

POINT OF VIEW

## Tridimensional (3D) ultrasonography

F. Muñoz Agel and M. J. Varas Lorenzo

*Unit of Echoendoscopy. Centro Médico Teknon. Barcelona, Spain*

---

Muñoz Agel F, Varas Lorenzo MJ. Tridimensional (3D) ultrasonography. Rev Esp Enferm Dig 2005; 97: 125-134.

---

### ABSTRACT

A review and update on tridimensional ultrasonography covering all its aspects, ultrasonography and 3D endoscopic ultrasonography, its technical details and current indications, such as volume calculation, vascular architecture assessment, and role in interventionist ultrasounds.

Images included are from the author's own experience.

**Key words:** Echography. Three-dimensional (3D) ultrasonography. 3D endoscopic ultrasonography. 3D endorectal ultrasonography. 3D laparoscopic ultrasonography.

### INTRODUCTION AND TECHNICAL OVERVIEW

The importance of three-dimensional imaging –currently including computerized tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) techniques– is unanimously accepted, since not only the exact location of a given lesion, but also its relations to neighboring structures and organs may be accurately studied; most importantly, a lesion's continuity may be assessed, particularly in infiltrating neoplastic growths. It also allows an accu-

rate measurement of volume in expanding lesions and hence therapy planning, which is particularly relevant for liver tumors undergoing alcoholization, injection of anti-tumor agents, or therapy with radiofrequency waves, shock waves, etc., as well as response monitoring.

To obtain these three-dimensional images, all scanned data for a given volume are classified by a specific software program to allow spatial reconstruction. Acquiring images via CT or MRI is relatively straightforward, since the scanning system in both modalities is automatic, and the various slices for a selected region are sequentially obtained, which represents no major challenge for the explorer. Difficulties may only arise from organ displacement during breathing in some patients unable to cooperate, as subjects should stay frozen during scans.

However, the three-dimensional reconstruction of images may be rather more complex for ultrasonography, since the various 2D slices are manually obtained –rather than automated– using conventional ultrasound, and hence image acquisition depends on the explorer's skills. In addition, the number of slices that may be obtained is incalculable with no established start or end, since one more slice is always feasible. Despite these drawbacks, various systems have been recently used to obtain three-dimensional images using ultrasonography.

These systems require some discussion in order to properly understand this modality.

### Hands-free system

The first system used included a computer capable of classifying images in a given sequence for volume reconstruction upon exploration completion. Images could be rotated around different axes for subsequent reconstruction.

This system, which was employed by Sackman in 1994 (1) for the study of the liver and pancreas, required

---

Recibido: 16-02-04.

Aceptado: 11-05-04.

Correspondencia: M. J. Varas Lorenzo. Unidad de Ecoendoscopia. Centro Médico Teknon. C/ Marquesa de Vilallonga 12. 08017 Barcelona. Tel.: 932 906 434. Fax: 934 172 302. e-mail: varas@dr.teknon.es

a prolonged scanning time for the feeding of accurate data into the computer, and relied on the explorer's skills for the obtention of multiple void-free layers. This so-called hands-free system may sometimes include acoustic or magnetic sensors to help position slices for subsequent interpretation.

### Mechanical movement system

Systems using mechanical transducers are currently used (VOLUSON 530 and 730, 3-5 MHz, with programs Vocal TM and Shell TM). With these, the explorer no longer needs to obtain slices in a specific sequence or inclination, which besides a certain skill at it demands time. Here the probe itself includes a mechanical movement system for acquiring images to be later processed.

Two types of mechanical transducers exist. One of these transducer types has a mechanical rotating system allowing multiple images to be obtained for subsequent processing by a computer. This system, which lacks the inconveniences associated with manual acquisition, is useful for small anatomic regions, as is the case with endorectal transducers (2).

The other, more advanced mechanical transducer system allows a volume image to be obtained from a truncated cone (VOLUSON 730, 75° scan angle) with its vertex located in the transducer.

When reaching the region of interest the explorer must keep the transducer stable while the patient stays still, so that the probe may scan two planes simultaneously. Images are then captured and processed by a computer that will display them three-dimensionally (Figs. 1 and 2).

In the multiplanar mode three planes (longitudinal or sagittal-A, transverse-B, and coronal-C) and an orthogonal reconstruction are obtained, which may be rotated around three axes (X, Y, Z). The coronal plane may be important for the study of lithiasis at the bladder neck and

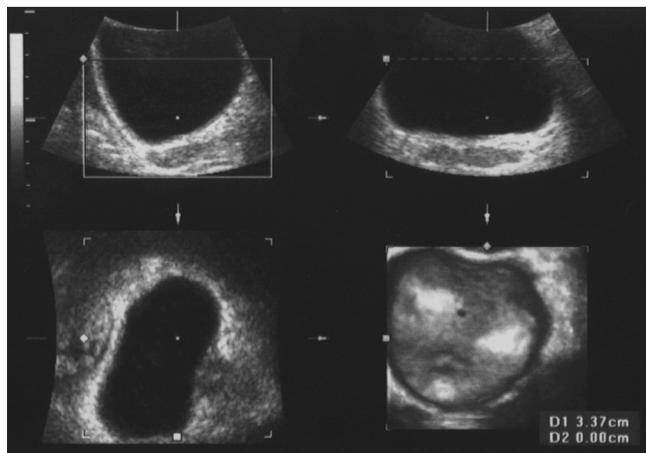


Fig. 1.- Reconstruction of urinary bladder.  
Reconstrucción de la vejiga urinaria.

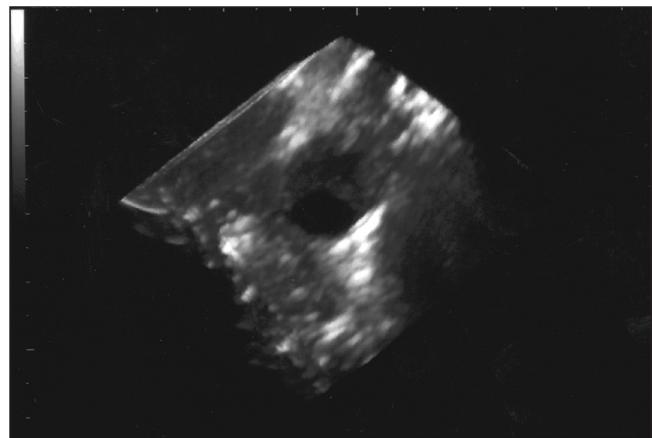


Fig. 2.- Normal urinary bladder.  
Vejiga urinaria normal.

distal common bile duct, particularly in the presence of a choledochal cyst.

3D color angio and power Doppler scans may also be performed. Vascularization indices, flow, volume, etc., are important.

The multiplanar mode allows visualization of surfaces (surface mode) as well as inner spaces (niche mode).

### INDICATIONS IN NON-GASTROINTESTINAL DISEASES

Three-dimensional ultrasonography (3) has now been introduced in selected areas of clinical practice, and thus recent studies demonstrated its usefulness in obstetrics, where this modality seems helpful in diagnosing fetal malformations (4) (hypospadias, cleft lip, spinal malformations, etc.). In the mean time, we should not forget that this technique provides highly realistic fetal images, particularly in slice surface reconstructions and distal portions, which represents a great appeal for parents-to-be (see baby features, etc.). In the field of gynecology, it is mainly used in the diagnosis of uterine malformations (uterine septum) and expansive ovarian lesions –where authors such as Kurjak (5) obtained good results by combining three-dimensional ultrasonography and power Doppler, particularly in the study of the ovarian surface—as well as in the identification of tumor infiltration and the accurate measurement of tumor volumes.

Furthermore, it may detect structural abnormalities in the vessels of malignant tumors –thickening, bending, arteriovenous shunts, microaneurysms, etc.—thus facilitating the lesion's morphologic assessment. Transvaginal transducers have also been used in obstetrics, gynecology, and assisted reproduction settings (6). Conventional transvaginal ultrasounds only allow bidimensional (2D) views of three-dimensional structures. It is expertise that allows the explorer to mentally reconstruct volume from

such an image. The possibility of three-dimensional images helps the explorer to this end.

Recent reports in the field of cardiology have shown the significance of this modality for the assessment of heart valves, particularly in the study of mitral function. 3D transthoracic sonography has proven its worth in the diagnosis of congenital heart disorders by providing more detailed information on the mitral valve (7). The study of systolic function has been assessed using angiography, radionuclides, and 3D ultrasonography, and the latter modality was deemed effective in this role (8).

3D sonography has been also assayed in the urologic setting, where it may seemingly detect lithiasis with greater accuracy. A number of reports have shown its usefulness in the study of the ureter using endoluminal probes, which have allowed an in-depth study of ureteric and periureteric anatomy (9). This technique has also been used in the study of expansive vesical and prostatic lesions (Fig. 3), particularly in early stages (10).

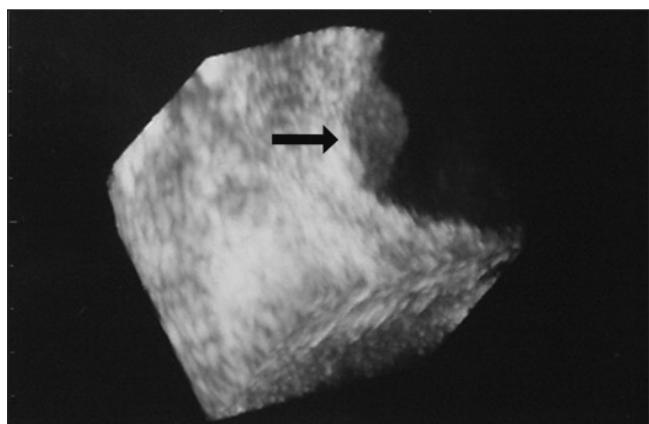


Fig. 3.- A vegetating lesion within the urinary bladder.  
Lesión vegetante en vejiga urinaria.

A number of studies attempting to assess treatment response in prostate tumors by using 3D ultrasonography and Doppler explorations, which allow flow in the tumor's area to be measured before and after therapy using high-intensity ultrasounds, have shown promising results.

The absence of blood flow in 3D sonograms and power Doppler images reflects the involved tissue following treatment, and accurate volume measurements allow therapy effectiveness to be assessed (11) (Table I).

#### Table I. Indications

Volume calculation: cysts and tumors, stomach and gallbladder
Vascular architecture evaluation
Echo-directed biopsy using 3D or 4D
Support of interventionist ultrasonography
Support of USE, miniprobes, endorectal ultrasounds, and laparoscopic ultrasonography

#### INDICATIONS IN GASTROINTESTINAL DISEASES

In the field of gastroenterology (12), reports that were first related to this technique evaluated volume measurement accuracy as a future diagnostic potential (13). Clinically, the measurement of volume in an organ or lesion plays a role in the diagnosis and follow-up of multiple diseases. Conventional 2D ultrasonography, which represents a fast, inexpensive way of volume estimation, does so by simply multiplying three perpendicular diameters by 3/4. Obviously, since it is based in the assumption of these geometric figures, this method entails an occasionally significant error margin in volume estimation. Three-dimensional sonography has proven useful at estimating volumes for liver tumors (14) using planimetry, and has shown higher accuracy when compared to conventional 2D sonography and CT, which estimate volume using the ellipse formula (Figs. 4-7).

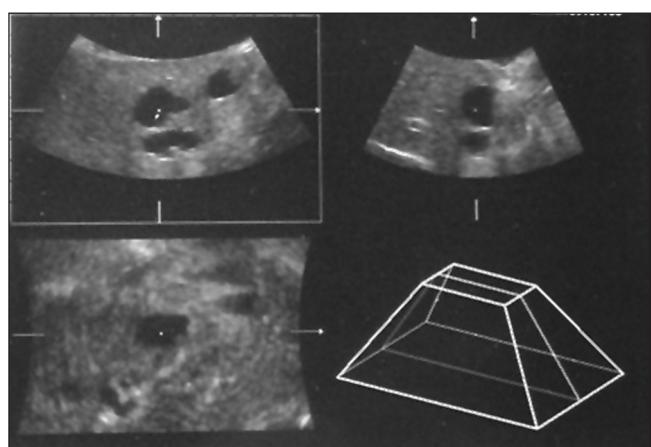


Fig. 4.- Multiple liver cysts.  
Quistes hepáticos múltiples.

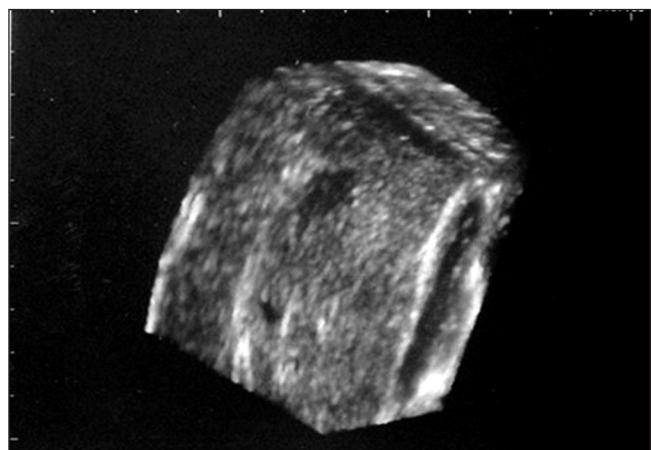


Fig. 5.- Liver cone showing one of the aforementioned cysts.  
Cone hepático en el que observamos uno de los quistes anteriores.

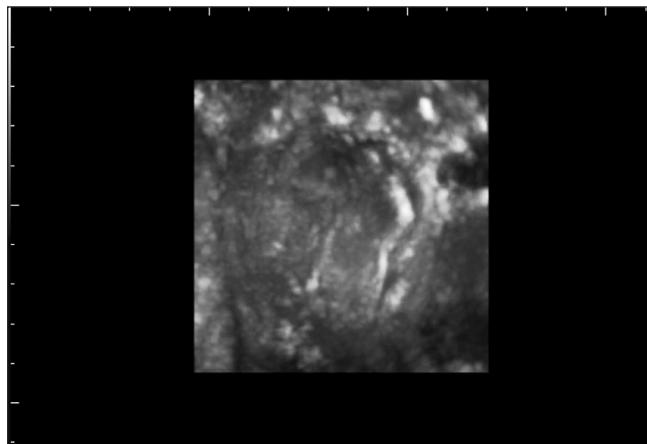


Fig. 6.-Image showing Wirsung's duct.  
Imagen del conducto de Wirsung.

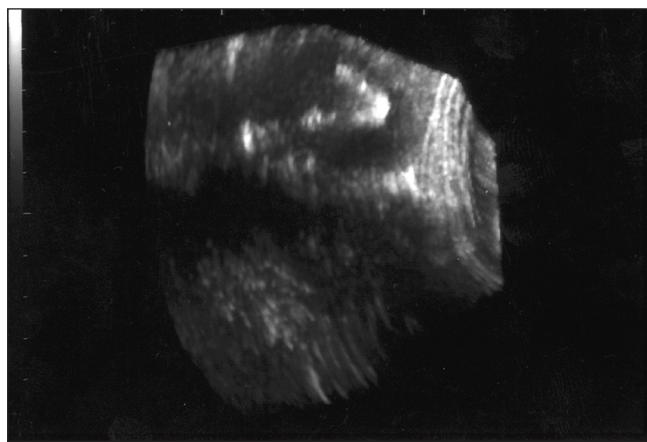


Fig. 7.- A tumor at the hepatic flexure of the colon.  
Tumor en ángulo hepático del colon.

Later on Berstad (15,16) glimpsed a new path for investigation in the study of digestive motility, since it allowed gastric voiding to be assessed as other authors such as Gilja had already demonstrated in 1997 and 1999 (17,18). Subsequent papers such as those by Hausken (19) took advantage of this technique for the measurement of volumes in the assessment of antral and gallbladder emptying in patients with non-ulcerative dyspepsia and in patients with erosive arthritides, and they concluded that both antral and gallbladder emptying were abnormal following the ingestion of a test meal. This same author, when studying patients who had dyspeptic symptoms of probably functional nature following cholecystectomy for non-symptomatic biliary lithiasis in comparison to healthy subjects and patients with functional dyspepsia, found overlapping disorders in functional dyspepsia and in patients having undergone cholecystectomy for asymptomatic lithiasis and subsequent dyspeptic symptoms (20) (Fig. 8).

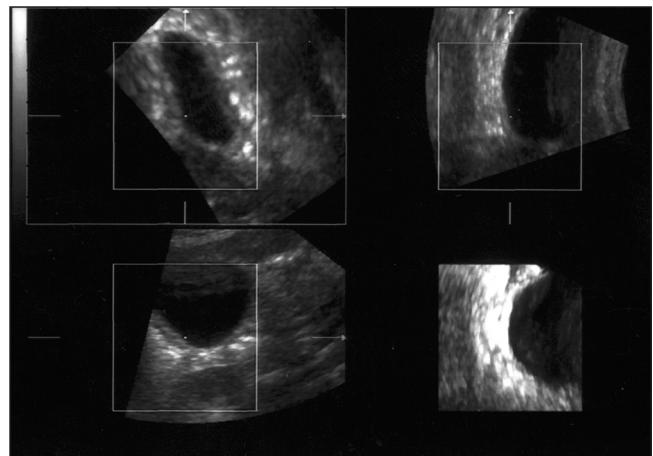


Fig. 8.- Images showing the gallbladder.  
Imágenes de la vesícula biliar.

A step forward for 3D sonography in gastroenterology usage was its application to endoscopic ultrasonography (EUS) (21), but volumes estimated using this method seem greater than actual.

Thus, Kallimanis (22) reported in 1994 on images obtained from eight patients suffering from esophageal tumors using an Olympus echoendoscope, which were digitized and then processed in a PC using some software program. Nishimura in 1997 (23) reported his first results: 18 resected tumors in 21 patients. Tumors were esophageal, gastric, and colonic, and their *in vitro* study yielded surface images similar to gross findings, thus allowing a detailed study of tumor infiltration. Clinical use had limitations, but proved useful in the esophagus and the rectum (24-26).

Some authors have attempted to use three-dimensional sonography in the preoperative study of rectal tumors, and consider this technique useful in their assessment before therapy decision making (27,28). Following intent-to-heal rectal amputation high local relapse rates are known to exist when perirectal fat is infiltrated (29). Furthermore, radiation therapy and chemotherapy increase resectability and survival in advanced tumors. Recent studies have shown that nearly 70% of non-resectable tumors may be eventually excised with healing intent following radiotherapy.

Thus, staging is very important regarding the selection of a proper course of action. The presence of tumor-induced stenosis (14%) has been suggested to be associated with a poor prognosis. However, although stenosing tumors are usually associated with advanced local disease, this is no factor indicating a poor prognosis when considered alone. On the other hand, obstruction alone does not warrant preoperative therapy using radiotherapy and/or chemotherapy. Therefore, in rectal cancer an accurate preoperative assessment is vital, even for tumors inducing no obstruction.

Endorectal sonography is the most accurate technique

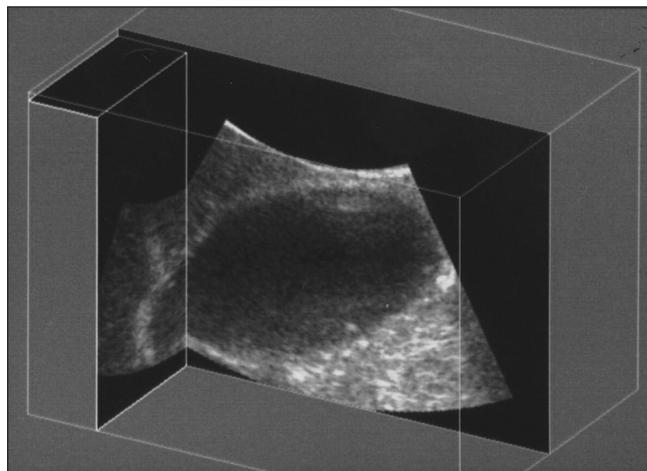


Fig. 9.- Gallbladder with minolithiasis.  
Vesicula biliar con microlitiasis.

in the study of rectal cancer thus far. However, this is not possible for stenosing tumors not allowing the passage of a probe through the stenosis. Hünerbein (30) studied 94 consecutive patients with rectal carcinoma. A stenosis was found in 26 that precluded adequate exploration using endorectal sonography; in all these was an endorectal 3D sonogram successful to visualize both the stenosis and the tumor. 3D endosonography successfully diagnosed infiltration extent in 78% of subjects, that is, in 18 patients, and so revealed three patients with an invaded *muscularis propria* (T2), eight patients with tumors involving perirectal fat (T3), and finally three individuals with invaded nearby organs (T4). Its ability to reveal perirectal lymph node involvement was 75%. Obstruction was correctly attributed to extrinsic lesions developed after surgery in eight patients using 3D ultrasonography. It should be noted that CT had only demonstrated lesions in 6 subjects despite their oscillating between 3 and 6 cm in size. In all eight patients, the diagnosis was confirmed by biopsies performed under the guidance of this same technique.

Another relevant indication of 3D—even 4D (multiplanar real-time visualization)—ultrasonography is in the adjuvant role with interventionist ultrasounds. These results are of great relevance as they demonstrate that this technique is useful to assess infiltration extent even in stenosing tumors (14%) not allowing the passage of a probe, and assessment permits therapy changes in some cases (30,31).

Its usage in the study of pancreatic and biliary diseases has been recently investigated using intraductal probes (32,33); although no definitive results are available yet, this is an appealing path for investigation.

The usefulness (34) of intraductal 3D sonography has been also investigated in the staging of bile duct carcinoma in a small number of subjects. Thus, a series of patients with extrahepatic bile duct carcinoma were preop-

eratively assessed in a recent paper. All underwent intraductal endoscopic sonography using both conventional and 3D ultrasounds to assess right hepatic artery, portal vein, and pancreatic parenchymal invasion prior to resection. Results were subsequently compared to histological data from resected specimens. Three-dimensional ultrasonography revealed right hepatic artery invasion in 88% of cases, portal vein invasion in 100% of cases, and pancreatic parenchymal invasion 100% of cases, whereas intraductal conventional sonography reached only 88% for all three parameters assessed. Despite the small number of cases studied, these findings allowed authors to conclude that intraductal endoscopic 3D sonography was useful in the staging of bile duct carcinoma.

Finally, some authors such as Kavic (35) maintain that the use of 3D sonography in laparoscopic surgery is glimpsed on the horizon, since it may safely offer precise real-time information on anatomic structures, with no radiation involved and for a relatively inexpensive cost (35,36).

In our setting a review by Weissman in 2001 may be read, in which this author discusses abdominal volumes standardization from 3D sonography (37,38), as well as a more recent review on quantitation (39).

In pediatric patients (3 cases) 3D sonography is an important aid in the diagnosis of grade-I choledochal cysts (40).

## CONCLUSIONS

Three-dimensional ultrasonography offers a new perspective into anatomy and pathology, as it allows both the surface and the interior of a lesion to be visualized, and the performance of more accurate volume calculations. It may be of help for all sonography modalities, including interventionist ultrasounds. The future will definitely position this novel technique.

## REFERENCES

1. Sackman M, Paletzky J, Zwiebel FM, Holl J. Three-dimensional ultrasonography in hepatobiliary and pancreatic diseases. Bildgebung 1994; 61: 104-9.
2. Candiani F. The latest in ultrasound: three-dimensional imaging. Part I. Euro J Radiol 1998; 27 (Supl. 2): 179-82.
3. Campani R, Botinelli O. The latest in ultrasound: three-dimensional imaging. Part II. European Journal of Radiology 1998; 27 (Supl. 2): 183-7.
4. Kurjak A, Vecek N, Hafner T, Bocek T, Funduk KurjaK B, et al. Prenatal diagnosis: what does four-dimensional ultrasound add? J Perinat Med 2002; 30: 57-62.
5. Kurjack A, Kupesic S, Anic T, Kosuta D. Three-dimensional ultrasound and power doppler improve the diagnosis of ovarian lesions. Gynecology-Oncology 2000; 76: 28-32.
6. Maymon R, Herman A, Ariely S, Dreazen E, Buckovsky I, Weinraub Z. Three-dimensional vaginal sonography in obstetrics and gynaecology. Hum Reprod Update 2000; 6: 475-84.

7. Lange A, Palka P, Burstow DJ, Godman MJ. Three-dimensional echocardiography: historical development and current applications. *J Am Soc Echocardiogr* 2001; 14: 403-12.
8. Eder V, Herault S, Hudelo C, Giraudeau B, Marchal C, Quilliet L, Pottier J, Arbeille P. Evaluation of left ventricular systolic function by 3D echocardiography: a comparative study with X-ray angiography and radionuclide angiography. *Eur J Ultrasound* 2000; 11: 105-15.
9. Bagley DH, Liu JB. Three-dimensional endoluminal ultrasonography of the ureter. *Journal of Endourology* 1998; 12: 411-6.
10. Martino P, Palazzo S, Bufo P, Garofalo L, Selvaggi FP. Three-dimensional ultrasound for early staging of prostatic adenocarcinoma. *J Urol* 2000; 164: 456.
11. Sedelaar JP, Aarmink RG, Van Leenders GJ. The application of three-dimensional contrast enhanced ultrasound to measure volume of affected tissue after HIFU treatment for localized prostate cancer. *Eur Urol* 2000; 37: 559-68.
12. Wagner S, Gebel M, Bleck JS, Manns MP. Clinical application of 3D sonography in gastrointestinal disease. *Verdauungskrankheiten*. 1995; 13: 182-5.
13. Zoller Wg, Liess H. 3D ultrasound in gastroenterology. *Bildgebung* 1994; 61: 95-100.
14. Liess H, Roth CM, Umgelter A, Zoller WG. Improvements in volumetric quantification of circumscribed hepatic lesions by three dimensional sonography. *Zeitschrift für Gastroenterologie* 1994; 32: 448-92.
15. Berstad A, Hausken T, Gilja OH, Thune N, Matre K, Odegaard S. Volume measurements of gastric antrum by 3D ultrasonography and flow measurements through the pylorus by duplex technique. *Digestive Diseases and Sciences* 1994; 39 (Supl. 12): 97S-100S.
16. Berstad A, Hausken T, Gilja OH, Hveem K, Nwsje LB, Odegaard S. Ultrasonography of the human stomach. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 1996; 220: 75-82.
17. Gilja OH, Detmer PR, Jong JM, Leotta DF, Li XN, Beach KW, et al. Intragastric distribution and gastric emptying assessed by three-dimensional ultrasonography. *Gastroenterology* 1997; 113: 38-49.
18. Gilja OH, Hausken T, Berstad A, Odegaard S. Measurements of organ volume by ultrasonography. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* 1999; 213: 247-50.
19. Hausken T, Thune N, Matre K, Gilja OH, Odegaard S, Berstad A. Volume estimation of the gastric antrum and the gallbladder in patients with non-ulcer dyspepsia and erosive prepyloric changes, using three-dimensional ultrasonography. *Neurogastroenterology and Motility* 1994; 6: 263-70.
20. Hausken T, Sondnaa K, Svebak S, Gilja OH, Olafsson S, Odegaard S, Soreide O, Berstad A. Common pathogenetic mechanisms in symptomatic, uncomplicated gallstone disease and functional dyspepsia: Volume measurement of gallbladder and antrum using three-dimensional ultrasonography. *Digestive Diseases and Sciences* 1997; 42: 2505-12.
21. Yoshino J, Nakazawa S, Inui K, Wakabayashi T, Okushima T, Kobayashi T, et al. Surface-rendering imaging of gastrointestinal lesions by three-dimensional ultrasonography. *Endoscopy* 1999; 31: 541-5.
22. Kallimani G, Tio TL, Fleisher DE, Benjamin SB. Three dimensional endosonography: a new technique of endoscopic ultrasound. *Hellenic Journal of Gastroenterology* 1994; 7: 217-23.
23. Nishimura K, Niwa Y, Goto H, Hase S, Arisawa T, Hayakawa T. Three-dimensional ultrasonography of gastrointestinal lesions using an ultrasound probe. *Scandinavian Journal of Gastroenterology* 1997; 32: 862-8.
24. Hünerbein M, Below C, Schlag PM. Three-dimensional endorectal ultrasonography for staging of obstructing rectal cancer. *Diseases of the Colon and Rectum* 1996; 39: 636-.
25. Hünerbein M, Gretschel S, Ghadimi BM, Schlag PM. Three-dimensional endoscopic ultrasound of the esophagus. Preliminary experience. *Surgical Endoscopy* 1997; 11: 991-4.
26. Hünerbein M, Ghadimi Bm, Gretschel S, Schalg PM. Three dimensional endoluminal ultrasound: a new method for the evaluation of gastrointestinal tumors. *Abdominal Imaging* 1999; 24: 445-8.
27. Melchert T, Stroh C, Schramm H. 3D endosonography in the diagnosis of rectal cancer. *Coloproctology* 1998; 20: 190-7.
28. Ivanov KD, Diacov CD. Three dimensional endoluminal ultrasound: New staging technique in patients with rectal cancer. *Diseases of the Colon and Rectum* 1997; 40: 47-50.
29. Katsura Y, Yamada K, Ishizawa T, Yoshimaka H, Shimazu H. Endorectal ultrasonography for the assessment of wall invasion and lymph node metastasis in rectal cancer. *Dis Colon Rectum* 1992; 35: 362-8.
30. Hünerbein M, Dohmoto M, Haensch W, Schlag PM. Evaluation and biopsy of recurrent rectal cancer using three-dimensional endosonography. *Dis Colon Rectum* 1996; 39: 1373-8.
31. Lindmark G, Elvin A, Pählmann L, Glimelius B. The value of endosonography in preoperative staging of rectal cancer. *Int J Colorectal Dis* 1992; 7: 162-6.
32. Kanemaky N, Nakazawa S, Inui K, Yoshino J, Yamao K, Okushima K. Three-dimensional intraductal ultrasonography: Preliminary results of a new technique for the diagnosis of diseases of the pancreaticobiliary system. *Endoscopy* 1997; 29: 726-31.
33. Kanemaky N, Nakazawa S, Inui K, Yosino J, Yamachika H, Okushima K, et al. Three-dimensional ultrasonography using ultrasonic probes by the transpapillary approach for diagnosis of pancreaticobiliary diseases. *Digestive Endoscopy* 1997; 9: 290-95.
34. Tamada K, Tomiyana T, Ohashi A, Wada S, Satoh Y, Miyata T, et al. Preoperative assessment of extrahepatic bile duct carcinoma using three-dimensional intraductal US. *Gastrointestinal Endoscopy* 1999; 50: 548-54.
35. Kavic MS. Three dimensional ultrasound. *Surgical Endoscopy* 1996; 10: 74-6.
36. Bhutani MS. Three dimensional endoscopic ultrasound. *Acta Endoscopica* 1999; 29: 35-8.
37. Weismann CF, Datz L, Kofler B. Standardized ultrasound (US) 3D-volumen investigation and documentation of the upper abdomen and kidneys. *European Radiol* 2000; 10: 158.
38. Weismann CF. Utility and application of 3D ultrasound in gastroenterology. *Rev Esp Ecogr Dig* 2001; 3: 116-20.
39. Fenster A, Downey DB. Three-dimensional ultrasound imaging and its use in quantifying organ and pathology volumes. *Anal Bioanal Chem* 2003; 377: 982-9.
40. Haliloglu M, Akata D, Gurel S, Ozmen MN, Akhan O. Choledochal cyst in children: evaluation with three-dimensional sonography. *J Clin Ultrasound* 2003; 31: 478-80.

# Ultrasonografía tridimensional (3D)

F. Muñoz Agel y M. J. Varas Lorenzo

*Unidad de Ecoendoscopia. Centro Médico Teknon. Barcelona*

## RESUMEN

Se efectúa revisión y puesta al día de la ultrasonografía tridimensional en 3D, en todas sus facetas, ecografía y ultrasonografía endoscópica 3D, sus detalles técnicos y sus indicaciones actuales, como son el cálculo de volúmenes, la evaluación de la arquitectura vascular, y la ayuda a la ecografía intervencionista.

Se presentan imágenes de experiencia propia.

**Palabras clave:** Ecografía o ultrasonografía tridimensional en 3D. Ultrasonografía endoscópica en 3D. Ecografía endorrectal en 3D. Ecografía laparoscópica en 3D.

## INTRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA

Es aceptada de manera unánime la importancia de las imágenes tridimensionales, obtenidas actualmente mediante tomografía computarizada (TC), o mediante resonancia magnética (RM), que nos permiten estudiar con precisión, no únicamente la localización exacta de una determinada lesión, sino sus relaciones con las estructuras y órganos vecinos y lo que es más importante, establecer si existe continuidad, especialmente en las lesiones neoplásicas infiltrantes. Permite además, en las lesiones expansivas, medir de manera precisa su volumen, para planificar su tratamiento, de especial relevancia en el caso de los tumores hepáticos, tratados mediante alcoholización, inyección de sustancias antitumorales, sondas de radiofrecuencia, ondas de choque, etc., y poder además monitorizar su respuesta al mismo. Para obtener estas imágenes tridimensionales, toda la información obtenida del estudio de un determinado volumen, es ordenada por un *software* determinado que permite su reconstrucción espacial. La obtención de estas imágenes mediante TC o RM, es sencilla relativamente, ya que el sistema de escaneado de ambos métodos es automático y los diferentes cortes de una determinada región, se obtienen seguidos uno después de otro, sin mayores dificultades por parte del explorador. La única dificultad puede aparecer en el desplazamiento de los órganos, por los movimientos respiratorios, en algunos pacientes incapaces de colaboración, ya que es necesaria la inmovilidad del enfermo durante la exploración.

Pero en el caso de la ecografía la posibilidad de reconstruir las imágenes en tres dimensiones se complica algo más, ya que los diferentes cortes obtenidos mediante la ecografía convencional en 2D son manuales, no automáticos, por lo que la obtención de las imágenes depende de la habilidad del explorador. Por otra parte la cantidad de cortes que se pueden obtener son incalculables, y no tienen un principio y un final definidos, ya que siempre se puede conseguir un corte más. A pesar de estos inconvenientes, recientemente se han usado diferentes sistemas para poder obtener imágenes en tres dimensiones mediante ultrasonografía. Para poder entender esta técnica es necesario comentarlos sucintamente.

### Sistema manos libres

El primero de los sistemas usados consistía en un ordenador que tenía capacidad para, una vez recibidas las imágenes de la unidad, cuando había finalizado ya la exploración, ordenarlas en una secuencia determinada para su reconstrucción volumétrica. Las imágenes podían ser giradas sobre diferentes ejes, para su posterior reconstrucción.

Este sistema utilizado por Sackman en el año 1994 (1) para el estudio del hígado y del páncreas, precisaba un tiempo de exploración alargado ya que la información que debía proporcionar el equipo al ordenador era minuciosa y dependía de la habilidad del explorador, para obtener múltiples cortes sin vacíos.

Este sistema denominado de manos libres, en ocasiones puede ayudarse por sensores acústicos o magnéticos que ayudan al posicionamiento de los cortes, para su posterior interpretación.

### Sistema mecánico de movimiento

Los sistemas que usan transductores mecánicos son los usados en la actualidad (VOLUSON 530 y 730, de 3-5 MHz, con programas Vocal TM y Shell TM). En ellos, ya

no es necesario que, el explorador practique múltiples cortes con una secuencia e inclinación determinadas, que requiere además de habilidad, tiempo para poder realizar la exploración.

Sino que es la propia sonda, la que incorpora un sistema mecánico de movimiento que permite captar las imágenes que serán posteriormente procesadas.

Existen dos tipos de transductores mecánicos, el primero de ellos consiste en un transductor que mediante un sistema mecánico de rotación, permite obtener multitud de imágenes que posteriormente son procesadas en el ordenador. Este sistema que no tiene las desventajas que supone la obtención manual de los cortes, es útil especialmente cuando la región anatómica a explorar es pequeña, como por ejemplo en transductores endorrectales (2).

Otro sistema de transductor mecánico, más avanzado, lo constituyen aquellos que permiten obtener una imagen volumétrica de un cono truncado (VOLUSON 730 con un ángulo de 75%), en el cual el vértice estaría situado en el transductor.

El explorador al alcanzar la imagen o la región a estudiar debe permanecer con el transductor estático, mientras el paciente permanece inmóvil, para permitir a la sonda efectuar un barrido simultáneo en dos planos. Las imágenes son pasadas y procesadas por un ordenador, que las reproduce de manera tridimensional (Figs. 1 y 2).

En el modo multiplanar se efectúan tres planos (longitudinal o sagital-A, transversal-B y coronal-C) y una reconstrucción ortogonal, pudiéndose girar mediante tres ejes (X, Y, Z).

El plano coronal podría ser importante para el estudio de litiasis en el cuello vesicular y en la vía biliar principal distal especialmente si existe un quiste de colédoco.

Se puede efectuar también Color-Angio o Power-Doppler en 3-D. Serán importantes los índices de vascularización, flujo, volumen de interés, etc.

En este modo multiplanar puede verse la imagen en superficie (superficie) pero también puede verse en su interior (nicho).

## INDICACIONES EN ENFERMEDADES NO DIGESTIVAS

Actualmente la ecografía tridimensional (3) se ha introducido ya en algunos campos de la práctica clínica, y así recientes estudios han demostrado su utilidad en obstetricia donde este método parece de ayuda para el diagnóstico de malformaciones fetales (4) (hipospadias, labio leporino, malformaciones espinales, etc.). Al mismo tiempo, no debemos olvidar que proporciona imágenes del feto de un gran realismo, especialmente en la reconstrucción de la superficie de los cortes, y en las partes acras, que representan un potente atractivo para las futuras padres (ver las facciones, etc.). En el campo de la ginecología sus principales aplicaciones las tiene en el diagnóstico de las malformaciones uterinas (*septum ute-*

*rino*) y en las lesiones expansivas ováricas, donde algunos autores como Kurjak (5), combinando el uso de la ecografía tridimensional y el *Power-Doppler* han conseguido buenos resultados especialmente en la exploración de la superficie del ovario, en la detección de la infiltración del tumor y en la medida precisa de su volumen.

Puede además detectar anormalidades estructurales en los vasos de los tumores malignos tales como engrosamientos, acodamientos, *shunts* arteriovenosos, microaneurismas, etc., que facilitan la evaluación morfológica de la lesión, se han usado también transductores transvaginales en obstetricia, ginecología y en reproducción asistida (6). La ecografía vaginal convencional permite únicamente una visión en dos dimensiones (2D) de las estructuras en tres dimensiones. Debe ser la experiencia del examinador la que le permita mentalmente la reconstrucción de la imagen volumétrica.

La posibilidad de obtener imágenes en tres dimensiones ayuda en esta tarea al explorador. Publicaciones recientes en el campo de la cardiología, han mostrado la importancia de este método, en la valoración de las válvulas cardíacas, particularmente en el estudio de la función mitral. La sonografía transtorácica 3D ha demostrado su capacidad diagnóstica en las alteraciones congénitas cardíacas proporcionando una información más detallada de la válvula mitral. (7). Se ha valorado el estudio de la función sistólica ventricular izquierda mediante angiografía, radioisótopos y ultrasonografía 3D concluyendo que este método es eficaz para su valoración (8).

Se ha ensayado también en urología, donde al parecer ha sido capaz de detectar litiasis con mayor precisión. Se han publicado algunos trabajos demostrando su utilidad en el estudio del uréter mediante sondas endoluminales, que han permitido el estudio de la anatomía ureteral y periureteral con gran detalle (9). El estudio de las lesiones expansivas vesicales (Fig. 3) y prostáticas, especialmente en sus estadios precoces ha sido objeto de esta técnica (10).

Son prometedores algunos estudios que intentan valorar la respuesta al tratamiento en los tumores prostáticos, mediante ultrasonografía 3D y Doppler, que permiten diferenciar el flujo en la zona tumoral antes y después del tratamiento, mediante ultrasonidos de alta intensidad.

La ausencia de flujo sanguíneo visualizado mediante ecografía 3D y Power-Doppler refleja el tejido afectado tras el tratamiento y la medición exacta del volumen nos permite valorar la eficacia terapéutica (11) (Tabla I).

## INDICACIONES EN ENFERMEDADES DIGESTIVAS

En el campo de la gastroenterología (12), los primeros trabajos publicados relacionados con el uso de esta técnica, valoraban la posibilidad de la exactitud en la medición de los volúmenes, como un futuro potencial diag-

**Tabla I. Indicaciones**

Cálculo de volúmenes: de quistes y tumores, del estómago y la vesícula biliar
Evaluación de la arquitectura vascular
Biopsia ecodirigida por 3D o 4D
Ayuda a la ecografía intervencionista
Ayuda a la USE, minisondas, ecografía endorrectal y laparoscópica

nóstico, de este medio (13). Clínicamente la medición del volumen de un órgano o de una lesión forma parte del diagnóstico y seguimiento de multitud de enfermedades. La ultrasonografía convencional en 2D, que representa un método rápido y barato para su determinación, calcula el volumen, mediante el método sencillo de multiplicar tres diámetros perpendiculares entre sí por 3/4.

Evidentemente este método basado en asumir estas figuras geométricas, supone asumir un margen de error en ocasiones significativo en la estimación del volumen. La ecografía tridimensional se ha usado con buenos resultados, en el cálculo de volúmenes de tumores hepáticos (14) calculados mediante planimetría, demostrando mayor exactitud que la ecografía convencional en 2D y que la TC que hallan el volumen a través de la fórmula de la elipse (Figs. 4-7).

Más adelante Berstad (15,16) vislumbró que se abriría además, un camino de investigación en el estudio de la motilidad digestiva, al permitir valorar el vaciamiento gástrico, como demostraron también otros autores como Gilja en 1997 y 1999 (17,18). Posteriores trabajos como los de Hausken (19), aprovecharon la utilidad de esta técnica en la medición de volúmenes para valorar el vaciado antral y de la vesícula biliar en pacientes con dispepsia no ulcerosa y en pacientes con artritis erosiva, llegando a la conclusión que en ambos casos existía un vaciado anormal antral y de la vesícula biliar, tras la ingestión de una comida de prueba. El mismo autor estudiando a aquellos pacientes que tras la colecistectomía por litiasis biliar no sintomática, presentaban síntomas dispépticos de probable origen funcional y comparándolos con sujetos sanos y pacientes afectos de dispepsia funcional, encontró alteraciones superponibles en la dispepsia funcional y en los pacientes colecistectomizados por litiasis asintomática y síntomas posteriores dispépticos (20) (Fig. 8).

Un paso adelante en el capítulo, del uso de la ecografía 3D en gastroenterología, lo representó su aplicación en la ultrasonografía endoscópica (USE) (21), aunque mediante este método parece que los volúmenes encontrados son mayores que en la realidad.

Así Kallimanis (22) publica en 1994 las imágenes de ocho pacientes afectos de tumores esofágicos conseguidas mediante un eco-endoscopio Olympus, digitalizadas y procesadas posteriormente en un PC con un determinado software. Nishimura en 1997 (23) publica unos primeros resultados: 18 tumores resecados en 21 pacientes. Los

tumores eran esofágicos, gástricos y colónicos, y en el estudio *in vitro* de los mismos, la imagen de la superficie era similar a los hallazgos macroscópicos, permitiendo un estudio detallado de la infiltración del tumor. Su aplicación en clínica tenía limitaciones, pero resultó útil en el esófago y en el recto (24-26).

Algunos autores han ensayado el uso de la ecografía tridimensional en el estudio preoperatorio de los tumores de recto, considerando a esta técnica como una ayuda útil para su valoración antes de una decisión terapéutica (27,28). Se sabe que después de la amputación rectal con fines curativos existen unas tasas elevadas de recidiva local, si existe infiltración de la grasa perirectal (29). Por otra parte en aquellos casos de tumores avanzados, la radioterapia y la quimioterapia aumentan la resecabilidad y la supervivencia. Estudios recientes han demostrado que casi un 70% de tumores inextirpables pueden ser resecados con intención curativa después de radioterapia.

Por todo ello, definir el estadiaje es muy importante para la conducta terapéutica a seguir.

Se ha sugerido que la presencia de estenosis (14%) causada por el tumor se asocia a un mal pronóstico. Sin embargo, aunque los tumores estenosantes generalmente se asocian a enfermedad local avanzada, no representa este dato un factor de mal pronóstico si lo consideramos aisladamente. Por otro lado, la obstrucción como factor aislado no justifica tratamiento preoperatorio con radioterapia y/o quimioterapia. Por todo ello la evaluación preoperatoria precisa, en el cáncer rectal es imprescindible aun en los casos de tumores que cursan con obstrucción.

Hasta el momento la ecografía endorrectal, constituye la técnica más precisa para su estudio. Sin embargo ello no es posible en aquellos casos de tumores estenosantes, que no permiten el paso de la sonda a través de la estenosis. Para ello Hünerbein (30) estudió 94 pacientes consecutivos afectos de carcinoma rectal. En 26 de los mismos se halló una estenosis que impedía la exploración adecuada mediante la ecografía endorrectal, y en los 26 casos se practicó con éxito una ecografía endorectal 3D, que permitió la visualización de la estenosis y el tumor en todos los casos. La endosonografía 3D diagnosticó acertadamente el grado de infiltración en el 78% de los casos, es decir, en 18 pacientes, y así demostró tres pacientes con invasión de la muscular propia (T2), ocho pacientes en los que el tumor afectaba además la grasa perirectal (T3), y finalmente tres enfermos con invasión de órganos vecinos (T4). La capacidad para demostrar la presencia de adenopatías perirectales fue del 75%. En ocho pacientes la obstrucción que presentaban fue atribuida acertadamente por la endosonografía 3D a lesiones extrínsecas aparecidas tras la cirugía. Es conveniente señalar que a pesar de que el tamaño de las lesiones oscilaba entre 3 y 6 cm el TC únicamente las había demostrado en 6 casos. En los ocho casos el diagnóstico se completó mediante biopsia dirigida por la misma técnica.

Otra indicación importante de la ultrasonografía 3D e inclusive de la 4D (visualización en tiempo real multi-

planar) es su utilidad en la ayuda a la ecografía intervencionista. Estos resultados son de gran importancia, ya que demuestran que el empleo de esta técnica es útil para valorar el grado de infiltración del tumor, aún en aquellos casos de tumores estenosantes (14%) que no permiten el paso de la sonda a su través y que su valoración permite en algunos casos cambiar la actitud terapéutica (30,31).

Su aplicación en el estudio de las enfermedades pancreáticas y biliares, se ha investigado recientemente mediante el empleo de sondas intraductales (32,33) y aunque no existen resultados definitivos, abre un atractivo camino para la investigación.

Se ha investigado, también la utilidad (34) de la ecografía 3D intraductal para el estadiaje del carcinoma de los conductos biliares, aunque en un escaso número de casos. Así, en un trabajo reciente se valoraron preoperatoriamente una serie de enfermos afectos de carcinoma de los conductos biliares extrahepáticos. En todos ellos se practicó un estudio sonográfico endoscópico intraductal mediante ultrasonografía convencional y en 3D, para valorar la invasión de la arteria hepática derecha, de la vena porta y del parénquima pancreático, antes de la resección. Los resultados fueron posteriormente comparados con la información histológica de las piezas resecadas. La ecografía tridimensional, informó de la invasión de la arteria hepática derecha, en el 88% de los casos, de la vena porta en el 100%, y del parénquima pancreático en el 100%, mientras que la sonografía intraductal convencional alcanzaba únicamente el 88% en los tres parámetros valo-

rados. Estos hallazgos permitían concluir a los autores, a pesar del escaso número de casos estudiados, que la ecografía tridimensional endoscópica intraductal es útil en el estadiaje del carcinoma del ducto biliar.

Finalmente algunos autores como Kavic (35) sostienen que la aplicación de la ecografía 3D en la cirugía laparoscópica, se vislumbra en el horizonte, ya que puede ofrecer una precisa información de las estructuras anatómicas en tiempo real, de una manera segura, sin emplear radiaciones ionizantes, y con un coste relativamente barato (35,36).

En nuestro medio, se puede consultar una revisión de Weismann en el 2001 en la que se pone de manifiesto la estandarización de volúmenes abdominales obtenida por ultrasonografía 3D (37,38), y otra revisión más reciente (39) sobre la cuantificación.

En pacientes pediátricos (3 casos) es importante la ayuda de la ecografía 3D que presta en el diagnóstico de los quistes de colédoco grado I (40).

## CONCLUSIONES

La ultrasonografía tridimensional en 3-D nos ofrece otro punto de vista de la anatomía y de la patología, nos permite ver la superficie y el interior de una lesión, y efectuar un cálculo de volúmenes más exacto.

Puede ser una ayuda a todas las modalidades de ecografía e inclusive a la ecografía intervencionista.

El futuro acabará de posicionar esta nueva técnica.