных вен и ветвей воротной вены; проведение виртуальной резекций печени (VR-резекция) для моделирования возможных вариантов хирургического вмешательства; расчет остаточного, будущего объема печени (БОП) – прогнозирование объема печени, который останется после резекции; прогнозирование развитие постоперационной печеночной недостаточности – минимальный допустимый БОП, обеспечивающий достаточную функцию печени после операции; контроль динамики изменений – оценка изменений объема печени при заболеваниях, после оперативных вмешательств,

в процессе многоэтапных хирургических вмешательств, таких как ALPPS (Associating Liver Partition and Portal Vein Ligation for Staged Hepatectomy, двухэтапная резекция печени с перевязкой воротной вены и паренхиматозным разделением).

Этапы расчёта объёма печени в программе LiverAnalysis+ включали несколько последовательных шагов. Импорт DICOM-данных КТ с болюсным контрастированием. Автоматическая сегментация печени – алгоритмы программы определяют границы органа, исключая соседние структуры (желчный пузырь, желудок и т. д.). Сегментация по классификации Couinaud – автоматическое либо полуавтоматическое деление печени на сегменты, выделения сосудистых структур, построение 3D-модели. Оценка поражения – оператор вручную или полуавтоматически выделяет очаги, программа рассчитывает их суммарный объём. Виртуальная резекция печени – возможны анатомический или атипичный варианты с моделированием линии резекции.

Расчёт БОП (FLR) в программном комплексе LiverAnalysis+ выполнялся автоматически с использованием двух математических моделей, отражающих разные подходы к оценке функционально сохранной паренхимы. Формула 1 – с учётом объёма опухолевого поражения (1):

$$FLR (\%) = \left(\frac{V_{FLR}}{V_{Total} - V_{Tumor}} \right) \times 100. \quad (1)$$

где V_{fl} – объём оставшейся части печени после резекции, V_{Total} – общий объём печени, V_{Tumor} – объём опухоли, который планируется удалить.

Данная формула учитывает то, что поражённые участки печени не принимают участия в метаболических процессах, и таким образом даёт более приближённую к функциональной оценке величину FLR. Однако метод остаётся ориентировочным, поскольку объём патологической ткани не всегда линейно отражает степень функциональной утраты. Формула 2 – классическая волюметрическая (2):

$$FLR\% = \frac{V_{FRL}}{V_{total}} 100. \quad (2)$$

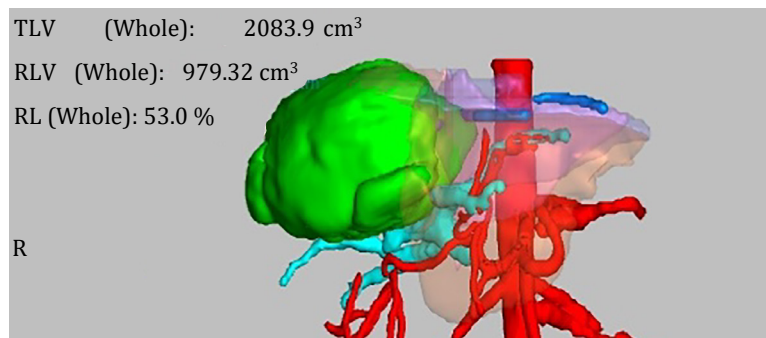


Рисунок 1. 3D реконструкция печени с большим паразитарным узлом (образование зеленым цветом) в процессе обработки по программе *LiverAnalysis+*

Источник: создано автором

где V_{FRL} – объём оставшейся части печени после резекции, V_{Total} – общий объём печени.

Этот метод является стандартом волюметрии и используется в большинстве клинических исследований и протоколов предоперационного планирования [15]. Несмотря на то, что он не учитывает неработающую ткань, он обеспечивает стабильность расчётов и сопоставимость данных между различными пациентами и центрами. Данный расчёт позволяет количественно оценить объём остаточной печени и спрогнозировать риск послеоперационной недостаточности [16]. Отличие первой формулы в том, что в ней учитывается объём опухоли, не участвующая в функциональной работе печени, поэтому данная форма приближена к функциональному методу измерения БОП, однако недостаточно четкая. В настоящей работе для обеспечения однородности выборки и сопоставимости данных был применён расчёт FLR по классической Формуле (2), основанной на отношении объёма остаточной печени к полному объёму органа. Клиническое значение FRL:

■ FRL ≥ 30 % – безопасный объём у здоровых пациентов;

■ FRL ≥ 40-50 % – необходимый объём БОП при хронических заболеваний (цирроз, статоз, состояние после химеотерапии и т.д.).

Статистическая обработка данных. Анализ данных проводился в IBM SPSS Statistics 23.0. Выполнялся описательный анализ с определением среднего значения, стандартного отклонения, медианы, минимальных и максимальных значений. Нормальность распределения проверялась с помощью теста Шапиро-Уилка. Визуализация данных выполнялась с помощью гистограмм и boxplot, отражающих медиану, квартильный разброс и выбросы. Уровень статистической значимости – $p < 0,05$.

Результаты

Была проведена постпроцессорная обработка КТ-данных 59 пациентов с помощью программного комплекса LiverAnalysis+ (Рис. 1).

Большинство пациентов (78,0 %) имели единственный очаг поражения (Таблица 1). Два очага имели 16,9 % пациентов, три и более – лишь 5,1 %. Среднее количество очагов 1,32 ($\pm 0,75$).

Таблица 1. Распределение пациентов по количеству очагов поражения печени

Количество очагов	Частота (n)	Процент (%)	Накопленный процент (%)
1	46	78,0	78,0
2	10	16,9	94,9
3	1	1,7	96,6
4	1	1,7	98,3
5 и более	1	1,7	100,0

Источник: создано автором

В исследованной выборке 79,7 % пациентов ($n = 47$) не подвергались хирургическому лечению на момент проведения КТ-волюметрии, в то время как 20,3 % ($n = 12$) перенесли различные виды оперативных вмешательств. Среди оперативных вмешательств наиболее часто выполнялись атипичные резекции (8,5 %), левосторонняя гемигепатэктомия (5,1 %), реже сегментэктомия, секторэктомия и правосторонняя гемигепатэктомия.

Для дальнейшего анализа пациенты были разделены на две группы:

■ Группа 1 – пациенты, которым не проводилось хирургическое вмешательство ($n = 47$);

■ Группа 2 – пациенты, перенесшие различные виды резекций печени ($n = 12$).

Такой подход позволил более детально изучить влияние объема поражения, степени инвазии в сосуды и параметров волюметрии на эффективность предоперационного планирования на основе КТ-волюметрии.

У пациентов без операции средний объем печени больше, чем у пациентов после операции, примерно на 300-400 см³. Разброс значений в группе без оперативного вмешательства также оказался значительно более выраженным (широкий диапазон), с преобладанием повышенных объемов печёночной паренхимы. Этот феномен согласуется с данными литературы, согласно которым у пациентов с альвеолярным эхинококком печени вследствие длительного хронического течения заболевания нередко отмечается компенсаторное увеличение общего объема печени [17]. Для каждой группы рассчитаны показатели центральной тенденции и разброса (Таблица 2). Из таблицы видно, что у пациентов без операции средний объем печени составляет 2008 см³, тогда как у пациентов после операции – около 1635 см³. Разница в средних объемах составляет примерно 15-20 % в пользу группы без операции.

Таблица 2. Описательная статистика объема печени у пациентов без операции и после операционного вмешательства

Показатель	Без операции (n = 47)	После операции (n = 12)
Средний объем, см ³	2008	1635
Медиана, см ³	1874	1578
Станд. отклонение, см ³	728	1014
Диапазон, см ³	868-4400	829-2416

Источник: создано автором

Гистограммы (Рис. 2) показывают распределение объема печени для каждой группы. Можно отметить, что формы распределений близки к нормальным (колоколообразным). Ящичный график (Рис. 2) наглядно сравнивает медианы и разброс объема печени в двух группах. У пациентов, не перенесших хирургические вмешательства, медиана выше, межквартильный размах шире, и наблюдаются более высокие значения.

У пациентов без оперативных вмешательств средний объем паразитарных узлов составил

658 см³, а медиана – 411 см³, тогда как у пациентов после операции – 243 см³ и 85 см³ соответственно (Рис. 3). Максимальный объем поражения в первой группе достигал 2580 см³, во второй – 1035 см³, что отражает значительно более широкое распространение процесса у неоперированных больных.

В относительных величинах средний объем поражения у пациентов без операции составил 28,4 % от объема печени (медиана – 24,6 %, диапазон – 0,1-80,5 %), тогда как после операций – 12,5 % (медиана – 5,7 %, диапазон – 3,1-42,9 %). Как видно

из данных, у неоперированных пациентов объём поражения как в абсолютных, так и в относительных показателях выше примерно в 2,5-5 раз, чем у пациентов после резекций печени.

Всем пациентам была выполнена виртуальная резекция печени (VR-резекция) для моделирования

возможных вариантов хирургического вмешательства. Выбор оптимального варианта оперативного вмешательства осуществлялся в сотрудничестве с опытными хирургами, имеющими многолетний опыт в области хирургического лечения АЭ печени (Рис. 4).

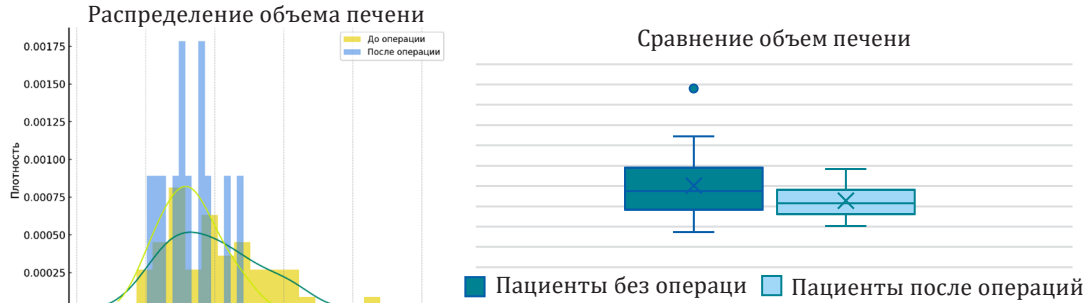


Рисунок 2. Распределение объема печени у пациентов

Источник: создано автором

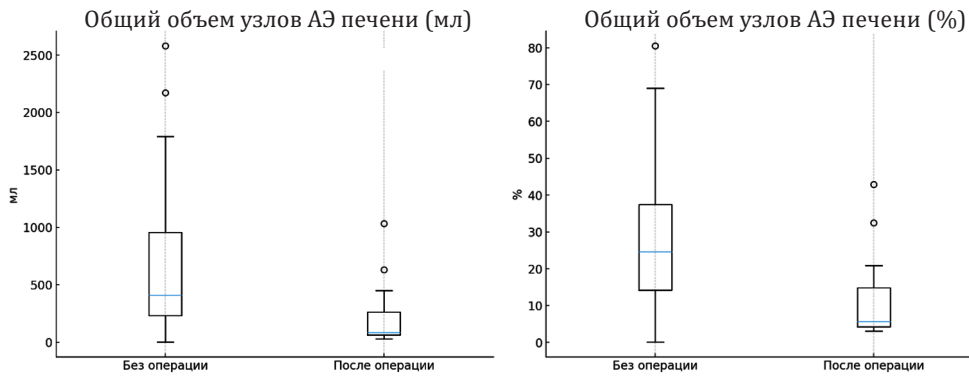


Рисунок 3. Объем альвеолярных эхинококковых узлов печени

Источник: создано автором

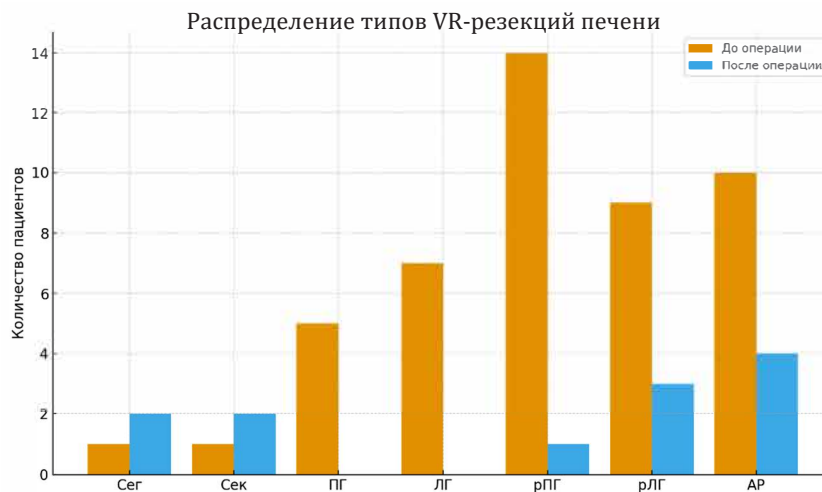


Рисунок 4. Типы виртуальных резекций печени

Примечание: Сег – Сегментэктомия, Сек – Секторэктомия, ПГ – Правосторонняя гемигепатэктомия, ЛГ – Левосторонняя гемигепатэктомия, рПГ – Расширенная правосторонняя гемигепатэктомия, рЛГ – Расширенная левосторонняя гемигепатэктомия, АР – Атипичная резекция

Источник: создано автором

Наиболее частым моделируемым вариантом оперативного вмешательства у пациентов без хирургических вмешательств являлась расширенная правосторонняя гемигепатэктомия (29,8 %) случаев, правосторонняя и левосторонняя расширенная гемигепатэктомии составили чуть меньше половины случаев (48,9 %), что свидетельствует о высокой распространенности поражения, требующего удаления больших объемов печени. Атипичные резекции проводились лишь в 21,3 % случаев, что было связано необходимостью индивидуализированного хирургического подхода. Малоинвазивные вмешательства, такие как сегментэктомия и секторэктомия, были смоделированы лишь в 4,2 %, что подтверждает ограниченность применения органосохраняющих операций при значительном поражении паренхимы печени.

Наиболее распространенными видами VR-резекций у пациентов после оперативных вмешательств оказались расширенная левосторонняя гемигепатэктомия (3 пациента, 25 %) и атипичная резекция (4 пациента, 33,3 %), что свидетельствует о вариативности поражении паренхимы печени у большинства пациентов с продолженным ростом альвеолярного эхинококкоза.

Средний будущий остаточный объем печени у пациентов первой группы составил 1162 см³, во второй группе 774 см³ (Рис. 5). Медианный объем БОП: 1074 см³ (группа 1) против 628 см³ (группа 2). Стандартное отклонение составило 637,56 см³ в группе 1, в группе 2 оно ниже – 388,41 см³. Минимальный объем БОП в первой группе – 341 см³, во второй группе – 181 см³. Максимальный объем – 2804 см³ (группа 1) против 1359 (группа 2).

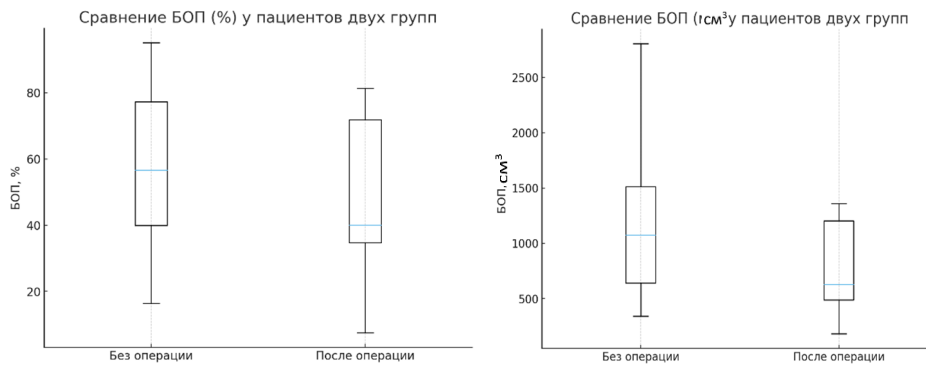


Рисунок 5. Ящичный график будущего объема печени двух групп пациентов в см³ и % при VR-резекциях
Источник: создано автором

Средний процент объем БОП был 57,95 % в группе 1 и 49,7 % в группе 2. Медианный процент БОП: 56,6 % (группа 1) против 40,1 % (группа 2). Диапазон значений БОП составил 16,4 – 95,1 % в группе 1 и 7,5 – 81,4 % в группе 2. Как и ожидалось, пациенты с ранее перенесенными операциями имеют тенденцию к меньшему остаточному объему печени, что обусловлено меньшим объемом печеночной ткани. Низкий процентный показатель БОП в группе после оперативных вмешательств подчеркивает необходимость более внимательного планирования повторных вмешательств, так как риски ПОПН в данной группе выше.

Обсуждение

Результаты проведенного исследования демонстрируют высокую клиническую значимость КТ-волюметрии с использованием трёхмерного моделирования у пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени. Данный метод позволяет не только точно оценивать анатомический объем печени и очагов поражения, но и выполнять виртуальное моделирование объема резекции, что существенно повышает точность предоперационного планирования.

Дополнительное подтверждение клинической значимости оценки будущего остаточного объема печени при АЭП дают результаты недавних исследований, посвященных методам индукции гипертрофии печеночной паренхимы. В ретроспективной серии из 19 пациентов с продвинутыми формами АЭП было показано, что порталная эмболизация (PVE) и двухэтапные резекции (TSH) эффективно увеличивают объем будущего остатка печени при исходно недостаточном БОП [18]. При этом общая масса печени и объем паразитарного поражения статистически значимо не изменялись после PVE, тогда как рост БОП был выраженным и достигал медианного увеличения 4,49 % в месяц после PVE и 3,34 % в месяц после первого этапа TSH. Полученные в нашем исследовании данные согласуются с этими выводами. У пациентов без предшествующих операций средний БОП составил 1162 см³ (57,9 %), что отражает сохраненный функциональный резерв печени даже при выраженном поражении. Напротив, у пациентов после резекций средний БОП снижался до 774 см³ (49,7 %), и у части из них значения были погранично низкими, что потенциально сопряжено с

более высоким риском послеоперационной недостаточности. Сопоставление с данными о темпах FLR-гипертрофии после PVE позволяет предположить, что у пациентов со сниженным БОП в нашей выборке применение методов индукции гипертрофии могло бы существенно улучшить предоперационный прогноз.

В серии наблюдений H.D. Shen *et al.*, включавшей пациентов с множественными гигантскими очагами АЭП, двухэтапные резекции были успешно выполнены во всех случаях, без летальности и рецидивов при наблюдении более года [19]. Авторы подчёркивали, что ключевым ограничивающим фактором радикального лечения является низкий FLR, а увеличение объёма остаточной печени между этапами делает радикальную резекцию возможной. Эти наблюдения подчёркивают важную особенность АЭП: гипертрофия происходит преимущественно за счёт относительно сохранённых сегментов, тогда как общий объём печени остаётся стабильным из-за большой доли нефункциональной паразитарной ткани.

У большинства пациентов, не перенёвших оперативных вмешательств, средний объём будущего остатка печени составил 1162 см³, что соответствует 57,9 % от общего объёма печени. Этот показатель существенно превышает общепринятые пороговые значения безопасного FLR, описанные для опухолевых поражений печени [20]. В ряде работ по резекциям при злокачественных новообразованиях показано, что у пациентов с интактной паренхимой достаточно сохранить 20-30 % объёма печени, тогда как при фиброзе, стеатозе, циррозе или химиотерапевтически повреждённой паренхиме минимальный безопасный FLR возрастает до 30-40 % и даже 40-50 % от общего объёма печени [21]. На этом фоне полученные значения БОП как в группе без операций (57,9 %), так и в группе ранее оперированных пациентов (в среднем 49,7 %) находятся значительно выше критических порогов, принятых для онкологических больных.

Особый интерес представляют данные, опубликованные в литературе по повторным резекциям при рецидивирующим опухолевым поражением печени, где, как и при АЭП, ключевым параметром предоперационного планирования является БОП. Так, в описанном клиническом случае повторной резекции при рецидиве колоректальных метастазов печени неконгестивный FLR составлял всего 34,9 %, что было расценено как недостаточный показатель для безопасного хирургического вмешательства ввиду ранее проведённой химиотерапии и первичной гепатэктомии [22]. После портальной эмболизации и реконструкции правой печёночной вены FLR был увеличен до 58,0 %, что и позволило выполнить повторную бисегментэктомию без развития ПОПН. Этот пример подчёркивает,

что значение FLR < 30-40 % у пациентов с повторными вмешательствами является критическим и требует обязательного применения стратегий увеличения функционально активного остаточного объёма печени [23]. Данные результаты аналогичным образом показывают, что у трети пациентов после операций по поводу АЭП БОП находился в пределах ниже рекомендуемого порога, что требует углублённой предоперационной оценки и возможного использования методов индукции гипертрофии печени.

Несмотря на широкое применение анатомической КТ-вольюметрии, полученные данные согласуются с результатами исследований, где подчеркивается, что абсолютный объём FLR не всегда коррелирует с риском послеоперационной печёночной недостаточности. В исследовании M. Serenari *et al.* [24] показано, что функциональный БОП (FLR-F) является более точным предиктором ПОПН, а его пороговые значения значительно выше классических показателей «50/50 criteria». Почти половина пациентов после крупных резекций развивали PHLF, несмотря на допустимый уровень анатомического FLR, что подчёркивает важность оценки функциональной жизнеспособности паренхимы. Эти данные подтверждают необходимость применения функциональных методов, особенно у пациентов с хроническими воспалительными заболеваниями печени, где анатомический объём не всегда отражает истинный резерв органа. Для комплексной оценки хирургического риска необходимо сочетать вольюметрический анализ с функциональными методами – гепатобилиарной скintiграфией с ^{99m}Tc-меоброфенином или функциональной МРТ с контрастом Gd-EOB-DTPA. Особенно это актуально у пациентов с фиброзом, стеатозом или повторными вмешательствами [25].

В совокупности полученные данные подтверждают, что КТ-вольюметрия с расчётом общего объёма печени и будущего остаточного объёма является ключевым инструментом в предоперационном планировании у пациентов с альвеолярным эхинококкозом печени. У большинства неоперированных пациентов отмечается компенсаторное увеличение ООП и относительно высокий БОП, что создаёт более благоприятные условия для выполнения радикальных вмешательств. Напротив, у пациентов с предшествующими резекциями БОП существенно снижен, а у части – достигает критических значений, что значительно повышает риск развития послеоперационной печёночной недостаточности.

Несмотря на широкое использование анатомического БОП, международные данные указывают, что функциональная оценка будущего остатка печени (например, с помощью Gd-EOB-MRI) является более точным предиктором послеоперационной

печёночной недостаточности, особенно при хронических заболеваниях печени. Однако в настоящее время эти методы в Кыргызской Республике практически недоступны из-за отсутствия специализированного оборудования. В клинической практике вынуждены опираться преимущественно на анатомические параметры БОП, что, безусловно, ограничивает точность прогнозирования. Полученные результаты подчёркивают необходимость дальнейшего развития функциональной радиологии печени в нашей стране, внедрения методов количественной функциональной оценки и расширения диагностических возможностей для повышения безопасности хирургического лечения.

Таким образом, анатомическая КТ-вольюметрия в сочетании с моделированием резекции остаётся наиболее объективным инструментом для выбора оптимальной хирургической тактики в условиях ограниченных ресурсов, однако стремление к интеграции функциональных методов является важной задачей для улучшения качества помощи пациентам с альвеолярным эхинококкозом печени.

Выводы

КТ-вольюметрия с 3D-моделированием позволяет точно определять объём поражения и прогнозировать объём остаточной паренхимы, что критически важно для планирования хирургического лечения при альвеолярном эхинококкозе печени. У пациентов без предшествующих операций средний объём БОП превышает безопасные пороговые значения, в то время как у пациентов с резекциями печени отмечается значительное снижение объёма БОП, что увеличивает риск послеоперационных осложнений.

Широкий диапазон БОП и высокая вариабельность подчёркивают необходимость индивидуализированного хирургического планирования. Виртуальная резекция повышает точность расчёта остаточного объёма печени и способствует выбору оптимальной

хирургической тактики. Функциональные методы оценки печени (гепатобилиарная скintiграфия, fMRI с Gd-EOB-DTPA) должны использоваться в дополнение к вольюметрии, особенно у пациентов с хроническим поражением печени или повторными вмешательствами. Таким образом, КТ-вольюметрия с 3D-моделированием должна стать неотъемлемым инструментом предоперационного планирования при АЭП, особенно при обширных и повторных резекциях.

Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам отделений лучевой диагностики МЦ «Систем», МЦ SRM и НЦКиТ за предоставление данных и содействие в проведении исследования. Отдельная признательность хирургам, принимавшим участие в обсуждении результатов виртуальных резекций и валидации предоперационных расчётов: д.м.н. доцента кафедры факультетской хирургии имени академика К.Р. Рыскулова КГМА им. И.К. Ахунбаева, Айтбаева Съезбека Аилчиевича, врача хирурга отделения опухолей кишечника НЦОиГ Абдрасулов Каныбек Дуйшобекович. Автор также благодарит кафедру лучевой диагностики КГМА им. И.К. Ахунбаева в лице к.м.н., доцента, заведующей кафедры Кадыровой Алии Ишенбековны за методическую поддержку в процессе подготовки исследования.

Финансирование

Исследование выполнено без внешнего финансирования. Финансовая поддержка со стороны государственных, коммерческих или некоммерческих фондов отсутствовала.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Личных, финансовых или иных взаимоотношений, способных повлиять на результаты исследования, нет.