



Artigo Original

Utilização da TC-4D em Adenomas Paratiroideus de Localização Indeterminada: Correlação Cirúrgica



João Almeida^{a*}, Natalie Antunes^a, Francisco do Rosário^b, António Garrão^b, Maria Olímpia Cid^c, Miguel Allen^c, Evelina Mendonça^d, Cecília Leal^a, Luísa Figueiredo^a, Hugo Marques^e

^aServiço de Radiologia / Hospital de Santa Marta, Centro Hospitalar Lisboa Central, Lisboa, Portugal

^bServiço de Endocrinologia / Hospital da Luz, Lisboa, Portugal

^cServiço de Cirurgia Geral / Hospital da Luz, Lisboa, Portugal

^dServiço de Anatomia Patológica / Hospital da Luz, Lisboa, Portugal

^eServiço de Radiologia / Serviço de Radiologia do Hospital da Luz e do Hospital de Santa Marta, Centro Hospitalar Lisboa Central, Lisboa, Portugal

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Received/ Recebido: 2018-09-11

Accepted/Aceite: 2019-04-09

Online: 2019-09-30

Palavras-chave:

Adenoma/diagnóstico por imagem

Cuidados Pré-Operatórios

Glândulas Paratiroideias/diagnóstico por imagem

Neoplasias das Paratiroides/diagnóstico por imagem

Tomografia Computadorizada Quadridimensional

Keywords:

Adenoma/diagnostic imaging

Four-Dimensional Computed Tomography

Parathyroid Glands/diagnostic imaging

Parathyroid Neoplasms/diagnostic imaging

Preoperative Care

R E S U M O

Introdução: A localização pré-cirúrgica dos adenomas paratiroideus é importante para o sucesso cirúrgico e redução de morbilidade desta intervenção. Nos últimos anos, a tomografia computadorizada quadridimensional (TC-4D) cérvico-torácica tem emergido como uma técnica complementar às modalidades tradicionais (ecografia e cintigrafia) na localização de adenomas paratiroideus de localização indeterminada. Foi avaliada a experiência inicial de aplicação da TD-4D em adultos com hiperparatiroidismo primário (HPTP) e exames de imagem tradicionais negativos ou inconclusivos. **Métodos:** Foram incluídos doentes adultos consecutivos com diagnóstico laboratorial de hiperparatiroidismo primário com exames de imagem tradicionais negativos ou inconclusivos, que realizaram TC-4D e posterior cirurgia com finalidade curativa entre Maio de 2015 e Dezembro de 2017. Foi comparado o relatório radiológico e imagens da TC-4D com o resultado histológico da peça operatória.

Resultados: Dos 11 doentes submetidos a cirurgia, em 91% dos casos o resultado histológico foi adenoma paratiroideu (n=10) e em 9% de hiperplasia paratiroideia (n=1), tendo-se verificado descaída do valor de PTH (*parathyroid hormone*) intra-operatório em 77% dos casos (n=7) e normalização do valor de PTH no pós-operatório recente em 91% dos casos (n=10). A TC-4D identificou de forma precisa a localização do tecido paratiroideu hiperfuncionante em todos os casos (n=11). A ecografia e a cintigrafia identificaram apenas, respectivamente, 36% (n=4) e 18% (n=2) das lesões.

Conclusão: Os resultados iniciais da nossa experiência na aplicação da TC-4D demonstraram que é uma técnica promissora na localização de adenomas paratiroideus de localização incerta, devendo ser considerada em casos onde a ecografia e cintigrafia são negativas ou discordantes.

Application of 4D-CT in Poorly Located Parathyroid Adenomas: Surgical Correlation

A B S T R A C T

Introduction: Presurgical localization of parathyroid adenomas is important, improving surgical outcome and reducing its morbidity. In the last years, cervico-thoracic four-dimensional computed tomography (4D-CT) has emerged as a complementary imaging technique to the traditional methods (ultrasound and scintigraphy) for presurgical localization of parathyroid adenomas of unknown location. We reviewed our initial experience in the use of 4D-CT in adults with primary hyperparathyroidism and negative or inconclusive traditional imaging modalities.

Methods: Inclusion criteria were consecutive adults with primary hyperparathyroidism with negative or inconclusive traditional imaging modalities, who underwent 4D-CT and later curative sur-

* Autor Correspondente / Corresponding Author.

E-Mail: joao.manuel.almeida@hotmail.com (João Roque de Almeida)

Rua Maria Veleda 3-3D

1500-441 Lisboa

<https://doi.org/10.26497/ao180081>

1646-3439/© 2019 Sociedade Portuguesa de Endocrinologia, Diabetes e Metabolismo. Publicado por Sociedade Portuguesa de Endocrinologia, Diabetes e Metabolismo. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

gery, between May 2015 and December 2017. We compared the report and images from 4D-CT to the histopathologic report after surgery.

Results: Of the eleven patients who underwent cervical surgery, in 91% the histology was parathyroid adenoma (n=10) and in 9% parathyroid hyperplasia (n=1), with lowering of intraoperative parathyroid hormone in 77% of patients (n=7) and normalization of parathyroid hormone after surgery in 91% (n=10). 4D-CT identified all the cases of hyperfunctioning parathyroid tissue (n=11). Ultrasound and scintigraphy identified, respectively, 36% (n=4) and 18% (n=2) of the lesions.

Conclusion: 4D-CT is a promising modality for localization of parathyroid adenomas of unknown location, as showed by our initial results, and should be considered in cases where ultrasound or scintigraphy were negative or inconclusive.

Introdução

O hiperparatiroidismo primário (HPTP) é uma doença que resulta do excesso de produção de hormona paratiroideia (PTH - *parathyroid hormone*) por uma ou mais glândulas paratiroideias, levando a hipercalcémia.¹

Muitas vezes assintomática, as queixas da doença resultam de litíase renal recorrente, fraturas patológicas múltiplas, perda de massa óssea ou sintomatologia decorrente de hipercalcémia (como osteopenia, depressão ou fadiga), baseando-se o diagnóstico bioquímico na detecção de hipercalcémia associada a um valor de PTH inapropriadamente normal ou elevado.¹

Por ser maioritariamente uma condição assintomática, a determinação da incidência tem sido alvo de discussão. Estimam-se cerca de 50 novos casos por 100 000 habitantes na população norte-americana no período compreendido entre 1998 e 2010.²

É 2 a 3 vezes mais frequente no sexo feminino, com maior prevalência entre a quinta e sétima décadas de vida.^{1,2} Pode apresentar-se de forma esporádica ou familiar.³

A maioria dos casos de HPTP é causada por adenoma paratiroideu único (80%-85%), podendo também ser causada por adenoma duplo (2-5%), hiperplasia difusa (10%-15%) ou por carcinoma paratiroideu (<1%).⁴⁻⁸

O HPTP pode ser curado pela ressecção da região glandular hiperprodutora, estando a cirurgia indicada em: doentes com HPTP sintomático; doentes assintomáticos com concentração de cálcio sérico ≥ 1 mg/dL em relação ao valor de referência, clearance de creatinina < 60 mL/min, litíase renal, osteoporose ou idade inferior a 50 anos.⁹

O tratamento clássico da doença consistia na exploração cervical bilateral das 4 glândulas paratiroideias através de uma grande incisão transversal, associada a uma elevada taxa de complicações (lesão do nervo laríngeo recorrente, hipoparatiroidismo, hemorragia), pelo que se favorece uma abordagem minimamente invasiva, dirigida à região glandular hiperprodutora.^{5,8,9}

Nos doentes com indicação cirúrgica, a realização de exames de imagem pré-cirurgia permite localizar a doença a um quadrante do pescoço, limitando a abordagem cirúrgica apenas a esse quadrante através de uma pequena incisão, com equivalente taxa de sucesso face à abordagem clássica mas com menor taxa de complicações, menor tempo operatório e melhor resultado cosmético.¹⁰

As modalidades de imagem tradicionais usadas como primeira linha na localização pré-operatória de tecido paratiroideu hiperfuncionante são habitualmente a ecografia cervical e a cintigrafia com Tc99m-sestamibi. Nos últimos anos, têm surgido algumas alternativas, habitualmente usadas como segunda linha, nomeadamente a tomografia computadorizada tetra-dimensional (TC-4D) e a ressonância magnética.¹¹

A TC-4D cérvico torácica consiste num protocolo específico multifásico, evidenciando as características de perfusão tecidual pelo contraste ao longo do tempo, e permitindo reconstruções

multiplanares com grande detalhe e precisão anatómica.¹²

A densidade basal, associada à variação da mesma nas diferentes fases permite diferenciar adenomas paratiroideus, de tecido tireoideu ou ganglionar.

O padrão característico de captação de contraste dos adenomas paratiroideus é a demonstração de um pico de captação na fase arterial (25s), *washout* de contraste na fase tardia (80s) e baixa atenuação na aquisição sem contraste endovenoso (Fig. 1).^{13,14}

O nosso objectivo no presente estudo é avaliar a aplicação e utilidade da TC-4D em doentes com HPTP clínico que apresentam ecografia/cintigrafia discordantes ou inconclusivas.

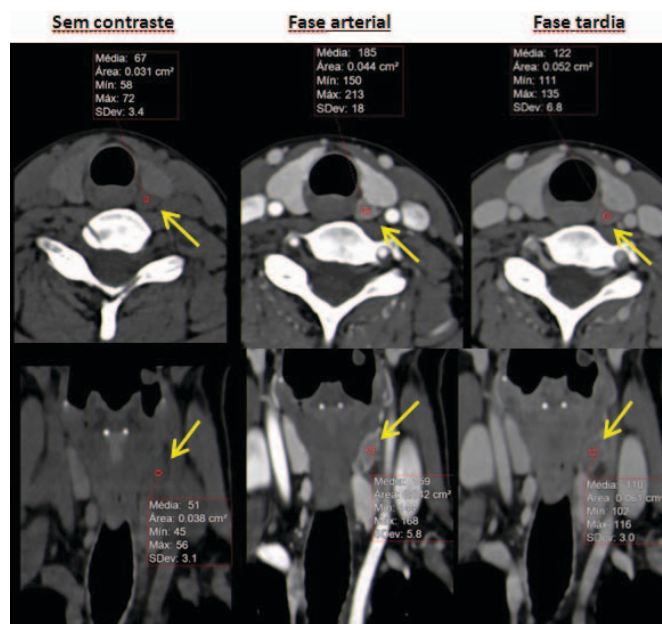


Figura 1. Adenoma paratiroideu identificado em exame TC-4D. Apresenta o padrão típico de captação de contraste: pico de captação na fase arterial (25s), *washout* de contraste na fase tardia (80s) e baixa atenuação na aquisição sem contraste endovenoso.

Material e Métodos

Doentes

Foi feita uma avaliação retrospectiva de um grupo de doentes consecutivos com HPTP confirmado a nível bioquímico e com exames de imagem de primeira linha negativos ou inconclusivos (ecografia/cintigrafia) que realizou TC-4D para localização da lesão paratiroideia hiperfuncionante, e posteriormente submetidos a cirurgia para excisão das lesões paratiroideias, no período entre Maio de 2015 e Dezembro de 2017.

Foi comparado o relatório radiológico e imagens da TC-4D com o resultado histológico da peça operatória após cirurgia, com

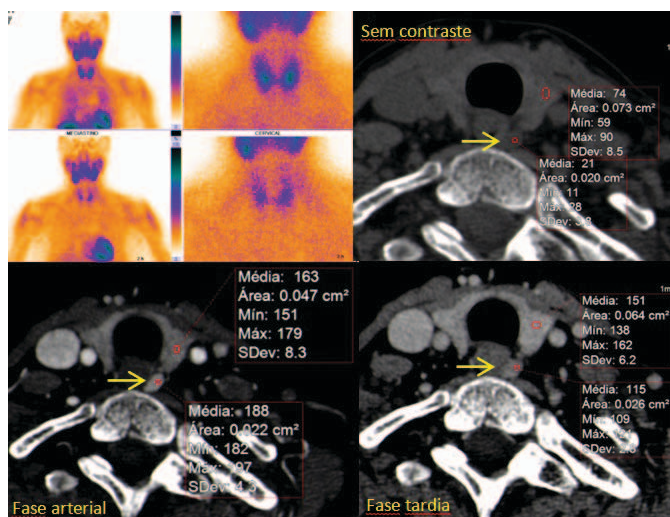


Figura 2. Caso 5: Mulher de 71 anos, com história de fracturas patológicas. Após ecografia e cintigrafia negativas, realizou TC-4D, que detectou um nódulo em topografia profunda, compatível com adenoma paratiroideu esquerdo.

o objectivo de perceber a utilidade da TC-4D em lesões de localização indeterminada.

Foram utilizados como critérios de inclusão a existência de resultado histológico definitivo da peça cirúrgica e a realização prévia de TC-4D, em doentes com ecografia/cintigrafia discordantes/inconclusivos. Foram excluídos 3 doentes que recusaram cirurgia ou cujo follow-up se perdeu, apesar da TC-4D ter identificado lesão compatível com adenoma paratiroideu nos três casos. Foram obtidos os dados demográficos dos doentes, nomeadamente idade, sexo, índice de massa corporal, nível de cálcio e PTH pré e pós-cirurgia, procedimento cirúrgico realizado e complicações cirúrgicas.

Técnica tomodensitométrica

Os estudos TC-4D foram realizados num aparelho de TC multicorte com dupla-ampola (SIEMENS SOMATON *Definition / FORCE*), com aquisição volumétrica prévia à administração EV de contraste iodado, do hióide à fúrcula esternal (confirmando-se se a tiróide foi abrangida na totalidade), seguido de duas aquisições após administração de contraste iodado (*ULTRAVIST* – 370 mg/mL, 80 mL, com taxa de infusão de 4 mL/s, seguido de 25 mL de soro fisiológico), aos 25 e 80 segundos, do ângulo da mandíbula à carina traqueal.

Tabela 1. Apresentação dos resultados.

Caso	Idade	Sexo	Cálcio pré-op	PTH pré-op	Tamanho da lesão (mm)	Ecografia	Cintigrafia	TC-4D	PTH pós-op	Resultado Histológico
1	63	M	11	268	14x9x7	Negativa	Negativa	Positiva	29	Adenoma Paratiroideu
2	57	M	11	157	25x23x14	Negativa	Negativa	Positiva	41	Adenoma Paratiroideu
3	42	F	11,7	131	19x9x8	Positiva	Negativa	Positiva	30	Adenoma Paratiroideu
4	45	F	12	241	42x23x20	Positiva	Negativa	Positiva	60	Adenoma Paratiroideu
5	71	F	10,7	242	14x9x6 e 10x5x4	Negativa	Negativa	Positiva	36	Adenoma Paratiroideu
6	67	F	11,3	180	10x6x6	Negativa	Negativa	Positiva	76	Hiperplasia Paratiroideia
7	70	F	10,8	105	18x8x6	Negativa	Positiva	Positiva	18	Adenoma Paratiroideu
8	67	F	12	236	25x15x9	Positiva	Negativa	Positiva	23	Adenoma Paratiroideu
9	61	F	12,3	1000	75x35x30	Positiva	Positiva	Positiva	65	Adenoma Paratiroideu
10	50	F	10	89	11x5x5	Negativa	Negativa	Positiva	47	Adenoma Paratiroideu
11	59	F	11,2	264,1	20x15x14	Negativa	Negativa	Positiva	51	Adenoma Paratiroideu

Valores de referência: PTH 15-65 pg/mL ; Ca 8,5-10,1 mg/dL

As 3 aquisições foram reconstruídas com 1 mm de espessura e incremento de 0,7 mm. Em relação à dose de radiação utilizada, o valor médio de DLP foi de 524,3 mGycm, com estimativa de dose efectiva de 3,1 mSv (factor de conversão de 0,0059).¹⁵

As imagens foram visualizadas em *workstation TERARECON* que permitiram avaliação multiplanar. O relatório elaborado incluiu a descrição detalhada da localização anatómica da lesão suspeita para melhor referência cirúrgica.

A abordagem operatória foi deixada ao critério da equipa cirúrgica, tendo incluído exploração dirigida a um quadrante, exploração unilateral ou bilateral, consoante o caso clínico.

Resultados

Onze doentes cumpriram os critérios de inclusão admitidos (Tabela 1). A idade média foi de 59 anos (variando entre 42-71 anos), sendo 82% dos doentes do sexo feminino (n=9). Nenhum dos doentes tinha antecedentes de cirurgia cervical.

O valor médio pré-cirurgia de cálcio sérico foi de 11,15 mg/dL (valor normal 8,5-10,1 mg/dL) e o valor médio de PTH pré-cirurgia foi de 253 pg/mL (valor normal 15-65 pg/mL).

Todos os doentes realizaram ecografia e cintigrafia pré-cirurgia, tendo a ecografia sido positiva em 36% dos casos (n=4), a cintigrafia foi positiva em 18% dos casos (n=2), foram discordantes em 45% dos casos (n=4) e ambas negativas em 58% dos casos (n=6 doentes).

Do total de onze doentes, 64% (n=7) realizaram exploração dirigida a um quadrante para paratiroidectomia, 18% (n=2) realizaram exploração bilateral (por adenoma duplo – Tabela 1, caso 5 - e por suspeita de doença bilateral levantada após ressonância magnética, não confirmada após cirurgia – Tabela 1 caso 2), e 18% (n=2) realizaram hemitiroidectomia por apresentarem patologia tiroideia concomitante.

Dos 11 doentes submetidos a cirurgia, em 91% dos casos o resultado histológico foi adenoma paratiroideu (n=10) e em 9% foi hiperplasia paratiroideia (n=1), tendo-se verificado descida do valor de PTH intra-operatório em 77% dos casos (n=7) e normalização do valor de PTH no pós-operatório recente em 91% dos casos (n=10).

A TC-4D identificou de forma precisa a localização do tecido paratiroideu hiperfuncionante em todos os casos (n=11). Comparativamente, a ecografia e a cintigrafia identificaram apenas, respectivamente, 36% (n=4) e 18% (n=2) das lesões.

Em 9% dos casos (n=1) verificou-se a presença de doença multiglandular (adenoma duplo), tendo sido correctamente identificado por TC-4D (Tabela 1 – caso 5).

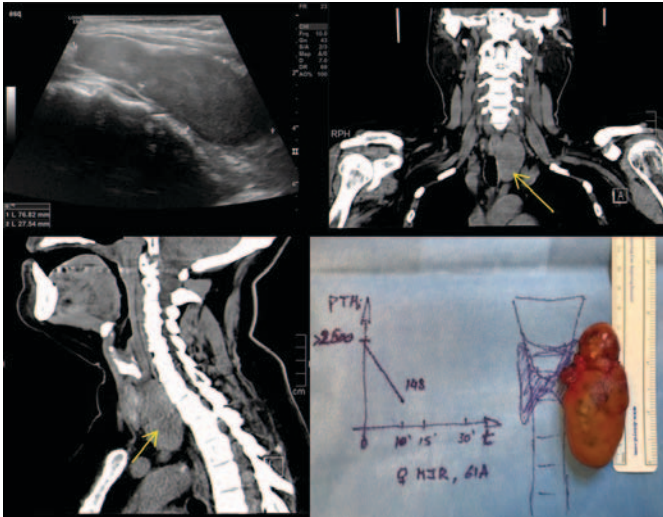


Figura 3. Caso 9: Mulher de 61 anos, insuficiente renal, com volumoso adenoma paratiroideu esquerdo identificado em ecografia. Devido às dimensões da lesão (75x32x20 mm), foi realizada TC de forma complementar para melhor caracterização dos limites da lesão.

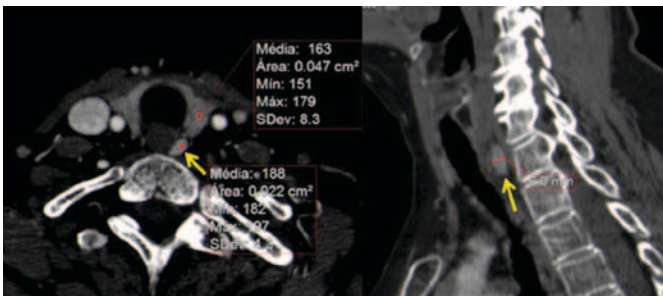


Figura 4. Caso 6: Mulher de 67 anos, com hiperparatiroidismo primário. Após ecografia e cintigrafia negativas, realiza TC-4D com identificação de lesão única sugestiva de adenoma. O resultado histológico foi de hiperplasia paratiroideia.

Num dos doentes avaliados (Tabela 1 – caso 6), a TC-4D sugeriu a existência de lesão compatível com adenoma, mas revelou tratar-se de hiperplasia paratiroideia após diagnóstico histológico (Fig. 4). Registou-se normalização do valor de PTH nas primeiras semanas após cirurgia, no entanto, o valor de PTH do doente voltou a subir passado algum tempo.

Discussão

Pretendemos avaliar a nossa experiência inicial de aplicação da TC-4D em doentes consecutivos com adenomas paratiroideus de localização indeterminada.

Os resultados iniciais do nosso estudo, apesar do número de doentes avaliados ainda ser reduzido, demonstraram uma elevada eficácia da TC-4D na localização da lesão hiperfuncionante e respectivo quadrante afectado na doença uniglandular. No grupo de doentes que avaliámos, a TC-4D demonstrou elevada sensibilidade na identificação de adenomas paratiroideus, tendo sido concordante com o resultado histológico da peça cirúrgica na grande maioria dos casos.

Os resultados que obtivemos estão de acordo com os resultados publicados por outros autores, com sensibilidades da TC-4D que variam entre os 70% e os 92%.^{12,16-21} Segundo uma meta-análise que incluiu 43 estudos comparando as várias técnicas de imagem para localização pré-operatória no hiperparatiroidismo

primário, a ecografia e cintigrafia demonstraram, respectivamente, uma sensibilidade de 76,1% e 78,9%. A TC-4D, apesar do menor número de estudos incluídos, demonstrou uma sensibilidade de 89,4%, sugerindo que a TC-4D poderá ser superior à ecografia e cintigrafia na localização pré-cirúrgica destas lesões.²²

As modalidades de imagem tradicionais apresentam algumas limitações comparativamente à TC-4D: A ecografia é um método operador dependente, encontrando-se limitada nos casos de adenomas paratiroideus heterotópicos, sobretudo de localização profunda (Fig. 2), retrofaríngea ou mediastínica, em doentes obesos ou com bócio multinodular de grandes dimensões, devido ao aumento do tecido interposto entre a sonda e as paratiróides, assim como em lesões paratiroideias de grandes dimensões (como é patente no caso ilustrado na Fig. 3, onde não se define tão bem o limite inferior da lesão mesmo utilizando sonda convexa de menor frequência).¹¹ A cintigrafia apresenta reduzida resolução espacial, com baixa sensibilidade para adenomas paratiroideus infracentimétricos ou quando coexistem outras lesões na mesma topografia.²³

A TC-4D apresenta como contra-indicações relativas a existência de alergia ao contraste iodado ou alterações da função renal.

A TC-4D e a cintigrafia, ao contrário da ecografia, são exames que expõem o doente à radiação. Este risco é mais expressivo em doentes jovens, com idade inferior a 30 anos, face a doentes de idade mais avançada (acima dos 50 anos).

Na literatura, alguns autores referem que a dose efectiva de radiação num exame TC-4D é ligeiramente superior à dose efectiva na cintigrafia (5,56 versus 3,33 mSv).²⁴

No grupo de doentes do nosso artigo, devido à evolução dos aparelhos TC e à adaptação do protocolo no sentido de minimizar a exposição à radiação, obtivemos uma dose efectiva média de 3,1 mSv, significativamente abaixo da dose TC dos autores acima referidos, e inclusivamente ligeiramente inferior à dose referida da cintigrafia.

Esta dose de radiação constitui um aumento negligenciável de risco de cancro ao longo da vida (< 0,5%), sobretudo em doentes de idade avançada.²³

A ressonância magnética, sendo um método de imagem que não expõe o doente a radiação ionizante, poderá ter vantagens, sendo uma técnica com utilização crescente mas ainda com experiência limitada.¹¹

Conclusão

Assim, os resultados iniciais da nossa experiência na aplicação da TC-4D demonstraram que é uma técnica promissora na localização de adenomas paratiroideus de localização incerta. Devido ao seu grande potencial, consideramos que poderá ser pertinente estudar a sua utilização futura como método complementar de primeira linha, possivelmente em conjunto com a ecografia, na avaliação inicial pré-operatória de doentes com HPTP.

Responsabilidades Éticas

Conflitos de Interesse: Os autores declaram a inexistência de conflitos de interesse na realização do presente trabalho.

Fontes de Financiamento: Não existiram fontes externas de financiamento para a realização deste artigo.

Proteção de Pessoas e Animais: Os autores declaram que os procedimentos seguidos estavam de acordo com os regulamentos estabelecidos pelos responsáveis da Comissão de Investigação Clínica e Ética e de acordo com a Declaração de Helsínquia da Associação Médica Mundial.

Confidencialidade dos Dados: Os autores declaram ter seguido os protocolos do seu centro de trabalho acerca da publicação dos dados de doentes.

Proveniência e Revisão por Pares: Não comissionado; revisão externa por pares.

Ethical Disclosures

Conflicts of Interest: The authors report no conflict of interest.

Funding Sources: No subsidies or grants contributed to this work.

Confidentiality of Data: The authors declare that they have followed the protocols of their work center on the publication of patient data.

Protection of Human and Animal Subjects: The authors declare that the procedures followed were in accordance with the regulations of the relevant clinical research ethics committee and with those of the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki).

Provenance and Peer Review: Not commissioned; externally peer reviewed.

Referências

- Bilezikian JP, Silveberg SJ. Clinical practice. Asymptomatic primary hyperparathyroidism. *N Eng J Med*. 2004;350:1746-51.
- Griebeler ML, Kearns AE, Ryu E, Hathcock MA, Melton LJ, Wermers RA. Secular trends in the incidence of primary hyperparathyroidism over five decades (1965-2010). *Bone*. 2015;73:1-7. doi: 10.1016/j.bone.2014.12.003.
- Marx SJ, Simonds WF, Agarwal SK, Burns AL, Weinstein LS, Cochran C, et al. Hyperparathyroidism in hereditary syndromes: special expressions and special managements. *J Bone Miner Res*. 2002;17:37-43.
- Ruda JM, Hollenbeak CS, Stack BC Jr. A systematic review of the diagnosis and treatment of primary hyperparathyroidism from 1995 to 2003. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005;132:359-72.
- Hoang JK, Sung WK, Bahl M, Phillips CD. How to perform parathyroid 4D CT: Tips and traps for technique and interpretation. *Radiology*. 2014;270:15-24. doi: 10.1148/radiol.13122661.
- Piciocchi S, Barone D, Gavelli G, Dubini A, Oboldi D, Matteuci F. Primary hyperparathyroidism: imaging to pathology. *J Clin Imaging Sci*. 2012;2:59.
- Oliveira M, Maeda S, Dreyer P, Lobo A, Andrade V, Hoff A, et al. Importance of parathyroid SPECT and 99mTc scintigraphy, and of clinical, laboratorial, ultrasonographic and citologic correlation in the preoperative localization of the parathyroid adenoma – pictorial assay. *Arq Bras Endocrinol Metab*. 2010;54:4.
- Malinzak M, Sosa J, Hoang J. 4D-CT for detection of parathyroid adenomas and hyperplasia: state of the art imaging. *Curr Radiol Rep*. 2017;5:8.
- Bilezikian J, Brandi M, Eastell R, Silverberg S, Udelsman R, Marcocci C, et al. Guidelines for the management of asymptomatic primary hyperparathyroidism: summary statement from the Fourth International Workshop. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014;99:3561-69. doi: 10.1210/jc.2014-1413
- Dalen A, Smit CP, van Vroonhoven TJ, Burger H, de Lange EE. Minimally invasive surgery for solitary parathyroid adenomas in patients with primary hyperparathyroidism: role of US with supplemental CT. *Radiology*. 2001;220:631-9.
- Kuzminski SJ, Sosa JA, Hoang JK. Update in parathyroid imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2018;26:151-66. doi: 10.1016/j.mric.2017.08.009.
- 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;140:932-40.
- Gafton AR, Glastonbury CM, Eastwood JD, Hoang JK. Parathyroid lesions: characterization with dual-phase arterial and venous enhanced CT of the neck. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2012;33:949-52. doi: 10.3174/ajnr.A2885.
- Beland MD, Mayo-Smith WW, Grand DJ, Machan JT, Monchik JM. Dynamic MDCT for localization of occult parathyroid adenomas in 26 patients with primary hyperparathyroidism. *AJR Am J Roentgenol*. 2011;196:61-5. doi: 10.2214/AJR.10.4459.
- American Association of Physicists in Medicine. Report No. 096 - The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. Alexandria: AAOM; 2008.
- Lubitz CC, Hunter GJ, Hamberg LM, Parangi S, Ruan D, Gawande A, et al. Accuracy of 4-dimensional computed tomography in poorly localized patients with primary hyperparathyroidism. *Surgery*. 2010;148:1129-37. doi: 10.1016/j.surg.2010.09.002.
- Randall GJ, Zald PB, Cohen JI, Hamilton BE. Contrast-enhanced MDCT characteristics of parathyroid adenomas. *AJR Am J Roentgenol*. 2009;193:139-43. doi: 10.2214/AJR.08.2098.
- Kutler DI, Moquete R, Kazam E, Kuhel WI. Parathyroid localization with modified 4D computed tomography and ultrasonography for patients with primary hyperparathyroidism. *Laryngoscope*. 2011;121:1219-24. doi: 10.1002/lary.21783.
- Starker LF, Mahajan A, Björklund P, Sze G, Udelsman R, Carling T. 4D parathyroid CT as the initial localization study for patients with de novo primary hyperparathyroidism. *Ann Surg Oncol*. 2011;18:1723-8. doi: 10.1245/s10434-010-1507-0.
- Rodriguez JM, Tezelman S, Siperstein AE, Duh QY, Higgins C, Morita E, et al. Localization procedures in patients with persistent or recurrent hyperparathyroidism. *Arch Surg*. 1994;129:870-5.
- Van Husen R, Kim LT. Accuracy of surgeon-performed ultrasound in parathyroid localization. *World J Surg*. 2004;28:1122-6.
- Cheung K, Wang TS, Farrokhyar F, Roman SA, Sosa JA. A meta-analysis of preoperative localization techniques for patients with primary hyperparathyroidism. *Ann Surg Oncol*. 2012;19:577-83. doi: 10.1245/s10434-011-1870-5.
- Mohebbati A, Shaha AR. Imaging techniques in parathyroid surgery for primary hyperparathyroidism. *Am J Otolaryngol*. 2012;33:457-68. doi: 10.1016/j.amjoto.2011.10.010.
- Madorin CA, Owen R, Coakley B, Lowe H, Nam KH, Weber K, et al. Comparison of radiation exposure and cost between dynamic computed tomography and sestamibi scintigraphy for preoperative localization of parathyroid lesions. *JAMA Surg*. 2013;148:500-3. doi: 10.1001/jamasurg.2013.57.