3° Πανελλήνιο Συνέδριο
Ιατρικής Φυσικής

27° Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο
Ακτινολογίας

Calibration curves for quantification of iodine and calcium in soft tissues through dual-energy CT imaging: the effect of scanner technology, body size/anatomy and acquisition protocol

N.Ntoufas[1], A. Papadakis[2], M. Raissaki, J. Damilakis, K.Perisinakis[3]

1. PhD candidate, University of Crete, Medical School, Department of Medical Physics, 71003 Heraklion, Crete, Greece
2.PhD Medical Physicist, Heraklion University Hospital
3.Professor of Medical Physics, University of Crete, Medical School, Department of Medical Physics, 71003 Heraklion, Crete, Greece

30, 31 ΟΚΤ + 1 ΝΟΕ
2 0 2 6

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
- ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ

Οργάνωση

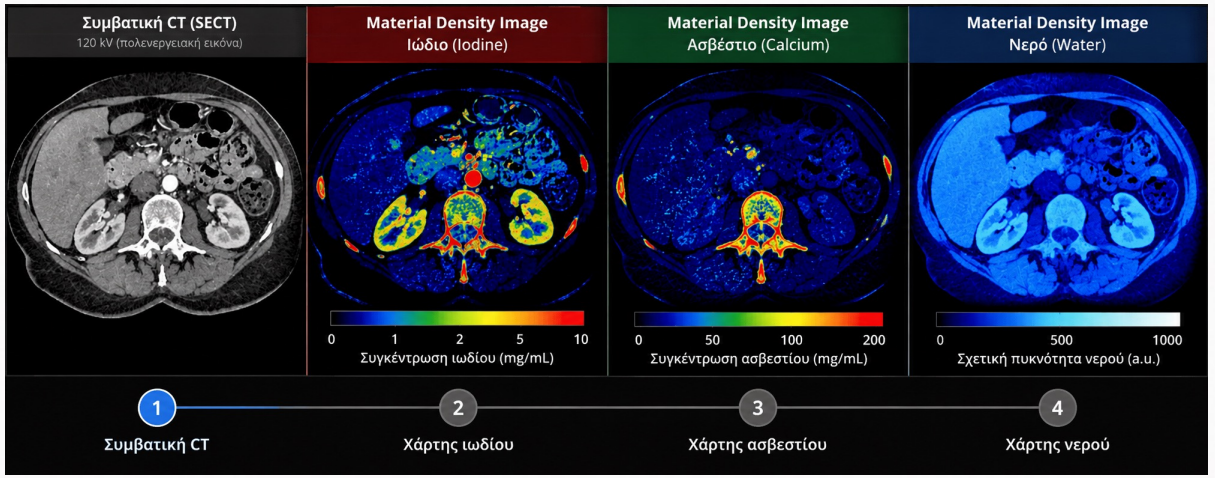
ΕΦΙΕ
Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδος

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΟΛΛΕΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ

Εισαγωγή

Η Υπολογιστική Τομογραφία Διπλής Ενέργειας (DECT) επιτρέπει την ποσοτική εκτίμηση της συγκέντρωσης υλικών στους ανθρώπινους ιστούς, παρέχοντας πληροφορίες για τη σύσταση των ιστών πέρα από τη συμβατική ανατομική απεικόνιση.

Ωστόσο, η ακρίβεια των ποσοτικών μετρήσεων ενδέχεται να επηρεάζεται από τις συνθήκες απεικόνισης και την τεχνολογία του συστήματος DECT.



«Σχηματική απεικόνιση — εκπαιδευτική προσομοίωση».

<u>Πόσο αξιόπιστες είναι οι ποσοτικές μετρήσεις που προσφέρει η DECT για παιδιατρικούς και ενήλικες ασθενείς και πως συσχετίζεται η αξιοπιστία με τη δόση;</u>

<u>Σκοπός</u>

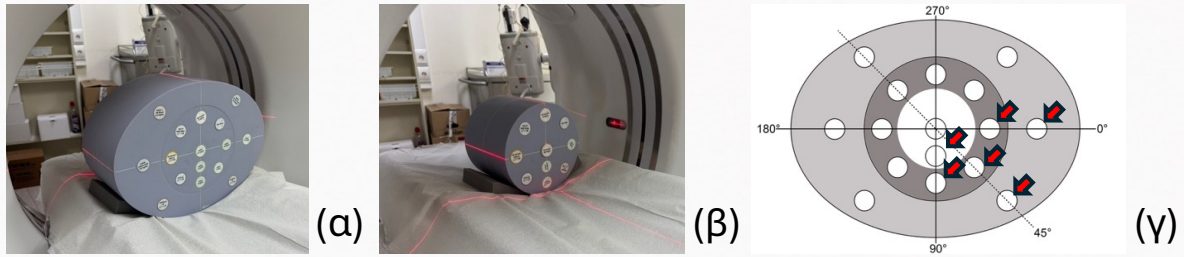
Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί:

1. Στον προσδιορισμό καμπυλών βαθμονόμησης για την ποσοτικοποίηση ιωδίου και ασβεστίου σε μαλακούς ιστούς **με ένα rapid kV-switching** και **dual-source DECT σύστημα** και
2. 2. Στη διερεύνηση της επίδρασης των **παραμέτρων σάρωσης**, του **μεγέθους του ασθενούς** και της ανατομικής θέσης μέτρησης στην ακρίβεια της ποσοτικοποίησης.

Μέθοδοι & Υλικά

❖ Χρησιμοποιήθηκαν:

1. **Ομοίωμα** κοιλίας (Sun Nuclear, Model 1472) με δύο διαμορφώσεις: (α) Μικρή διαμόρφωση: Διάμετρος 20 cm (παιδί / μικρόσωμος ενήλικας) , (β) Μεγάλη διαμόρφωση: Διαστάσεις 40 × 30 cm (μέσος ενήλικας).



Εικόνα 1: *Απεικόνιση της μεγάλης (α) και μικρής (β) διαμόρφωσης του ομοιώματος και οι έξι ανατομικές θέσεις μέτρησης (γ)*

2. **Υλικά** γνωστών συγκεντρώσεων:
(α) Ιώδιο: 0,2 - 10 mg / mL. , (β) Ασβέστιο: 5 - 200 mg / mL

3. **Συστήματα** Dual energy CT: (α) Rapid kV-switching DECT (rsDECT) (GE Revolution GSI) , (β) Dual-source DECT (dsDECT) (Siemens SOMATOM Drive)

4. **Πρωτόκολλα** σάρωσης κοιλίας: 4 στο rsDECT και 6 στο dsDECT με διαφοροποιήσεις στην δόση, το φίλτρο bow-tie και τον συνδυασμό τάσεων των λυχνιών.

❖ Αξιολογήθηκε η επίδραση των παρακάτω παραγόντων στην ποσοτικοποίηση υλικών με DECT:

- **<u>Μέγεθος ομοιώματος</u>**
  - 2 διαμορφώσεις: Μικρή και μεγάλη (Εικόνες 1α,1β)
- **<u>Ανατομική θέση μέτρησης</u>**
  - 6 διαφορετικές θέσεις (Εικόνα 1γ)
- **<u>Δόση</u>**
  - 3 επίπεδα : Χαμηλή $(\sim 9mGy)$, Μεσαία$(\sim 18mGy)$, Υψηλή $(\sim 25mGy)$
- **<u>Μέγεθος φίλτρου bow-tie</u>**
  - 2 διαφορετικά μεγέθη: Μεγάλο και Μεσαίο
- **<u>Συνδυασμός τάσεων λυχνίας</u>**
  - 3 συνδιασμοί: 80 kV /140 kV, 80 kV /140 kV +Sn, 100 kV /140 kV + Sn
  - Αποκλειστικά στο Dual-source DECT σύστημα.

❖ Δημιουργήθηκαν **καμπύλες βαθμονόμησης** μεταξύ πραγματικών και εικονικών (μετρούμενων) συγκεντρώσεων υλικού (γραμμική παλινδρόμηση).

❖ Αξιολογήθηκε η επίδραση των συνθηκών απεικόνισης μέσω της **μεταβλητότητας εικονικής συγκέντρωσης (Virtual Concentration Variation – VCV)**.

❖ **Αποδεκτό όριο** μεταβλητότητας ορίστηκε: **VCV ≥ 20%**

Αποτελέσματα

Επίδραση μελετώμενων παραγόντων στις καμπύλες βαθμονόμησης

- ✓ **Ανατομική θέση μέτρησης**: Σημαντική επίδραση, κυρίως στις χαμηλές συγκεντρώσεις υλικού. Μεγαλύτερη επίδραση στο dsDECT σύστημα.
- ✓ **Μέγεθος ομοιώματος**: Η μεγαλύτερη επίδραση στην ποσοτικοποίηση.
- ✓ **Δόση**: Δεν παρουσίασε μια ενιαία συμπεριφορά. Εξαρτήθηκε από το υλικό, το πρωτόκολλο και την τεχνολογία DECT
- ✓ **Μέγεθος bow-tie φίλτρου**: Αμελητέα επίδραση
- ✓ **Συνδυασμός τάσεων λυχνίας**: Σημαντική επίδραση στην ποσοτικοποίηση. (Αποκλειστικά στο dsDECT σύστημα)

Ιώδιο (I) — rsDECT (GE Revolution GSI)

Παράμετρος απεικόνισης	Πραγματική συγκέντρωση (mg/mL)					
	0,2	0,5	1	2	5	10
	VCV, % (Εικονική τιμή συγκέντρωσης min-max, mg/mL)					
Ανατομική θέση μέτρησης	23,7% (0,30–0,49)	14% (0,58–0,77)	8,33% (1,04–1,23)	4,67% (1,97–2,17)	2,69% (4,71–4,97)	2,22% (9,26–9,68)
Μέγεθος ομοιώματος	20,2% (0,14–0,21)	8,64% (0,42–0,50)	5,92% (0,86–0,97)	4,56% (1,75–1,92)	3,75% (4,42–4,76)	3,48% (8,86–9,50)
Ακτινική δόση	14,13% (0,34–0,45)	8,85% (0,61–0,73)	5,84% (1,07–1,20)	3,89% (1,99–2,15)	2,52% (4,75–5,00)	2,03% (9,36–9,75)
Φίλτρο bow-tie	3,23% (0,36–0,39)	1,97% (0,65–0,68)	1,28% (1,12–1,15)	0,84% (2,08–2,11)	0,53% (4,93–4,98)	0,42% (9,68–9,76)

Ιώδιο (I) — dsDECT (Siemens SOMATOM Drive)

Παράμετρος απεικόνισης	Πραγματική συγκέντρωση (mg/mL)					
	0,2	0,5	1	2	5	10
	VCV, % (Εικονική τιμή συγκέντρωσης min-max, mg/mL)					
Ανατομική θέση μέτρησης	70,5% (0,05–0,28)	25,5% (0,33–0,56)	12,3% (0,81–1,04)	5,97% (1,76–1,98)	2,25% (4,60–4,81)	1,20% (9,35–9,57)
Μέγεθος ομοιώματος	622% (−0,14–0,19)	53,3% (0,15–0,49)	22,8% (0,62–0,99)	11,9% (1,57–2,00)	6,32% (4,42–5,02)	4,59% (9,16–10,04)
Ακτινική δόση	330% (−0,17–0,32)	71,7% (0,10–0,62)	33,5% (0,56–1,12)	18,1% (1,47–2,12)	9,80% (4,20–5,11)	7,17% (8,75–10,10)
Φίλτρο bow-tie	583% (−0,04–0,05)	11,9% (0,26–0,33)	2,96% (0,76–0,81)	0,07% (1,76–1,76)	1,59% (4,60–4,75)	2,06% (9,35–9,74)
Συνδυασμός τάσεων	74,6% (0,05–0,35)	31,3% (0,33–0,64)	16,3% (0,81–1,12)	8,66% (1,76–2,09)	4,64% (4,55–4,99)	3,42% (9,18–9,83)

Ασβέστιο (Ca) — rsDECT (GE Revolution GSI)

Παράμετρος απεικόνισης	Πραγματική συγκέντρωση (mg/mL)					
	5	10	20	50	100	200
	VCV, % (Εικονική τιμή συγκέντρωσης min-max, mg/mL)					
Ανατομική θέση μέτρησης	10,6% (7,96–9,84)	7,15% (12,5–14,4)	4,57% (21,5–23,6)	2,64% (48,4–51,1)	1,87% (93,3–96,9)	1,69% (182–188)
Μέγεθος ομοιώματος	37,2% (4,25–9,30)	25,3% (8,54–14,3)	17,6% (17,1–24,4)	12,1% (42,8–54,6)	10,1% (85,7–104)	9,08% (171–206)
Ακτινική δόση	19,2% (8,36–12,3)	14% (12,9–17,1)	9,54% (22,1–26,8)	5,74% (49,6–55,6)	4,19% (95,3–103)	3,34% (187–200)
Φίλτρο bow-tie	6,46% (8,36–9,52)	4,11% (12,9–14,1)	2,26% (22,1–23,1)	0,75% (49,6–50,3)	0,16% (95,3–95,6)	0,16% (186–187)

Ασβέστιο (Ca) — dsDECT (Siemens SOMATOM Drive)

Παράμετρος απεικόνισης	Πραγματική συγκέντρωση (mg/mL)					
	5	10	20	50	100	200
	VCV, % (Εικονική τιμή συγκέντρωσης min-max, mg/mL)					
Ανατομική θέση μέτρησης	63,9% (0,59–2,68)	17,3% (5,07–7,20)	7,27% (14–16,2)	2,88% (40,9–43,3)	1,67% (85,8–88,7)	1,09% (175–179)
Μέγεθος ομοιώματος	23,3% (2,60–4,17)	12,8% (7,15–9,25)	8,86% (16,3–19,4)	6,78% (43,6–49,9)	6,13% (89,1–100)	5,81% (180–202)
Ακτινική δόση	49,4% (1,52–4,48)	20,9% (5,98–9,15)	10,7% (14,9–18,5)	5,47% (41,7–46,5)	3,84% (86,3–93,1)	3,04% (175–186)
Φίλτρο bow-tie	35,9% (2,35–4,99)	18,17% (6,88–9,94)	10,9% (15,9–19,8)	6,93% (43,1–49,6)	5,67% (88,5–99,1)	5,05% (179–198)
Συνδυασμός τάσεων	35,3% (1,12–2,35)	7,37% (5,94–6,88)	2,02% (15,3–15,9)	1,78% (43,1–44,7)	2,57% (88,5–93,1)	2,95% (179–190)

VCV ≤ 10%	Μικρή μεταβλητότητα
10% < VCV ≤ 20%	Αυξημένη μεταβλητότητα (εντός ορίου αποδοχής)
VCV > 20%	Υπέρβαση κριτηρίου αποδοχής

Συμπεράσματα

- Η ποσοτικοποίηση υλικών με DECT φαίνεται πως επηρεάζεται σημαντικά από το **μέγεθος του εξεταζόμενου**.
  - Ανάγκη για **βαθμονόμηση** προσαρμοσμένη στο μέγεθος στου εξεταζόμενου.
  - **Πιο ακριβής** ποσοτικοποίηση υλικών σε **μικρότερες διαμορφώσεις** (παιδιά / μικρόσωμοι ενήλικες)

- Για συγκεντρώσεις $\geq 2mg/mL$ ιωδίου και $\geq 10mg/mL$ ασβεστίου η επίδραση των παραγόντων φαίνεται να εξαλείφεται.
  - Ανάγκη για καμπύλες βαθμονόμησης σε μικρότερες συγκεντρώσεις.

- Η επίδραση της ακτινικής δόσης στην ποσοτικοποίηση υλικών εξαρτάται από την τεχνολογία DECT και τη συγκέντρωση του υλικού.
  - DECT δεν απαιτεί απαραίτητα υψηλά επίπεδα ακτινικής δόσης για να διατηρήσει την αξιοπιστία της.

Βιβλιογραφία

1. Jacobsen MC, Cressman ENK, Tamm EP, Baluya DL, Duan X, Cody DD, et al. Dual-Energy CT: Lower Limits of Iodine Detection and Quantification. Radiology. 2019;292(2):414–419. DOI: 10.1148/radiol.2019182870

2. Ahnfelt A, Dahlman P, Segelsjö M, Magnusson MO, Magnusson A. Accuracy of iodine quantification using dual-energy computed tomography with focus on low concentrations. Acta Radiologica. 2022;63(5):623–631. DOI: 10.1177/02841851211009462

3. Miller J, DiMaso L, Huang-Vredevoogd J, Shah J, Lawless M. Characterization of size-specific effects during dual-energy CT material decomposition of non-iodine materials. Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2021;22(12):168–176. DOI: 10.1002/acm2.13471

4. Jiang X, Yang X, Hintenlang DE, White RD. Effects of Patient Size and Radiation Dose on Iodine Quantification in Dual-Source Dual-Energy CT. Academic Radiology. 2021;28(1):96–105. DOI: 10.1016/j.acra.2019.12.027

5. Chen Y, Zhong J, Wang L, Shi X, Chang R, Fan J, et al. Multivendor Comparison of Quantification Accuracy of Iodine Concentration and Attenuation Measurements by Dual-Energy CT: A Phantom Study. American Journal of Roentgenology. 2022;219(5):827–839. DOI: 10.2214/AJR.22.27753

6. Perisinakis K, Ntouli A, Maris TG, Karantanas A. Quantification of iron in soft tissues through fast kV-switching dual-energy CT imaging: What calibration data are required? Physica Medica. 2025;133:104973. DOI: 10.1016/j.ejmp.2025.104973