Utilidad de la tomografía computarizada en cuatro fases como método diagnóstico de primera línea en pacientes con adenomas paratiroides

Usefulness of four-dimensional computed tomography as a first-line diagnostic method in patients with parathyroid adenomas

Estefanía Murrieta-Peralta^{1*}, Héctor Murrieta-González², Carla Moctezuma-Velasco¹, Ana P. Chischitz-Condey¹, Jonathan Salazar-Segovia¹, Mario Calva-Arcos¹ y Claudia I. Hernández-Zendejas¹

¹Servicio de Imagenología Diagnóstica y Terapéutica; ²Servicio de Tomografía Computada. Departamento de Radiología, Centro Médico ABC, Ciudad de México, México

RESUMEN

Introducción: El hiperparatiroidismo primario es una enfermedad en la que existe una secreción excesiva de hormona paratiroidea. Actualmente se realizan diversos estudios para la búsqueda de adenomas paratiroides, ya que son la causa más común de hiperparatiroidismo. En los últimos años se ha desarrollado la técnica de tomografía computarizada en cuatro dimensiones (TC 4D), la cual es más sensible para la detección de patología paratiroidea, pero es poco conocida por los clínicos. **Objetivo:** Describir la técnica de la TC 4D, los principales hallazgos por este método de imagen, el enfoque de la interpretación, así como la experiencia de nuestro hospital. **Material y métodos:** Se realizan tres fases de tomografía computarizada, que abarcan los principales sitios en donde pueden visualizarse las glándulas paratiroides eutópicas y ectópicas. Este es un método que empleamos en el Centro Médico ABC, es muy seguro y permite realizar el diagnóstico diferencial. Se estudiaron 15 pacientes referidos al servicio para realizar el estudio de hiperparatiroidismo primario, como el único o uno de los estudios complementarios para la detección de alguna anomalía paratiroidea, principalmente descartar un adenoma paratiroideo. Se excluyeron 3 pacientes con el expediente incompleto. **Resultados:** Se obtuvieron en diferentes modalidades de imagen y se correlacionaron con lo obtenido en el estudio histopatológico posterior a la cirugía. **Discusión:** En este estudio

Correspondencia:

*Estefanía Murrieta-Peralta
E-mail: emurrietap@gmail.com

Recibido: 29-01-2020

Aceptado: 25-03-2020

DOI: 10.24875/ARM.20000025

2604-2053/© 2020 Sociedad Mexicana de Radiología e Imagen, AC. Publicado por Permalyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

se demostró que la TC 4D es superior al ultrasonido y la SPECT-CT para la detección de adenomas paratiroides. Este resultado correlaciona con lo reportado en la literatura.

Palabras clave: Tomografía computada 4D. SPECT-CT. Adenoma paratiroides. Hiperparatiroidismo primario.

ABSTRACT

Introduction: Primary hyperparathyroidism is a disease in which there is an excessive secretion of parathyroid hormone. Various studies are currently being carried out to search for parathyroid adenomas, since they are the most common cause of hyperparathyroidism. In recent years the four-dimensional computed tomography (4D CT) technique has been developed, which is more sensitive for the detection of parathyroid pathology but is little known by clinicians. **Objective:** Describe the technique of computed tomography in three phases, the main findings by this imaging method, the approach to interpretation, as well as the experience of our hospital. **Material and methods:** Four-dimensional computed tomography are performed, covering the main sites where the eutopic and ectopic parathyroid glands can be visualized. This is a method that we use at The American British Cowdray, Medical Center, which is very safe and allows the differential diagnosis. We studied 15 patients referred to the service to perform the study of primary hyperparathyroidism, as the only or one of the complementary studies for the detection of some parathyroid abnormality, mainly ruling out a parathyroid adenoma. 3 patients with incomplete records were excluded. **Results:** Obtained in the different imaging modalities were correlated with that obtained in the post-surgery histopathological study. **Discussion:** This study showed that 4D CT is superior to ultrasound and SPECT-CT for the detection of parathyroid adenomas. This result correlates with what is reported in the literature.

Key words: 4D computed tomography. SPECT-CT. Parathyroid adenoma. Primary hyperparathyroidism.

INTRODUCCIÓN

El hiperparatiroidismo primario es una enfermedad en la que existe una secreción excesiva y desregulada de hormona paratiroidea, que conduce a una alteración en el metabolismo de fosfato y calcio, que generalmente se manifiesta como hipercalcemia. Su relevancia recae en que actualmente es el tercer trastorno endocrinológico más comúnmente diagnosticado, después de la diabetes y de las enfermedades tiroideas.

Su prevalencia estimada en la población general es de 1 a 2 casos por cada 1,000 habitantes, con una proporción mujer-hombre de 2-3:1 Su incidencia generalmente aumenta con la edad, siendo mayor entre las mujeres posmenopáusicas (mayores de 50 años)¹.

Los adenomas solitarios son la causa más común de hiperparatiroidismo primario, hasta en una 85% de los casos¹. Otras causas menos comunes son la enfermedad multiglandular

por múltiples adenomas (4%), hiperplasia paratiroidea (6%) y, con menor frecuencia, el carcinoma paratiroideo (1%)².

El diagnóstico del hiperparatiroidismo se realiza mediante la combinación de hallazgos clínicos, métodos de imagen y de laboratorio. La utilidad de los estudios de imagen radica en la localización anatómica del adenoma, así como la identificación de las estructuras anatómicas relacionadas con el mismo, lo cual, es indispensable para una adecuada planeación del tratamiento quirúrgico. Las modalidades de imagen como el ultrasonido, la gammagrafía con Sestamibi-TC 99m y el Sestamibi-TC 99m combinado con tomografía computarizada (SPECT-CT) son los métodos más utilizados para el diagnóstico de esta entidad. Ambos métodos poseen una sensibilidad similar para la detección de adenomas paratiroideos solitarios, que es de un 88%; no obstante, la combinación de estos métodos aumenta su sensibilidad hasta en un 95%³. El ultrasonido no emplea radiación y puede localizar adenomas de localización eutópica. En cambio, el sestamibi es superior para localizar adenomas de localización eutópica y ectópica.

La tomografía computarizada en cuatro dimensiones (TC 4D) es un método de imagen, actualmente utilizado como segunda línea para el diagnóstico de adenoma paratiroideo. Es comúnmente utilizada para la localización preoperatoria y la planeación quirúrgica, ya que posee una resolución espacial alta, lo cual es útil en la diferenciación entre adenomas y otros tumores imitadores². Sin embargo, varios estudios han demostrado que la TC 4D es superior en el diagnóstico de adenoma paratiroideo recurrente, incluso en casos en los

que el ultrasonido y la gammagrafía son negativos⁴.

El objetivo de esta revisión es describir la técnica de la TC 4D, los principales hallazgos por este método de imagen, el enfoque de la interpretación, así como la experiencia de nuestro hospital en la utilización de este método como primera línea para el diagnóstico y planeación quirúrgica en pacientes con diagnóstico de adenomas paratiroideos.

TÉCNICA

Las cuatro dimensiones de la TC 4D se refieren a las reconstrucciones sagital y coronal que se adquieren a partir de la adquisición axial. Sin embargo, el estudio se realiza en fase simple y posterior a administración del medio de contraste, y lo que se evalúa es el cambio en el reforzamiento de una lesión blanco en las fases simple, arterial y venosa. El estudio de tomografía se adquiere desde la base del cráneo hasta el borde inferior de la carina. Se realiza el estudio simple, arterial a los 25 a 30 segundos y tardío a los 120 segundos. En el Centro Médico ABC se realizan las tres fases con los siguientes parámetros: 0.6 mm de grosor de corte con posterior reconstrucción a 2.5 mm en los tres planos, tiempo de rotación del tubo a 0.4 segundos, el factor del *pitch* 0.516: 1 20.62, un campo de exploración de 20 cm, tiempo de exposición de 10 minutos con 10 Kv y 450 mA.

Posterior a la adquisición de imágenes, el análisis debe ser sistematizado. Se realiza la búsqueda intencionada de lesiones localizadas en sitios eutópicos a las glándulas paratiroides, los adenomas suelen ser lesiones ovaladas o

en forma de lágrima, y tienen un reforzamiento homogéneo en fase arterial (138 a 180 UH) con un lavado en la fase tardía. En esta localización se debe hacer el diagnóstico diferencial con tejido tiroideo ectópico, el cual será hiperdenso desde la fase simple, y con nódulos tiroideos, los cuales muestran un reforzamiento similar a la glándula tiroides y pueden verse asociados a alguna arteria.

También debe realizarse la búsqueda de lesiones en localización ectópica, ya que las glándulas paratiroides pueden tener cualquier localización desde la bifurcación carótidea hasta el mediastino anterior.

Otro diagnóstico diferencial importante es con los ganglios cervicales, los cuales tendrán una morfología ovalada con hilio graso central. En algunas ocasiones, los ganglios pueden mostrar degeneración quística.

La TC 4D ha mostrado mayor sensibilidad para la localización prequirúrgica de adenomas paratiroides que otras técnicas de imagen, como el sestamibi SPECT-CT, de hasta el 79% al comparar con el 58%, respectivamente⁵.

PACIENTES Y MÉTODOS

En el Centro Médico ABC hemos introducido la TC 4D como una técnica de imagen novedosa, que era poco conocida y/o aceptada por médicos especialistas en endocrinología y por cirujanos endocrinólogos. La técnica está estandarizada en ambos campus, con los parámetros antes mencionados. A lo largo de 2 años se han realizado un total de 15 estudios, y a continuación mostramos los resultados obtenidos.

Se trata de una cohorte en la que incluimos a los 15 pacientes. Se realizó un seguimiento desde el momento de la realización de su primer estudio (ultrasonido, SPECT o TC 4D) hasta el resultado quirúrgico y el reporte de patología. Realizamos este estudio longitudinal y observacional, obteniendo la información a partir del sistema PACS y con el expediente clínico.

Se incluyeron aquellos pacientes que tenían sospecha clínica de hiperparatiroidismo primario (de acuerdo al criterio del clínico, a partir de signos, síntomas y resultados de laboratorio), que se realizaron el estudio de TC 4D y que tuvieron extirpación quirúrgica de la lesión blanco para poder corroborar los resultados obtenidos por esta técnica de imagen. Se excluyeron los pacientes con expediente incompleto. De los 15 pacientes, 3 se realizaron el estudio pero no continuaron el seguimiento en nuestro hospital.

Se realizó un análisis del perfil bioquímico, con variables cuantitativas continuas como parte del estudio demográfico de nuestros pacientes. Por otro lado, se analizaron las características de afección glandular, de acuerdo al número de glándulas afectadas y la lateralidad, incluyendo la afección por cuadrantes. Dos de los pacientes mostraron un adenoma de localización ectópica, pero para el análisis se incluyeron como parte de los cuadrantes inferiores.

Finalmente, se realizó un análisis de especificidad y sensibilidad para las técnicas de TC 4D y SPECT-CT y se calculó el valor predictivo positivo y negativo para cada técnica en nuestro estudio. Se realizó un análisis univariado respecto a la concordancia que tiene cada técnica de imagen con el resultado histológico final.

RESULTADOS

Los 12 pacientes incluidos fueron tratados con un plan quirúrgico y médico adyuvante. Al encontrarnos en un medio privado todos los pacientes son de estrato económico medio-alto, todos tienen nacionalidad mexicana, se encuentran en una media de 49.5 años de edad y la mayoría de los pacientes son de género femenino (Tabla 1). La media del nivel de hormona paratiroidea (PTH) fue de 47.2 pg/dl, con un rango entre 15 y 204 pg/dl; el nivel de calcio sérico medio fue de 7.5 mg/dl, con un rango entre 7.7 y 10.2 mg/dl; el fósforo sérico medio fue de 3.0 mg/dl, con un rango de 3.3 a 5.1 mg/dl. Los rangos normales son: PTH 15-65 pg/dl, calcio 8.6-10 mg/dl y fósforo 2.5-4.5 mg/dl.

Características de enfermedad paratiroidea

En la TC 4D, 12 pacientes tuvieron enfermedad localizada en al menos una glándula y 1 paciente mostró enfermedad bilateral (multiglandular) (Fig. 1). Otros 2 pacientes fueron negativos para la presencia de enfermedad paratiroidea (Tabla 2).

Encontramos el mismo número de lesiones en cada lado, y tanto en el lado derecho como en el izquierdo, la mayoría de los adenomas se encontraban en los cuadrantes inferiores (Fig. 2).

DIAGNÓSTICO

De los 15 pacientes analizados inicialmente, 13 pacientes tuvieron un resultado positivo para enfermedad paratiroidea y 2 fueron negativos. Al comparar los resultados de TC 4D

TABLA 1. Demografía de pacientes con características basales

Media de edad (años)	49.5
Mujeres	50.7
Hombres	43
Género (número de pacientes)	
Mujeres	13
Hombres	2
Etnia (número de pacientes)	
Hispano	3
Otros	12
Perfil bioquímico	
Media PTH (pg/dl)	47.2 (15-204)
Media calcio sérico (mg/dl)	7.5 (7.7-10.2)
Media fósforo sérico (mg/dl)	3.0 (3.3-5.1)

Entre paréntesis se muestra el rango menor y mayor obtenido para el perfil bioquímico de los pacientes. Los rangos normales son: hormona paratiroidea (PTH) 15-65 pg/dl, calcio 8.6-10 mg/dl y fósforo 2.5-4.5 mg/dl.

TABLA 2. Características de enfermedad paratiroidea

Parámetro	Resultado
Análisis por paciente (número de pacientes)	
Afección 1 glándula	12
Afección multiglandular	1
Número de glándulas afectadas	
Dos glándulas	1
Tres glándulas	0
Cuatro glándulas	0
Análisis basado en la lesión (número de lesiones)	
Lado derecho	7
Superior	2
Inferior	5
Lado izquierdo	7
Superior	3
Inferior	4

Un paciente con enfermedad bilateral fue cuantificado para afección del lado derecho e izquierdo. Los dos pacientes faltantes mostraron glándulas paratiroides normales.

con el resultado histológico, tuvimos que eliminar a 3 pacientes con expediente incompleto (2 con resultado positivo y 1 con resultado normal). Se encontró que existe un nivel de concordancia en 10 pacientes, incluyendo el paciente con estudio normal, lo cual corresponde al 76% de la muestra.

FIGURA 1. Adenomas paratiroides bilaterales. A y B: Tomografía computarizada de cuello, cortes axiales en fase arterial (A) y fase venosa (B). Se identifican nódulos ovalados y circunscritos, de localización posterior a los lóbulos tiroideos. En la fase arterial son isodensos al tejido tiroideo (hiperdensos) y en la fase venosa hipodensos (flechas). C: SPECT-CT presencia y retención del radiofármaco (rectángulos y círculos) en relación con tejido paratiroideo anormal en la topografía de los nódulos descritos por tomografía compatibles con adenomas paratiroides. SPECT-CT: combinado con tomografía computarizada.

FIGURA 2. Adenoma paratiroideo izquierdo ectópico. A y B: tomografía computarizada de cuello, cortes axiales en fase arterial (A) y fase venosa (B). Se aprecia un nódulo sólido y circunscrito, que se localiza lateral a la arteria carótida común izquierda. Posterior a la administración del material de contraste se observa que presenta reforzamiento en la fase arterial, y en la fase venosa el comportamiento es hipodenso (flechas). C: SPECT-CT: Presencia y retención del radiofármaco (rectángulos y círculos) en relación con tejido paratiroideo anormal en la topografía del nódulo descrito por tomografía compatible con adenoma paratiroideo. SPECT-CT: combinado con tomografía computarizada.

El gammagrama SPECT-CT se realizó a 10 pacientes de nuestra serie (Tabla 3), de los cuales 5 fueron positivos para enfermedad paratiroidea y 5 fueron normales. Ninguno de estos pacientes fue excluido por

expediente incompleto. La concordancia entre el SPECT-CT y la TC 4D fue de 7 pacientes (Fig. 3), y tan solo en 3 pacientes estos estudios no fueron concordantes (Fig. 4). De estos últimos, 2 de ellos tuvieron un resultado

FIGURA 3. Adenoma paratiroides derecho. A y B: Imágenes de ultrasonido de la región cervical en escala de grises (A) y en modo Doppler color (B), donde se observa un nódulo ovalado, circunscrito e hipoeoico lateral al lóbulo tiroideo derecho (flecha). C: SPECT-CT presencia y retención del radiofármaco (rectángulos y círculos) compatible con tejido paratiroides anormal en la topografía del nódulo referido por ultrasonido compatible con adenoma paratiroides. SPECT-CT: combinado con tomografía computarizada.

FIGURA 4. Adenoma paratiroides izquierdo con conformación patológica. A y B: Tomografía computarizada de cuello, corte axial en fase arterial (A); reconstrucción sagital en fase venosa (B). Se identifica un nódulo ovalado y circunscrito localizado en el aspecto posterior al lóbulo tiroideo izquierdo, el cual en fase arterial es hiperdenso y en fase venosa es hipodenso (flechas) compatible con adenoma paratiroides. C: SPECT-CT no se identifica presencia de zonas de retención del radiofármaco que sean compatibles con tejido paratiroides anormal. SPECT-CT: combinado con tomografía computarizada.

histológico acorde a lo reportado en la TC 4D y el otro paciente mostró enfermedad difusa de la glándula paratiroides.

El análisis en conjunto de la concordancia de la TC 4D y el SPECT-CT con el resultado histológico final se observó en 6 pacientes. De

TABLA 3. Tipo de estudios realizados

Tomografía de 4 dimensiones	15
Estudio positivo	13
Estudio negativo/normal	2
Tomografía de 4 dimensiones concordante con histología	10 (76%) (Se contabiliza 100% a 12 pacientes con expediente completo)
Gammagrama SPECT-CT	10
Estudio positivo	5
Estudio negativo/normal	5
Tomografía de 4 dimensiones no concordante con SPECT-CT	3
Tomografía de 4 dimensiones concordante con SPECT-CT	7
Tomografía de 4 dimensiones y SPECT-CT concordante con histología	6
SPECT-CT concordante con histología	6 (60%)
Ultrasonido de cuello	1 (concordante con hallazgos en tomografía de 4 dimensiones e histología)

SPECT-CT: combinado con tomografía computarizada.

los cuales 5 tenían resultado positivo para enfermedad paratiroidea (adenoma) y 1 tuvo un resultado normal. Finalmente, se observó que el SPECT-CT tiene un resultado concordante con la histología en un 60% (comparado con la concordancia del 76% de la muestra en la TC 4D).

Los hallazgos encontrados en nuestros pacientes correlacionan con lo reportado en la literatura. Varios artículos recientes confirman que el estudio de TC 4D es más sensible para la presencia de enfermedad paratiroidea que el sestamibi SPECT-CT. Sin embargo, el SPECT-CT es más conocido que la TC 4D entre los médicos clínicos, por lo que es más solicitado a pesar de su menor sensibilidad.

En nuestro estudio, la TC 4D tiene una sensibilidad del 88%, comparado con el 79.3% que se reporta en Yeh R, et al.⁶. Además, mostró una especificidad del 33%, con un valor predictivo positivo de 0.8 y negativo de 0.5.

En cambio, el SPECT-CT mostró una sensibilidad del 60%, comparado con el 58% que reporta la literatura⁶. Esta prueba mostró una especificidad del 40%, con un valor predictivo positivo de 0.6 y negativo de 0.4 en nuestro estudio.

DISCUSIÓN

Las técnicas de imagen tradicionales para búsqueda de adenomas paratiroideos han sido el ultrasonido y el sestamibi con tecnecio. El ultrasonido por sí solo ha demostrado ser preciso para la localización anatómica de adenomas en glándulas de localización eutópica, pero la resolución espacial es menor que el sestamibi. Por otro lado, el sestamibi es una herramienta útil para diagnosticar adenomas tanto de posición eutópica como ectópica, dando un sitio de referencia aproximado por cuadrantes para el cirujano⁷.

A pesar de estas técnicas de imagen ampliamente conocidas por los clínicos, la TC 4D surge como una alternativa de imagen que es capaz de dar una localización exacta prequirúrgica de los adenomas paratiroideos, tanto de localización eutópica como ectópica. Además, la gran mayoría de los casos reportados, y como lo observamos en nuestro estudio, muestra afección de una sola glándula, que suele estar en una localización adyacente a la tiroides, por lo cual la TC 4D también es superior para poder realizar el

diagnóstico diferencial con nódulos tiroideos y ganglios cervicales de forma precisa⁸.

En la mayoría de las series reportadas se encontró que la enfermedad paratiroidea es más común en mujeres y en las glándulas paratiroides inferiores, al igual que lo encontrado en nuestro estudio.

El objetivo de este estudio fue describir la técnica e interpretación de la TC 4D como la realizamos en el Centro Médico ABC y compartir nuestra experiencia. Como se puede observar, la técnica es sencilla y el protocolo está bien estandarizado. Existen algunas diferencias entre hospitales y países en cuanto a la reducción de dosis de radiación y el *field of view* que se utiliza⁵. En nuestro hospital optamos por realizar la fase simple dirigida a la tiroides y las fases contrastadas, incluyendo el tórax superior, con el fin de reducir la radiación y evitar perder de vista algún adenoma paratiroideo de localización ectópica.

A pesar de que es una técnica poco conocida, cada vez es más frecuente la realización de este estudio. Los 15 pacientes que hemos tenido en el hospital fueron analizados y muestran resultados en cuanto a diagnóstico y corroboración con resultado histológico similares a los encontrados en la literatura.

Rodgers, et al.⁷, en su estudio con 75 pacientes sometidos a ultrasonido, sestamibi y TC 4D, corroboraron el diagnóstico dado por estas modalidades con el resultado histológico y concluyeron que la sensibilidad de la TC 4D es mayor que el sestamibi y el ultrasonido para la localización exacta por cuadrantes de glándulas paratiroides hiperfuncionantes (adenomas). Estos hallazgos coinciden con lo

encontrado en nuestro estudio, a pesar de que nosotros tenemos una cohorte de solo 15 pacientes. También encontramos que la especificidad de la TC 4D es mayor, con un mejor valor predictivo positivo y negativo para la localización de adenomas paratiroides que otros estudios, como lo reporta la literatura.

Además del rendimiento de la prueba, encontramos que la correlación del resultado por patología con el sestamibi era menor que con la TC 4D. Hunter, et al.⁸, en su estudio con 143 pacientes, encontró que la precisión de este estudio es de hasta el 93%, por lo que esta prueba es suficiente para realizar una localización prequirúrgica y realizar una planeación dirigida a la resección de una sola glándula. Esto contrasta con lo realizado en el pasado, en que la cirugía iba dirigida a resecar más de una glándula en caso de tener duda con la localización prequirúrgica, lo cual implicaba mayor tiempo quirúrgico y realizar una exploración amplia en el cuello.

CONCLUSIÓN

La TC 4D ha emergido como una modalidad útil para detectar lesiones de las glándulas paratiroides que causan hiperparatiroidismo primario. Esta técnica ha demostrado ser superior al ultrasonido de cuello y al sestamibi para la localización exacta de lesiones en el tiempo prequirúrgico y para realizar diagnósticos diferenciales con otras lesiones del cuello. En muchos estudios recientes, y también en nuestro estudio, se ha encontrado que la sensibilidad de la TC 4D y la correlación de sus resultados con los de la patología son mejores que las técnicas

conocidas de forma tradicional. En los próximos años veremos que este estudio será mejor conocido por los clínicos y reemplazará las técnicas de imagen que se utilizaban previamente⁹.

En los próximos estudios ya no se hablará de la superioridad de este método, sino que tendremos que buscar cuál es la variabilidad interobservador con el fin de mejorar esta técnica de imagen.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los doctores Miguel Herrera Hernández y Raúl Alvarado Bachmann.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no tienen conflicto de interés que comentar.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Mazzeo S, Cappelli C, Caramella D, Belcari A, Forasassi F, Battaglia V, et al: Multidetector CT in diagnostic work-up of patients with primary hyperparathyroidism. *Radiol Med.* 2007;112(5):763-75.
2. Hoang JK, Sung WK, Bahl M, Phillips CD. How to Perform Parathyroid 4d Ct: Tips and Traps for Technique and Interpretation . *Radiology.* 2014; 270:(1):15-24.
3. Patel CN, Salahudeen HM, Lansdown M, Scarsbrook AF. Clinical utility of ultrasound and 99mTc sestamibi SPECT/CT for preoperative localization of parathyroid adenoma in patients with primary hyperparathyroidism. *Clin Radiol.* 2010;65(4):278-87.
4. Hamidi M, Sullivan M, Hunter G, Hamberg L, Cho NL, Gawande AA, et al. 4D-CT is Superior to Ultrasound and Sestamibi for Localizing Recurrent Parathyroid Disease. *Ann Surg Oncol.* 2018;25(5):1403-9.
5. Hoang JK, Sung WK, Bahl M, Phillips CD. How to Perform Parathyroid. 4D CT: Tips and Traps for Technique and Interpretation. *Radiology.* 2014;270(1):15-24.
6. Yeh R, Tay YD, Tabacco G, Derclé L, Kuo JH, Bandeira L, et al. Diagnostic Performance of 4D CT and Sestamibi SPECT/CT in Localizing Parathyroid Adenomas in Primary Hyperparathyroidism. *Radiology.* 2019;291:469-76.
7. Rodgers SE, Hunter GJ, Hamberg LM, Schellingerhout D, Doherty DB, Ayers GD, et al. Improved preoperative planning for directed parathyroidectomy with 4-dimensional computed tomography. *Surgery.* 2006;140(6):932-41.
8. Hunter GJ, Schellingerhout D, Vu TH, Perrier ND, Hamberg LM. Accuracy of Four-dimensional CT for the Localization of Abnormal Parathyroid Glands in Patients with Primary Hyperparathyroidism. *Radiology.* 2014;264(3):789-95.
9. Kukar M, Platz TA, Schaffner TJ, Elmarzouky R, Groman A, Kumar S, et al. The Use of Modified Four-Dimensional Computed Tomography in Patients with Primary Hyperparathyroidism: An Argument for the Abandonment of Routine Sestamibi Single-Positron Emission Computed Tomography (SPECT). *Ann Surg Oncol.* 2015;22(1):139-45.