



PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
ÁLTALÁNOS ORVOSTUDOMÁNYI KAR

Nukleáris medicina - kardiológiai vonatkozások

Dr. Ritter Zsombor, egyetemi
adjunktus, PTE OKK NMT

Pécs, 2026. 03. 24.



Képkötő módszerek

Anatómia

Fiziológia

Metabolizmus

Molekulák

Rtg. / CT

NM / SPECT / PET

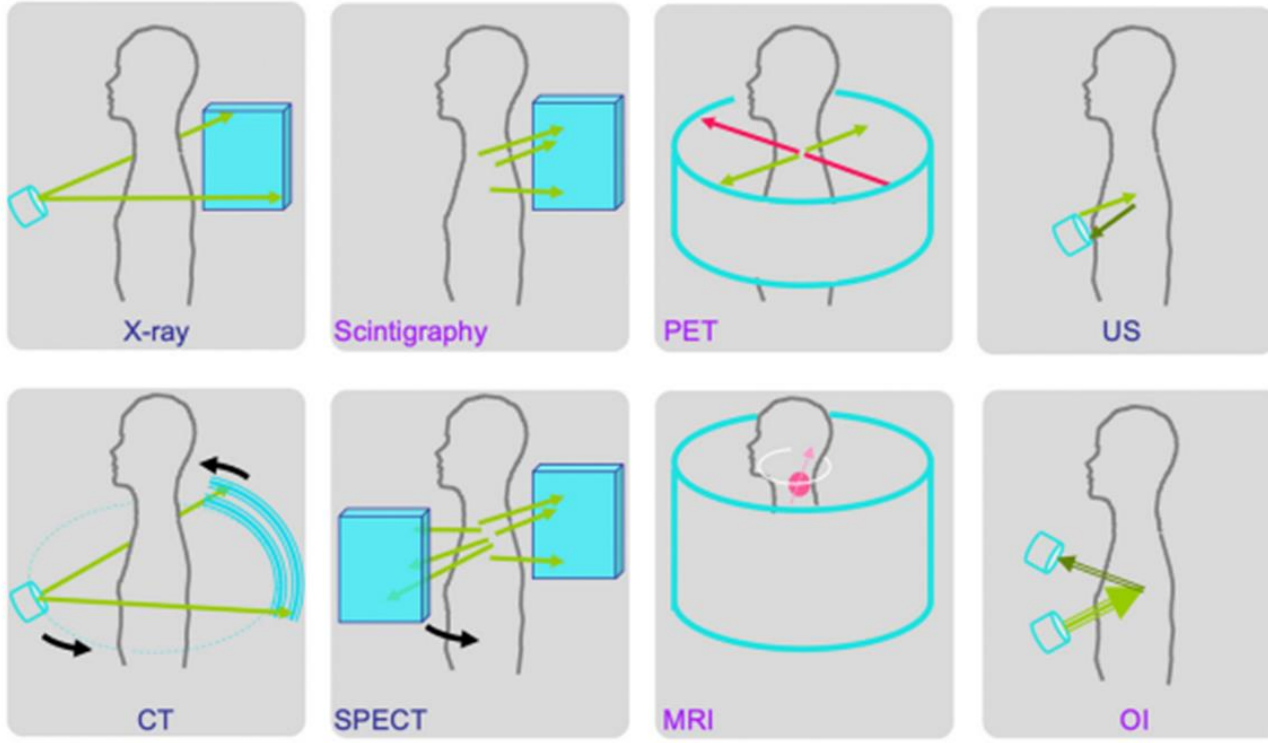
MRI

MR spektroszkópia, CEST MRI

fMRI

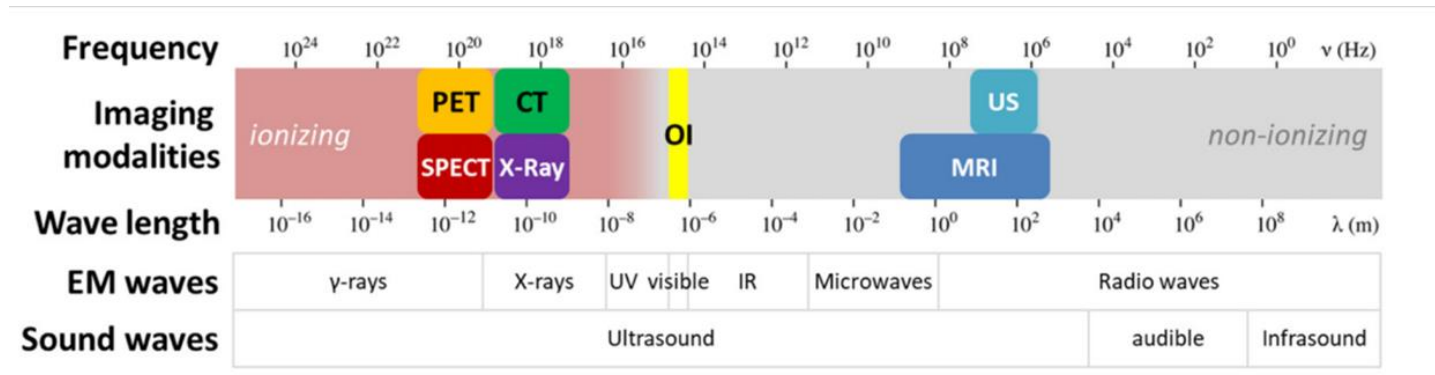
Ultrahang

Hibrid képkötés: SPECT/CT, PET/CT, PET/MRI



Structural imaging

Functional imaging



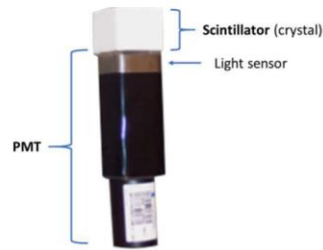
Általánosságban az izotópdiagnosztikai módszerekről

- Legtöbbször intravénásan, vagy per os, subcutan, inhaláció...
- Statikus – Várakozási idő különböző – DINAMIKUS!
- Szövődménymentesek, kockázatuk minimális
- egy adott szerv vagy szervrendszer funkcióján alapulnak
- Magas szenzitivitás, a radiofarmakontól függő specificitás!!!
- Képzés szcintillációs vagy PET detektorral
- A tapasztalt eloszlás alapján pathológiás folyamatok felismerése, lokalizálása, kezelése!!!
- Morfológiai eltérést még nem okozó betegségek észrevétele lehetséges a nukleáris medicina eszközeivel – molekuláris változások
- Pl. csont, nyirokcsomó, reziduális terime megítélése



Nagy fejlődés az eszközökben!

- Egyre gyorsabb egésztest leképezés lehetősége – kamera fejlődés! Egésztest PET, CZT kristályok–SPECT, digitális detektorok, SUV, modern rekonstrukciós technikák, stb... – új távlatokat nyithat, rövidebb szkennelési idő mellett képminőségbeli javulás



Analog detector



Digital detector

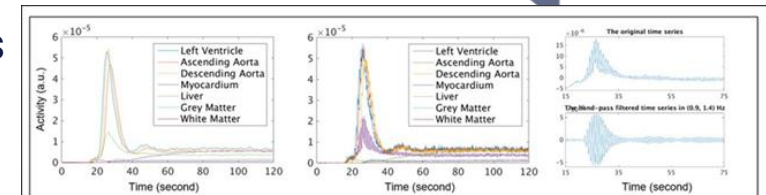
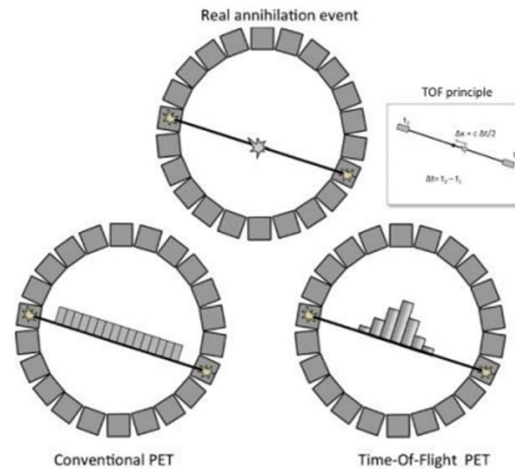


Figure 1. (left) Early dynamic (0 - 120 s) TACs from 1-s frame OSEM reconstruction on several ROIs. (middle) TACs of 0.1-s reconstruction. (right) Cardiac gating signal extracted from the myocardium TAC.

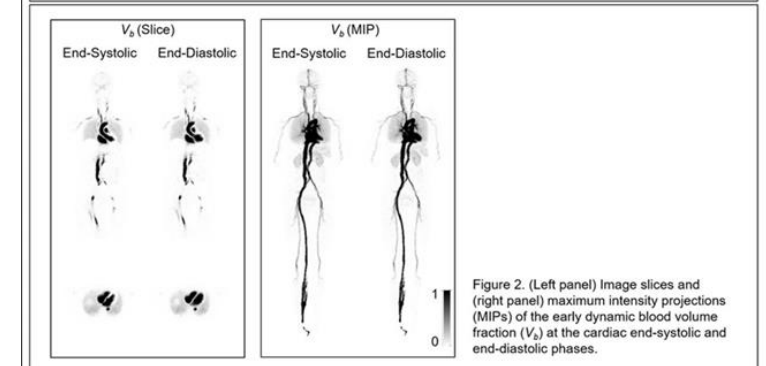


Figure 2. (Left panel) Image slices and (right panel) maximum intensity projections (MIPs) of the early dynamic blood volume fraction (V_b) at the cardiac end-systolic and end-diastolic phases.

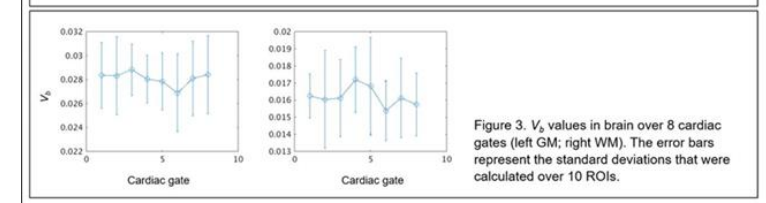


Figure 3. V_b values in brain over 8 cardiac gates (left GM; right WM). The error bars represent the standard deviations that were calculated over 10 ROIs.

Aide, N., Lasnon, C., Kesner, A. et al. New PET technologies – embracing progress and pushing the limits. Eur J Nucl Med Mol Imaging 48, 2711–2726 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05390-4>, bal oldali kép

Xuezhu Zhang et al. J Nucl Med 2021;62:54



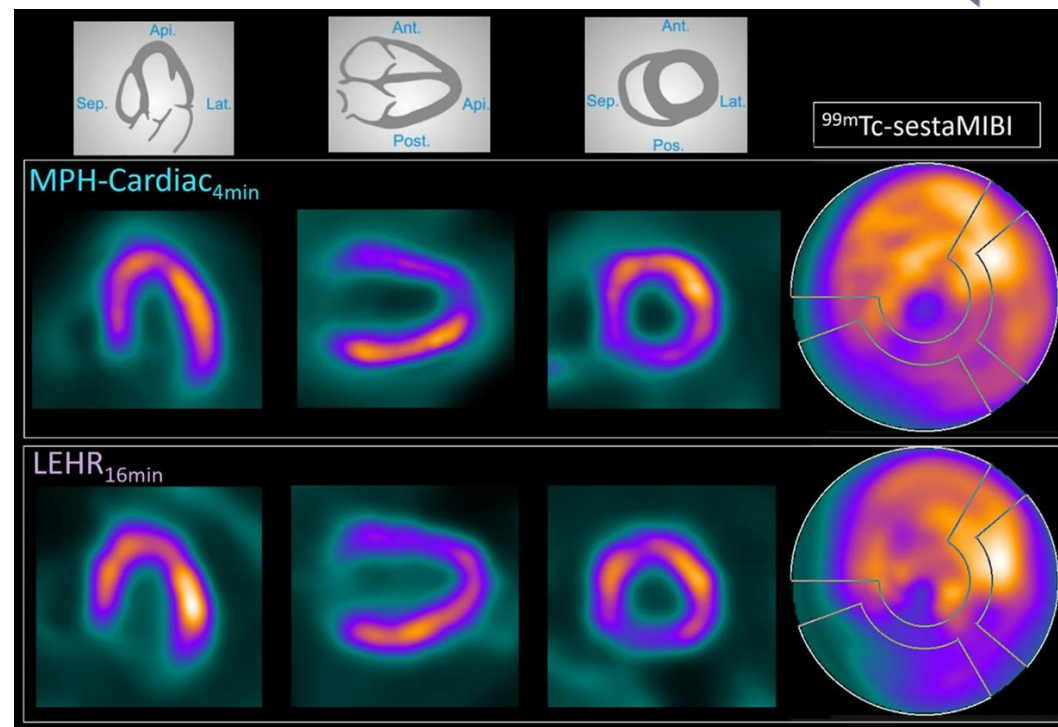
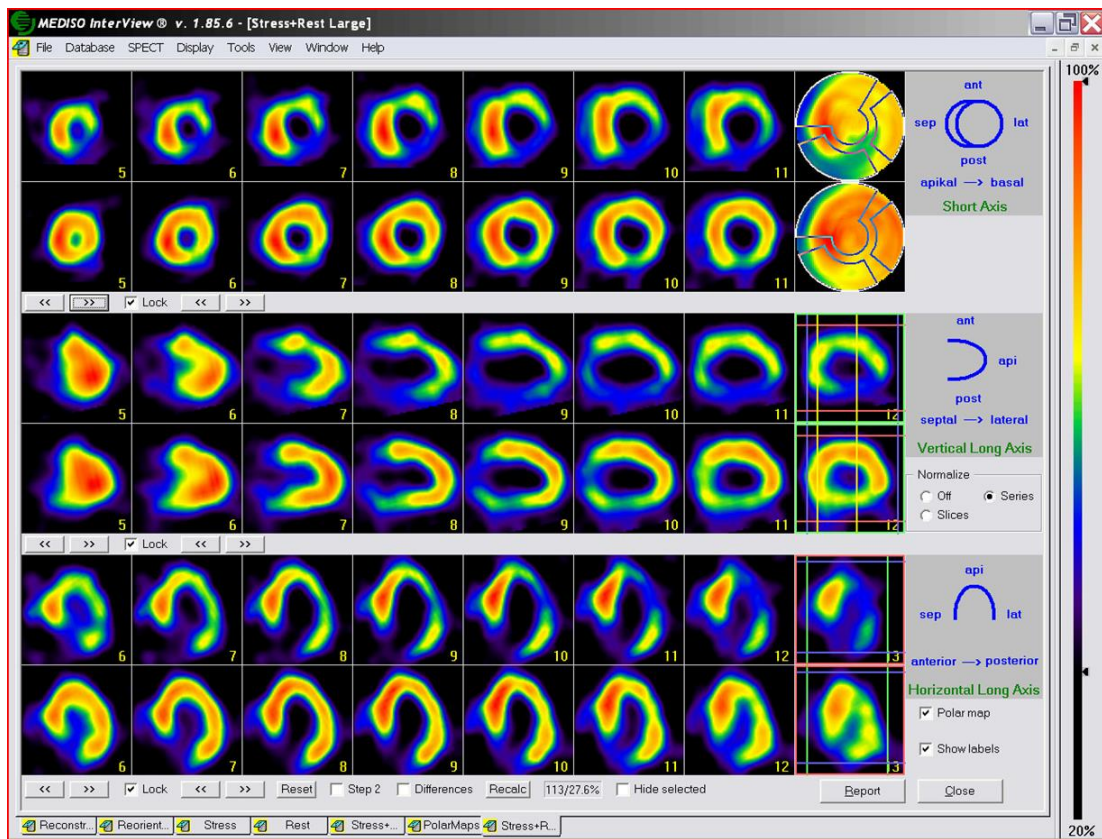
Leggyakoribb, elérhető módszerek a klinikánkon

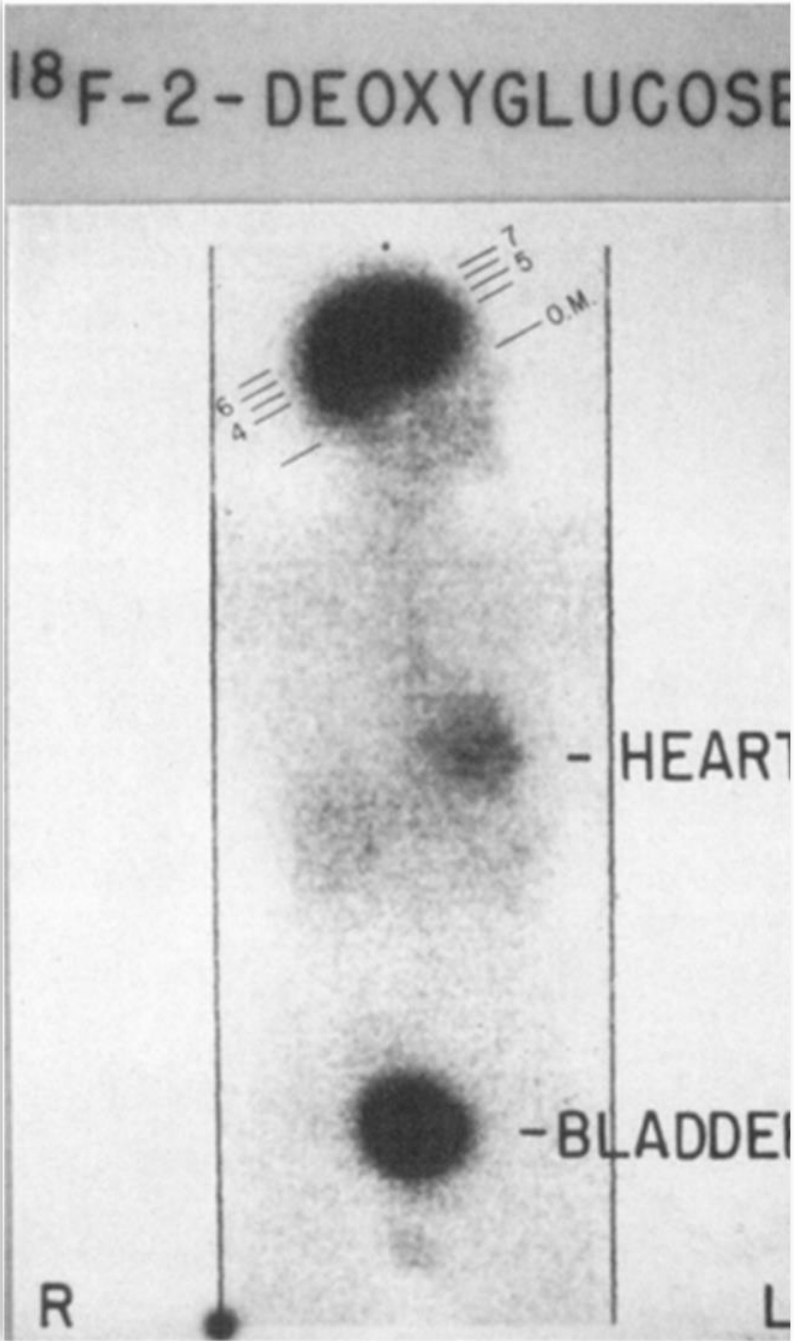
- A mai modern nukleáris medicina sokkal többre hivatott – nagy fejlődés előtt áll – teranosztika!
- **FDG-PET/CT**, PSMA-PET/CT, aminosav-PET/CT
- Csontszcintigráfia
- Radiojód kezelések (jól differenciált pajzsmirigy daganatok, hyperthyreosis)
- Forró göb diagnosztika – pajzsmirigy szcintigráfia
- Mellékpajzsmirigy adenóma keresés
- Neuroendokrin tumorok diagnosztikája és terápiája (szomatosztatin receptor vizsgálatok, MIBG) – PSMA terápia
- Veseszcintigráfia és renográfia
- Sentinel nyirokcsomó jelölés
- tüdőszcintigráfia
- Stb...
- **Szívizom perfúziós vagy viabilitás vizsgálat jelenleg minimális számban a klinikán – műszerfejlesztés, új szoftverek beszerzése a közeljövőben! Klinikai igény? Terheléses vizsgálatok?**



Nagy fejlődés az eszközökben!

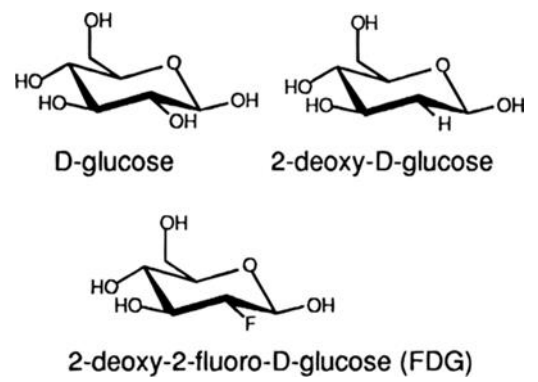
- 3 fejes kamera, MPH kollimátor, gyors leképezés vagy dóziscsökkenés, terheléses vizsgálatok visszavezetése? Gyógyszeres terhelés, klinikai preferencia, kardiológiai segítség kérdése; SPECT- szívizom különböző részeinek egymáshoz viszonyított perfúziója-relatív perfúzió





Első humán vizsgálat - FDG

- UPENN
- Henry N Wagner (Johns Hopkins University): molecule of the century



Abass Alavi and Martin Reivich: Guest Editorial: The Conception of FDG-PET Imaging Seminars in Nuclear Medicine, Vol XXXII, No 1 (January), 2002: pp 2-5

A PET/CT diagnosztika általános indikációi

- Gyulladás helye (ismeretlen eredetű láz) – FDG – előkészítés más ha szívet vizsgálunk
- Nyugalomban a myocardium sejtek fő energiaforrása a szabad zsírsavak és a glükóz – Az előkészítés nélkül végzett kardiológiai ^{18}F -FDG-PET vizsgálatok esetén komoly nehézséget okozhat a fiziológias és patológias myocardium glükóz felvétel elkülönítése – false pozitív
- vizsgálat előtti napon két alkalommal **alacsony szénhidrát** (<3g) és **magas zsírtartalmú** (>35g) étkezés, amit 4-16 órás éhezés követ opcionálisan **heparin** (50 IU/tskg) adásával kiegészítve
- **malignus folyamatok** glukóz felvétele (SUV) magas specificitás és szenzitivitás mellett szignifikáns magasabb, mint a közel háttéraktivitást mutató benignus folyamatok esetében (áttétek, angiosarcoma, rhabdomyosarcoma)

A PET/CT diagnosztika általános indikációi

- Vibilitás teszt – Viabilis myocardiumnak a celluláris funkcióra, metabolikus aktivitásra és kontraktilitásra alkalmas életképes szívizomzat – postinfarctusos, ischaemiás szívbetegségben szenvedő, csökkent balkamra funkciójú betegek

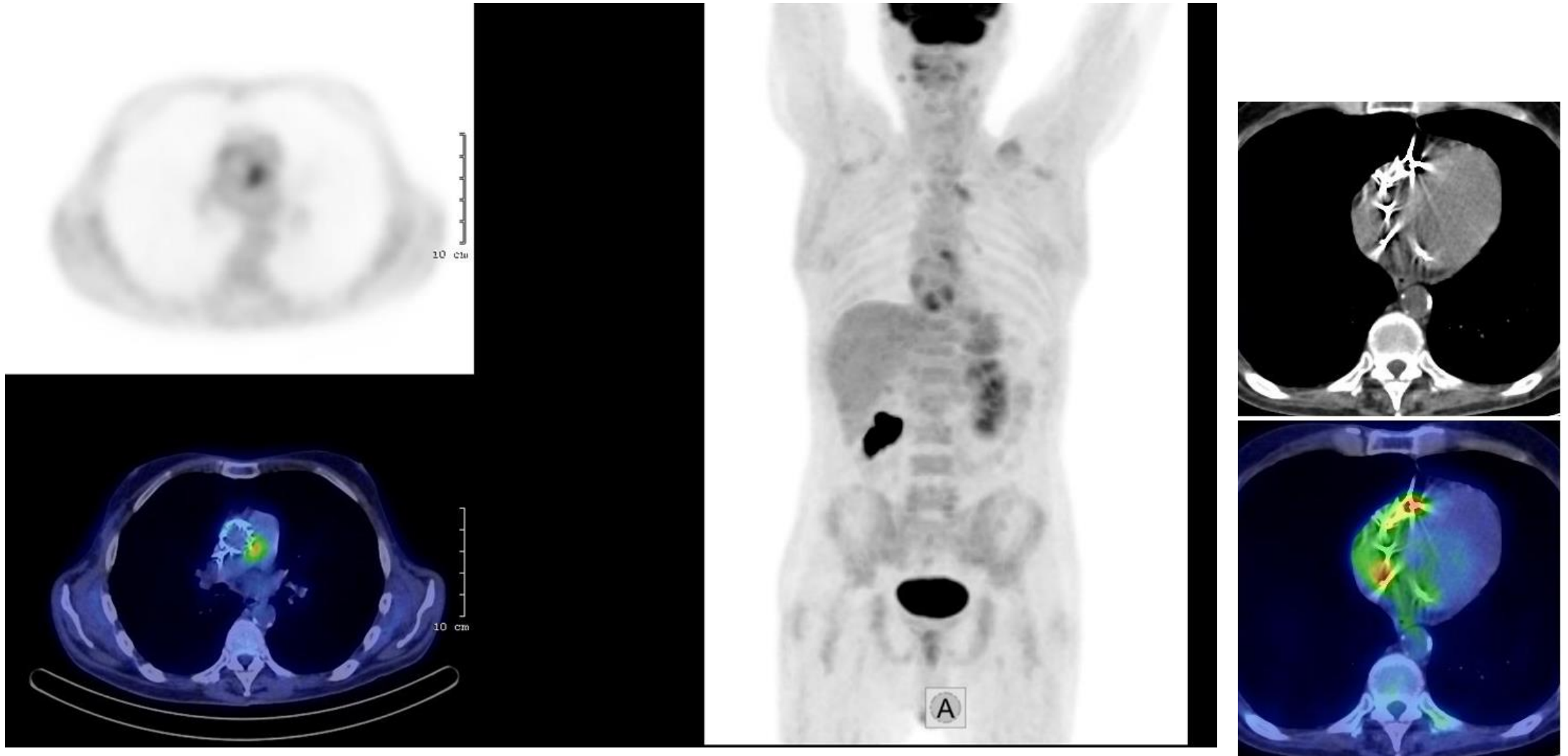
Előkészítés: Éhezést követően cukorterhelés, inzulinválasztól függően gyors hatású inzulin adása az FDG beadása előtt

- csökkent perfúzió miatt átmenetileg hibernált – intakt metabolikus aktivitás
- A vizsgálati protokoll két lépésből áll: **nyugalmi szívizom-perfúziós SPECT vizsgálat** (99mTc-tetrofoszmin, 99mTc-MIBI alkalmazásával) vagy PET de nálunk nem elérhető (3N-ammónia, F18-Flurpiridaz, 82Rubidium vagy 15O-H₂O)
- **Majd FDG-PET** – perfúziós defektus – megtartott metabolizmus?
- Alternatív módszerek **MR**, késői Ga halmozás, kontraktilitás rezerv vizsgálat



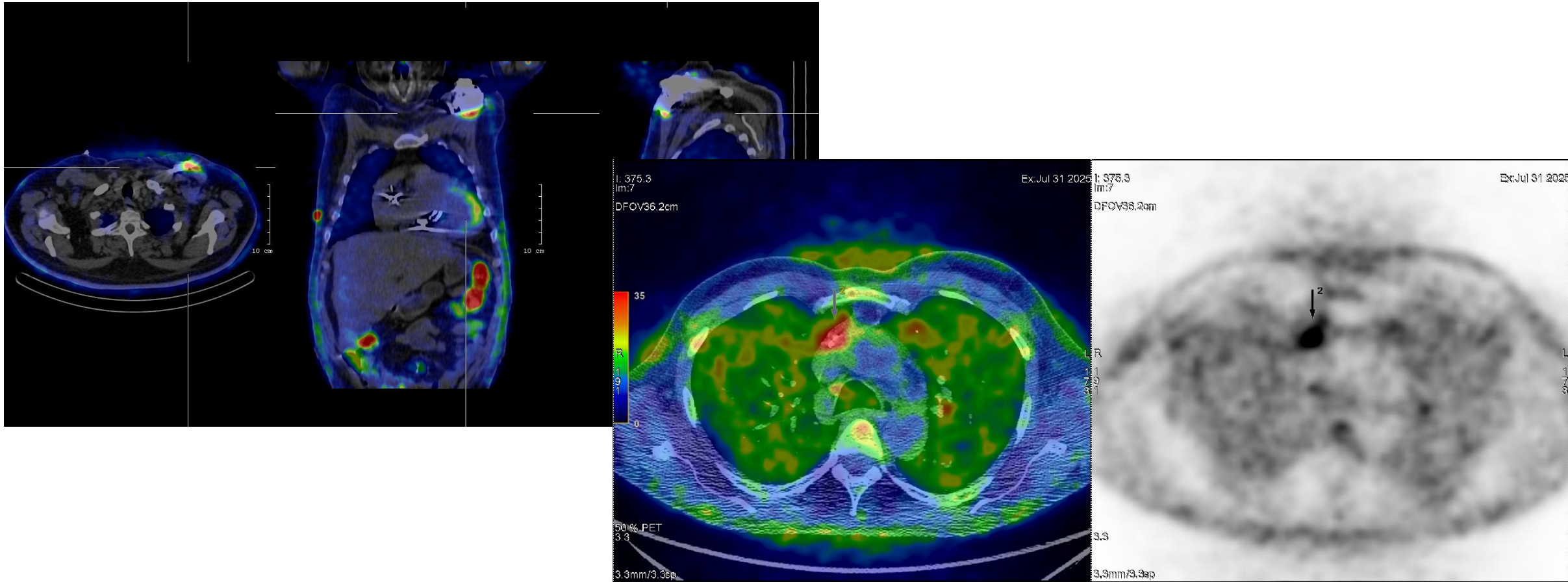
Nem csak tumor: gyulladás keresése

Infektív műbillentyű endocarditis



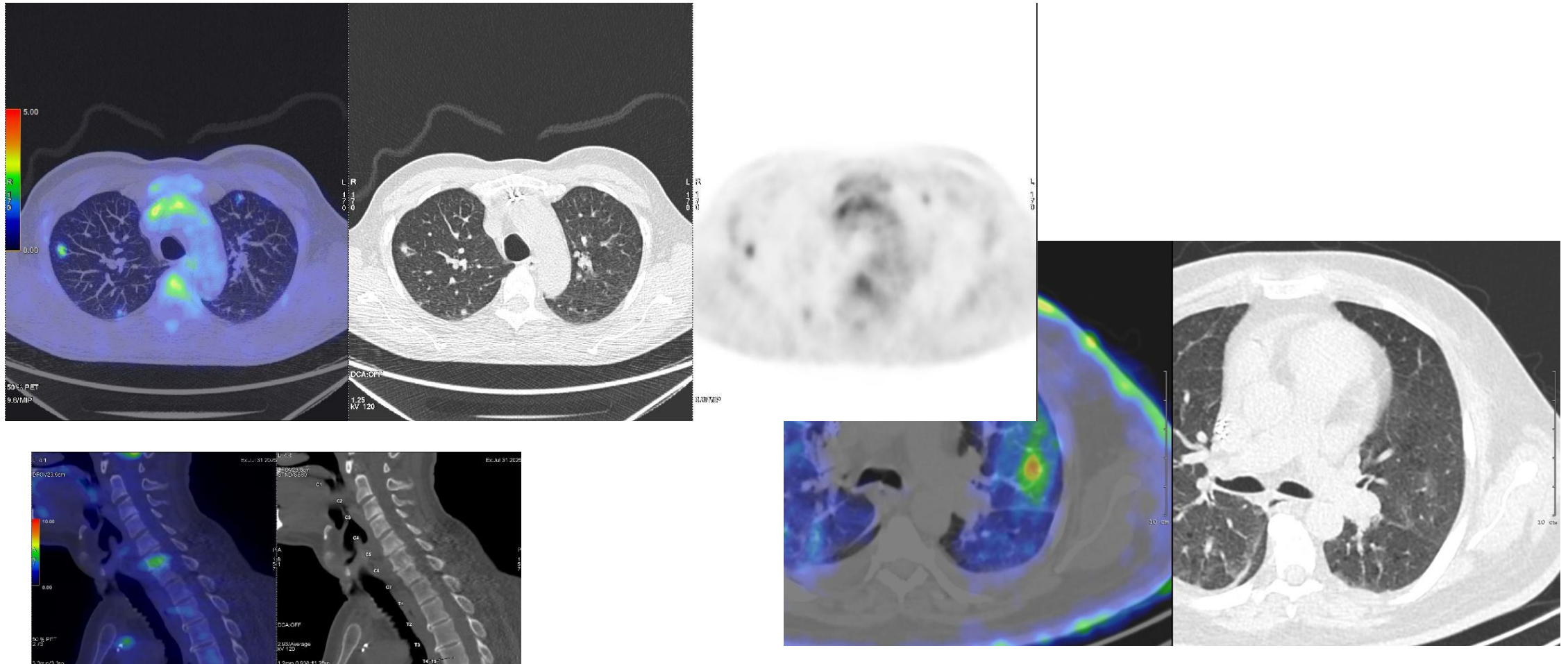
perivalvuláris metabolikus aktivitásfokozódás

pacemaker, intrakardiális defibrillátor, reszinkronizációs terápia eszköz: CIED;



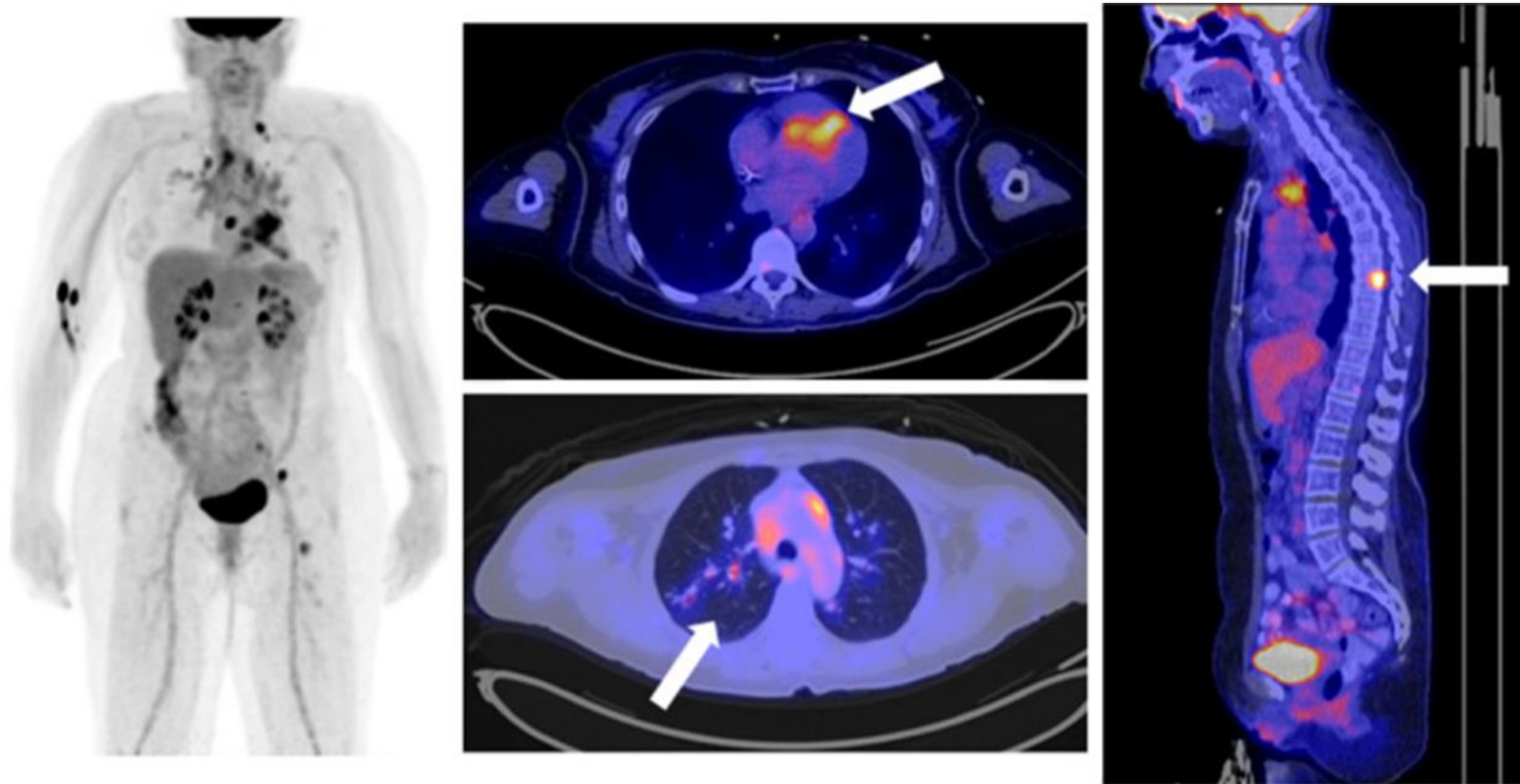
Intrakardiális, elektróda, zseb infekció? Embolizáció?

gyulladás keresése, septikus embolizáció



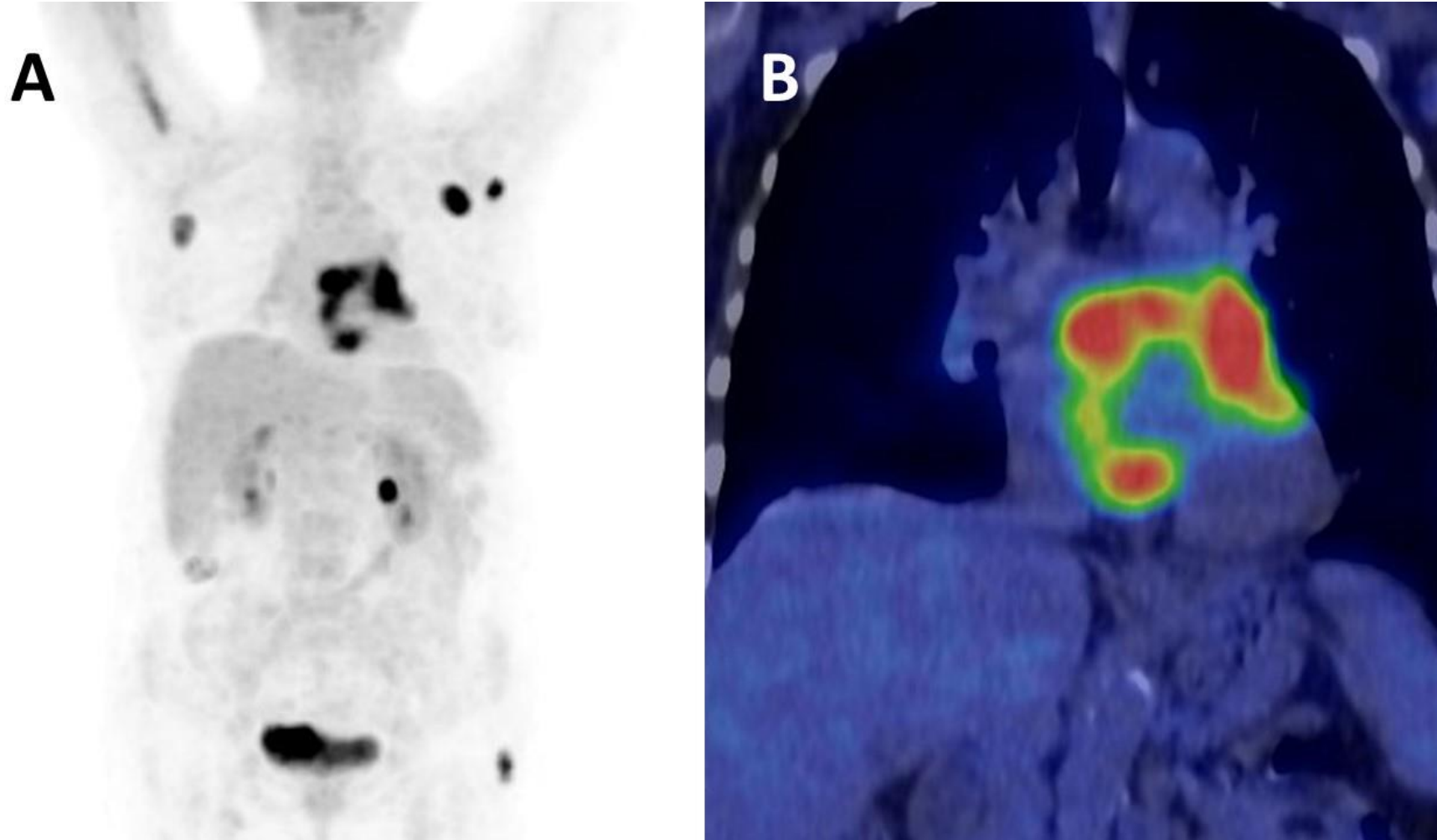
artériás embolizáció, szeptikus pulmonális infarctus?

Sarcoidosis: fokozott glükóz felvételű aktivált macrophag sejtek szaporodnak fel

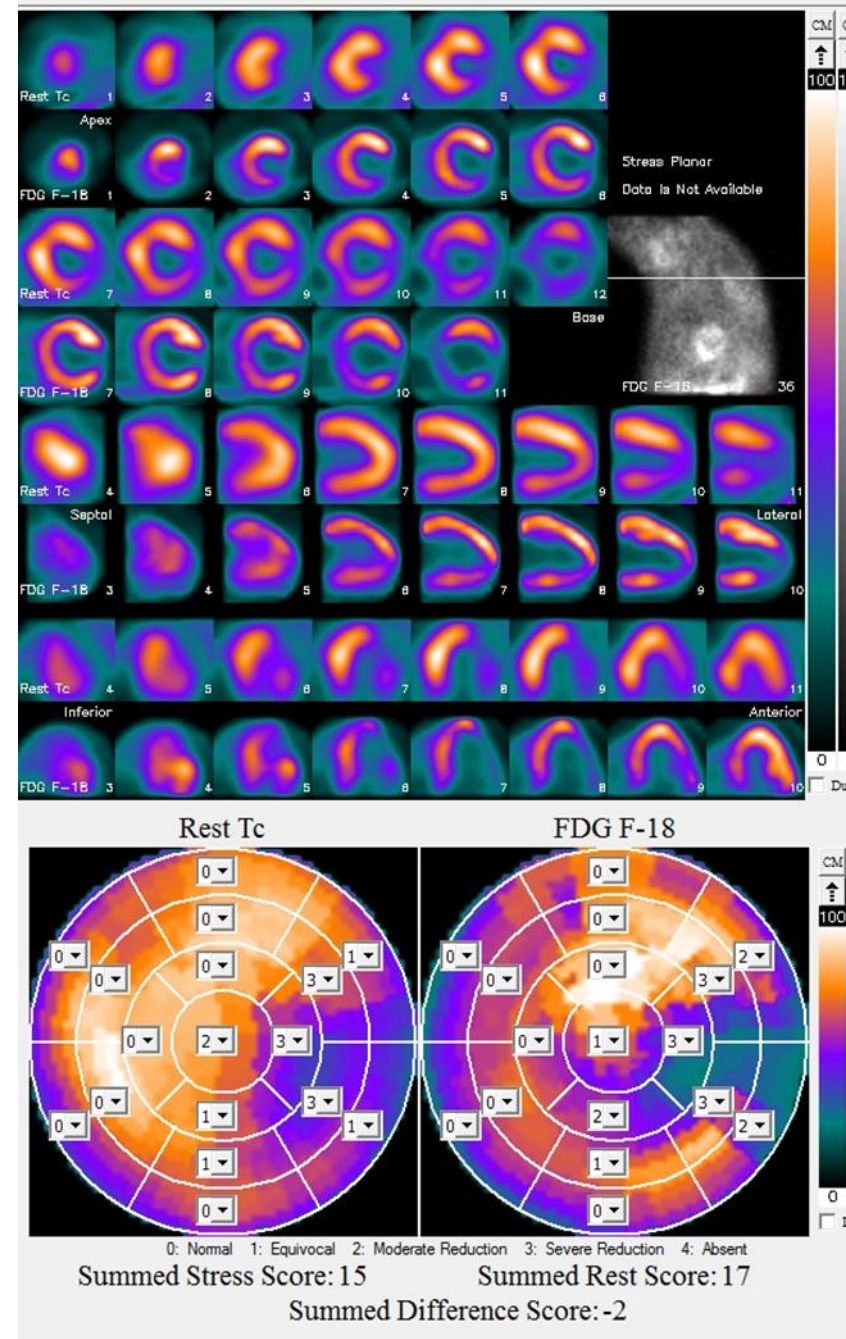
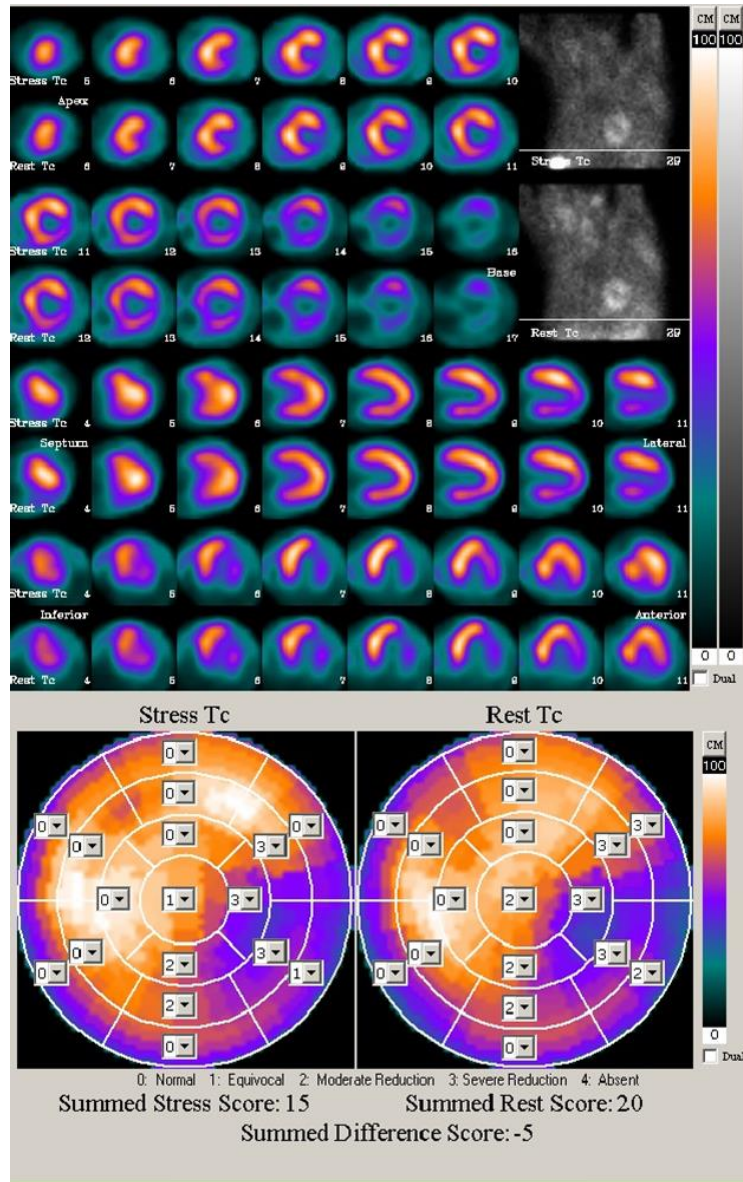


Assessing cardiovascular infection and inflammation with FDG-PET, Am J Nucl Med Mol Imaging. 2021; 11(1): 46–58.

Szívben lymphoma manifesztáció



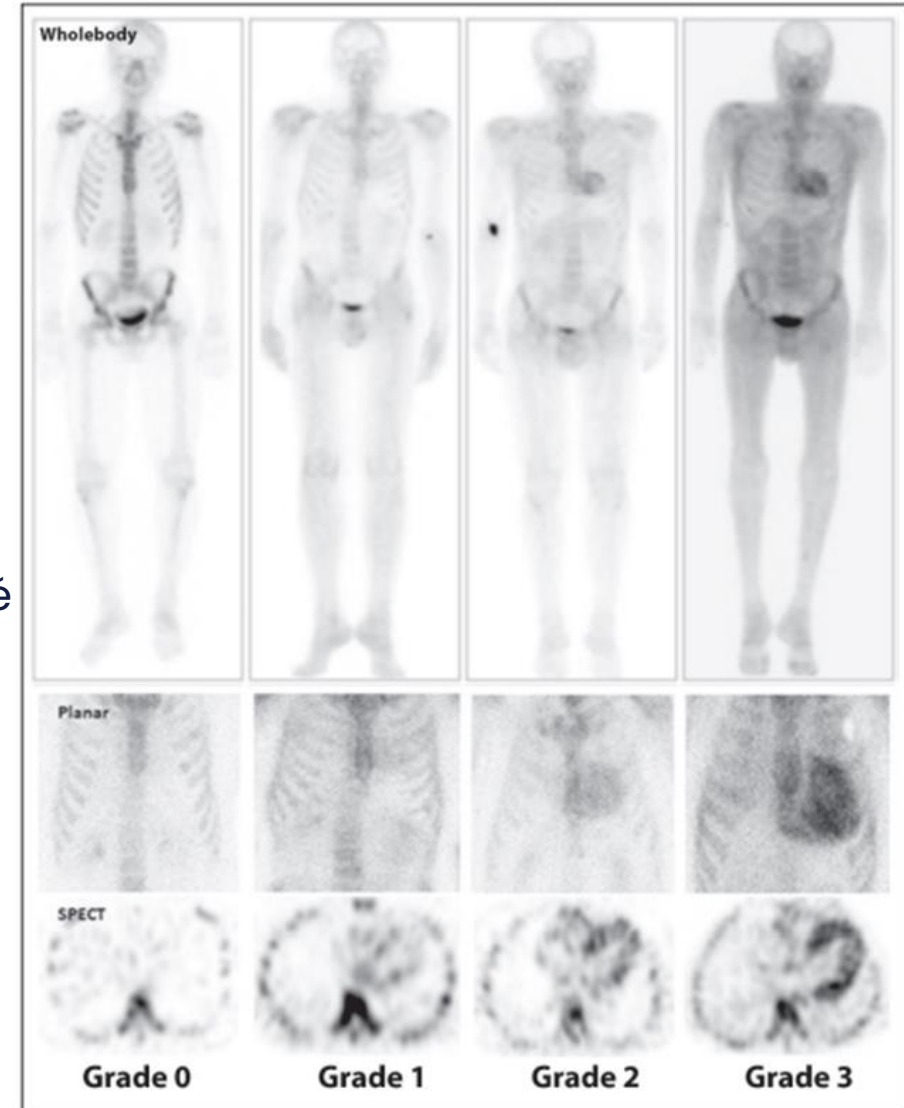
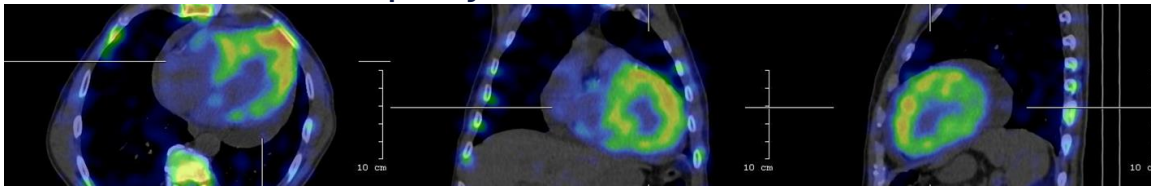
FDG viabilidad



Szívamyloidosis – nukleáris medicina

- Restriktív kardiomiopátia, Amyloid filamentumok
- Immunglobulin könnyű lánc (AL) és tranztiretin (ATTR) amyloidosis
- ATTR- genetikai háttér, vad típus
- Magyarországi prevalencia nem ismert!
- Korai diagnózis fontos: ECHO, MRI, csontszcintigráfia?

- Non - invazív, könnyen elérhető rutin diagnosztikai modalitás
- Nagy specificitással és szenzitivitással bír ATTR-CM-ben
- 1970-es évek – a csont avid tracers halmozódnak az infarktus területé
- Amyloid filamentumok: calcium mediálta kötődést feltételeznek
- Mikrokalcifikáció mértéke is szerepet játszhat a lerakódásban



1. Ruberg, F.L., et al., Transthyretin Amyloid Cardiomyopathy: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*, 2019. 73(22): p. 2872-2891. 2. ASNC AND EANM CARDIAC AMYLOIDOSIS PRACTICE POINTS, <https://www.eanm.org/content-eanm/uploads/2019/10/19110-ASNC-AND-EANM-Amyloidosis-Practice-Points-WEB.pdf>

Teranosztika – diagnosztika és terápia

Szisztémás alkalmazás: intravénás vagy orális beadást követően a radiofarmakon a célszervben (tumor) dúsul

A sejten belül

A sejt felületén

Az extracelluláris térben

alfa vs -béta sugárzás – μm vs mm

Teranosztika – Egyszerre diagnosztikus és terápiás vegyület alkalmazása

PI.:

DOTATE – NET

PSMA – prosztata

FAPI...



PET radiofarmakonok az onkológiában

- Glükóz-transzport
- Aminosav-szintézis
- Zsírsav anyagcsere
- Vérátfolyás
- Tumor-hypoxia
- DNS-szintézis analóg
- Kemokin receptor
- Enzim ligandum
- Pajzsmirigy-funkció
- Receptor expresszió
- Stb.

¹⁸F-FDG

*¹¹C-metionin, ¹⁸F-FET,
¹⁸F-DOPA*

¹¹C-acetat, ¹⁸F-cholin

¹⁵O-víz

¹⁸F-mizonidazole

¹⁸F-FLT

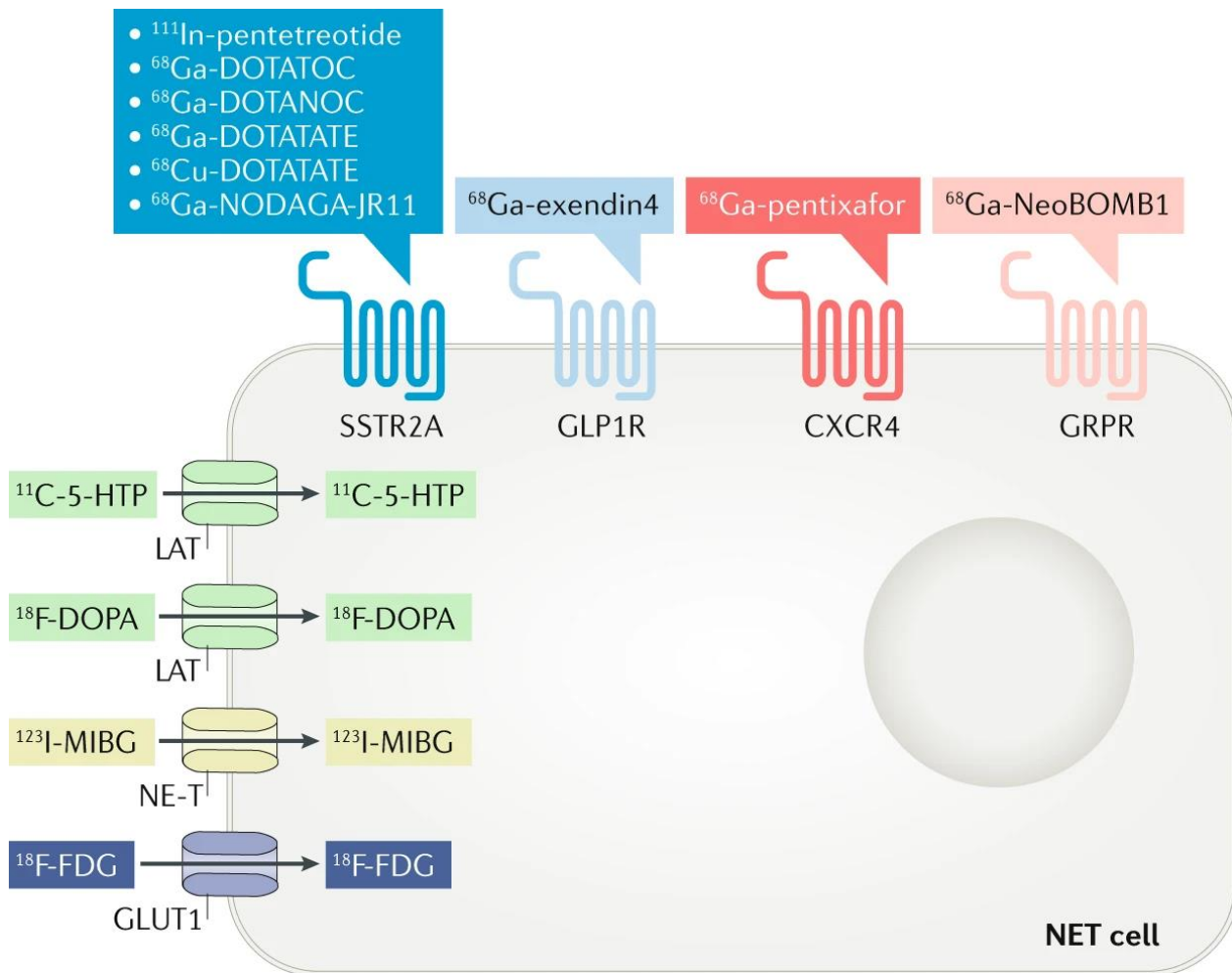
⁶⁸Ga-Pentaxifor

⁶⁸Ga-FAPI, *¹⁸F-
PSMA*

¹²⁴I

⁶⁸Ga-DOTATE, ⁶⁴Cu?

NET Képzőanyag



- ⁶⁸Ga-DOTATATE – ⁶⁴Cu – NODAGA – antagonist
- glucagon-like peptide 1 receptor – insulinoma
- CXC-chemokine receptor 4 – kérdéses a haszon GEP-NET-ben
- gastrin-releasing peptide (bombesin) – Bronchus vagy bél asszociált NET

Hofland, J., Zandee, W.T. & de Herder, W.W. Role of biomarker tests for diagnosis of neuroendocrine tumours. *Nat Rev Endocrinol* 14, 656–669 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41574-018-0082-5>

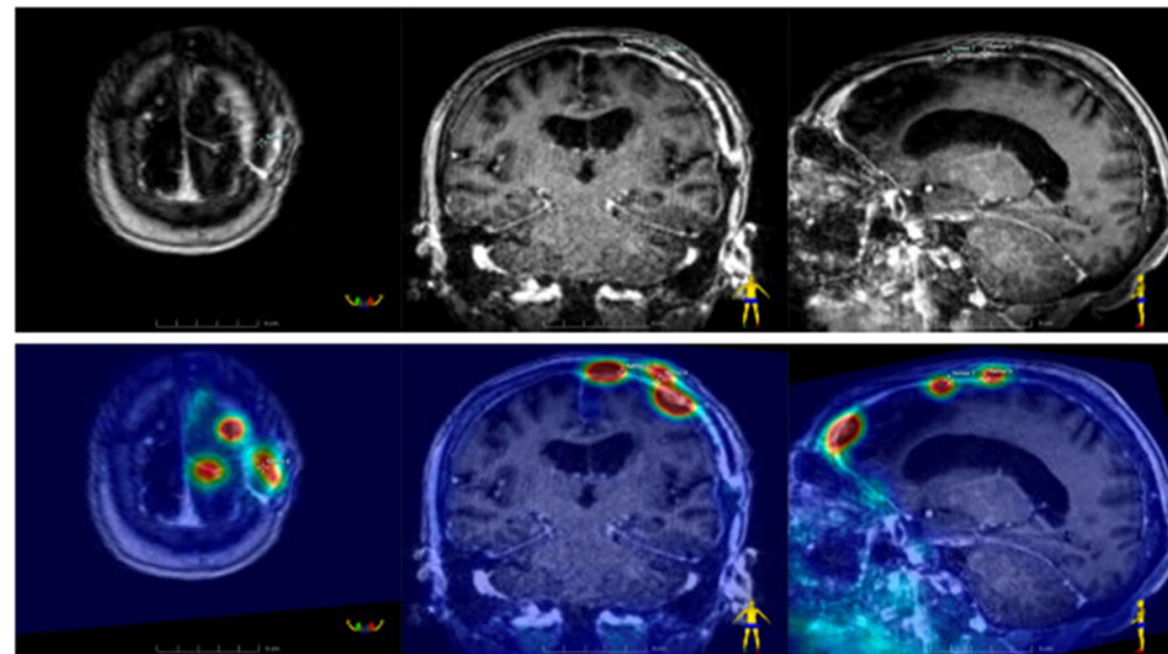


Szomatostatin receptorok

- 5 szubtípus (G-protein-coupled receptors)
 - Overexpresszió NET-ben, 2-es a leggyakoribb
 - Első in vivo alkalmazás 1989 (Krenning et.al.): [123I,Tyr3]-octreotide

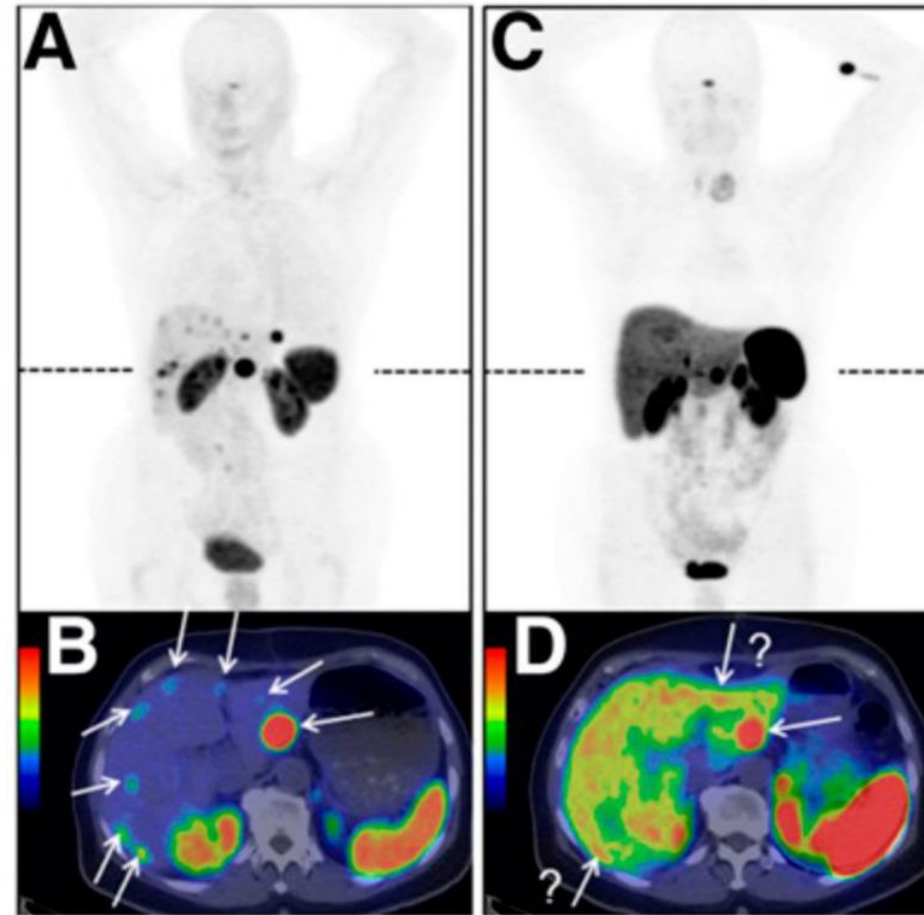
 - [111In-DTPA0]octreotide (OctreoScan) – Renalis rabszorbció,
• hepatobiliaris exréción
 - Magas szenzitivitás(75% feletti): GEP Tumors, SCLC, Paragangliomas,
• Granulomatous Disease, Meningiomas
 - Intermediate Sensitivity (40-75%): Breast Cancer, Thyroid Cancer, Neuroblastoma, Pheochromocytoma, medulláris pajszmirigy carcinoma
 - 99mTc-EDDA/HYNIC-Tyr3-Octreotide (Polatom) – hasonló szenzitivitás, specificitás az Octreoscan-hez képest – kényelmesebb a betegeknek

 - [68Ga-DOTATyr3]octreotate/toc/noc
 - **Jóval magasabb szenzitivitás (90-95%), jelentős betegút változás**
1. Somatostatin receptor-based imaging and therapy of gastroenteropancreatic neuroendocrine tumors in Endocrine-Related Cancer, Dik J Kwekkeboom et al., 2010
 2. Limitations and pitfalls of 99mTc-EDDA//HYNIC-TOC (Tektrotyd) scintigraphy I Garai, S Barna, G Nagy, A Forgács., 2016
 3. The Impact of Somatostatin Receptor-Directed PET/CT on the Management of Patients with Neuroendocrine Tumor: A Systematic Review and Meta-Analysis Journal of Nuclear Medicine May 2017, 58 (5) 756-761; DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.116.185587>
 4. Diagnostic and Theranostic Opportunities in Neuro-Oncology, Advances in Oncology, 2024 - kép



Szomatosztatin analógok – PET – terápia

- Szomatosztatin receptorhoz való affinitás
- Kiválasztás terápiára
- PET előnyök: Jobb képminőség, nagyobb felbontás, 1 órán belül leképezés, nagyobb affinitás SSTR-2 receptorokhoz
- ^{64}Cu , ^{18}F
- Antagonisták – nincs internalizáció de nagyobb kötődés?



1. Malan N, Vangu MD. Normal Variants, Pitfalls and Artifacts in Ga-68 DOTATATE PET/CT Imaging. *Front Nucl Med.* 2022 Feb 7;2:825486. doi: 10.3389/fnume.2022.825486. PMID: 39354987; PMCID: PMC11440971.
2. Eychenne R, Bouvry C, Bourgeois M, Loyer P, Benoist E, Lepareur N. Overview of Radiolabeled Somatostatin Analogs for Cancer Imaging and Therapy. *Molecules.* 2020; 25(17):4012. <https://doi.org/10.3390/molecules25174012>



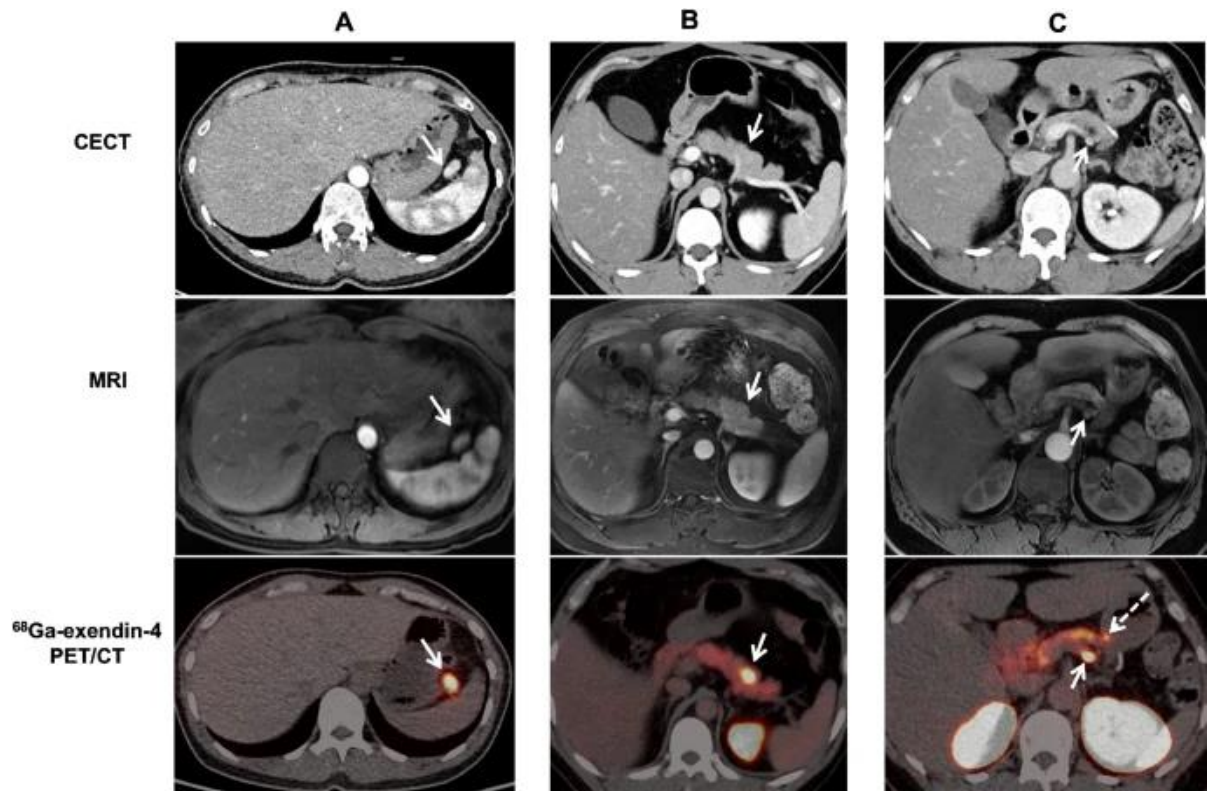
Diagnosztikus nehézségek

Lehetséges false negatív esetek:

Nem kötött szomatostatin jelenléte: octreotide terápia vagy endogén szomatostatin termelés a tumor által.

Különböző szomatostatin receptorok a tumoron, melyekhez a radioligand nem kötődik, pl.: insulinoma, medulláris pajzsmirigy carcinoma – megfelelő tracer használata – pl. glucagon-like peptide 1 receptor analóg

Isointense májattét



1. Somatostatin receptor-based imaging and therapy of gastroenteropancreatic neuroendocrine tumors in Endocrine-Related Cancer Authors: Dik J Kwekkeboom et al., 2010
2. Zhang, H., Pan, Q., Liu, S. et al. Glucagon-like peptide-1 receptor PET/CT with ⁶⁸Ga-exendin-4 for localizing insulinoma: a real-world, single-center study. Eur J Nucl Med Mol Imaging (2025). <https://doi.org/10.1007/s00259-025-07298-9>

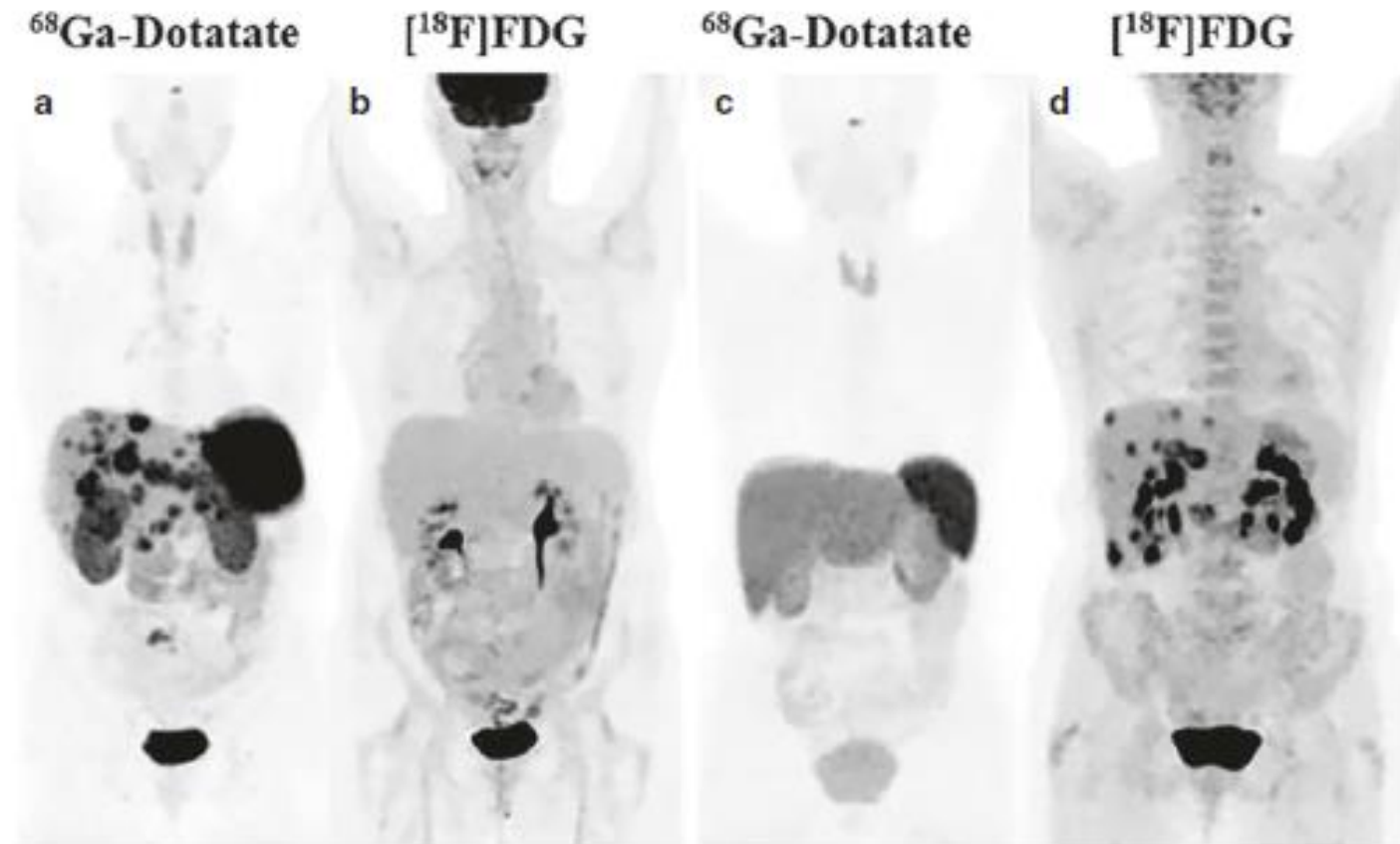
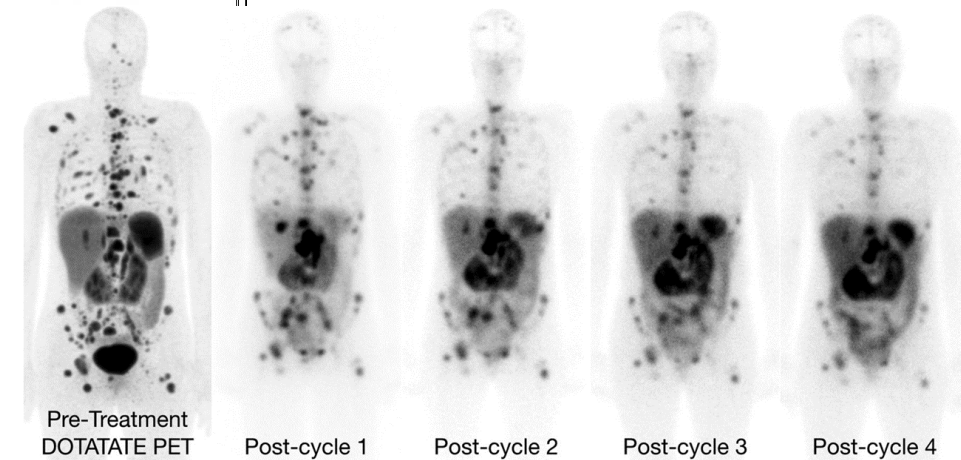
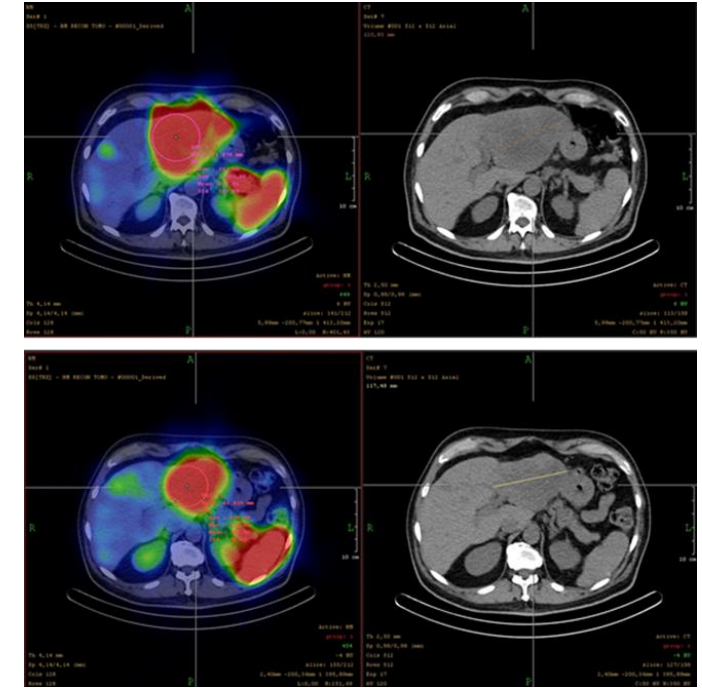
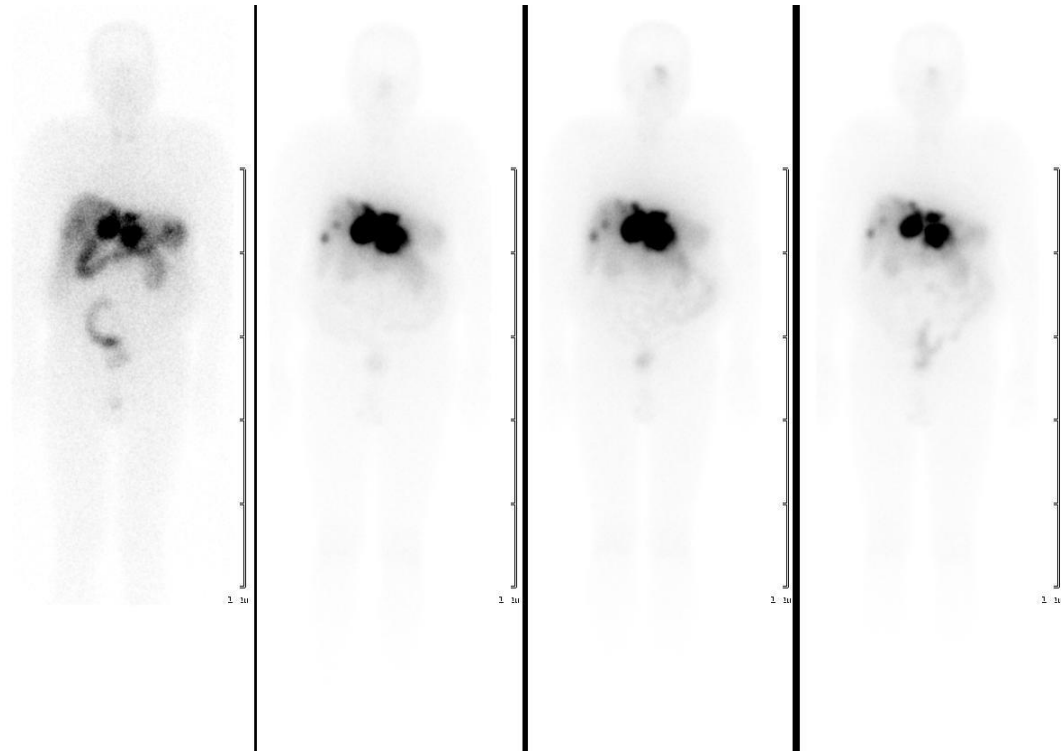


Fig. 14.29 Patterns of ^{68}Ga -Dotatate-PET and ^{18}F FDG-PET in NETs. In the first patient (**a, b**) with grade 1 (Ki-67 <1%) well-differentiated NET), the scans demonstrate SSTR-positive and FDG-negative phenotype, while in the

second patient (**c, d**) with a poorly differentiated grade 3 NET (Ki-67, 70%), the scans demonstrate SSTR-negative and FDG-positive phenotype (From [206])

A kezelés már elérhető a PTE-n

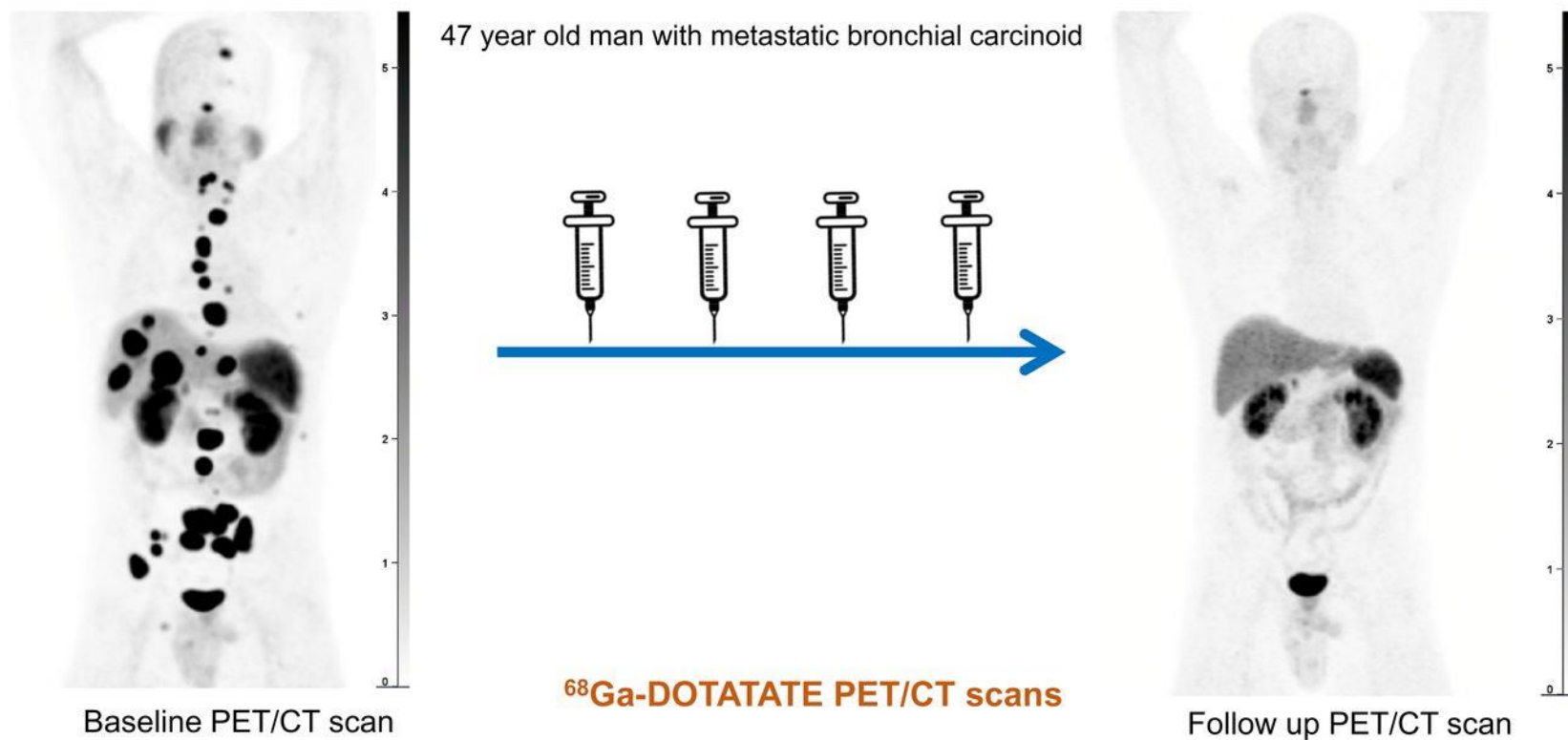


Első terápia: 2022. augusztus 18., 2022-2024: 15 beteg kezelése történt meg
PTE KK I. sz. Belgyógyászati Klinika Endokrinológia Osztályával szoros együttműködés (Prof. Dr. Mezősi Emese)

Whole-body images acquired after administration of ^{177}Lu -DOTATATE in different therapy cycles. Thomas A. Hope et al. J Nucl Med 2019;60:937-943



Phase 1 clinical trial of Alpha particle PRRT with ^{212}Pb -DOTAMTATE



Ebrahim S. Delpassand et al. J Nucl Med 2022;63:1326-1333

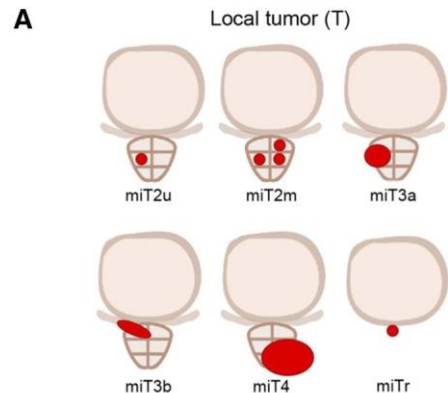
Enzim ligandumok – PSMA

- PSMA transmembrán-glycoprotein, glutamát karbopeptidáz 2
- Elsőként Johns Hopkins Egyetem – előállítás preklinikum
- [68 Ga]Ga-PSMA-11 – Heidelberg – legtöbb evidencia
- Nemcsak prosztatata tumor expresszálja, pl.: emlő vagy vesesejtes rák
- Neovaszkuarizáció!
- 68Ga-PSMA-11 – 18F-DCFPyL – 18F-PSMA-1007 (utóbbi a vizelettel kevésbé választódik ki, benignus csont uptake!), 99mTc-mal is jelölhető
- Fluoclovine és Choline PET-hez képest jobb eredmények a diagnosztika kapcsán

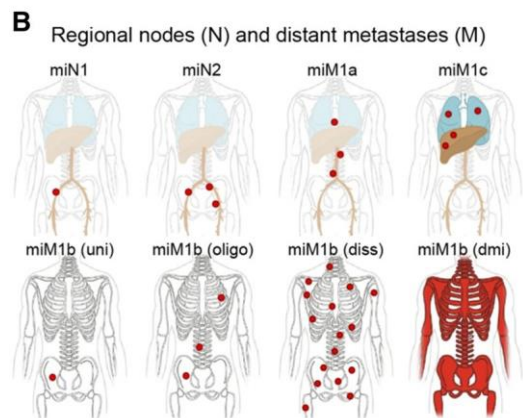
Schweiger, L., Virgolini, I. A short review on the current status of PSMA ligands used for PSMA-PET/CT imaging. *memo* 18, 248–251 (2025). <https://doi.org/10.1007/s12254-025-01043-6>



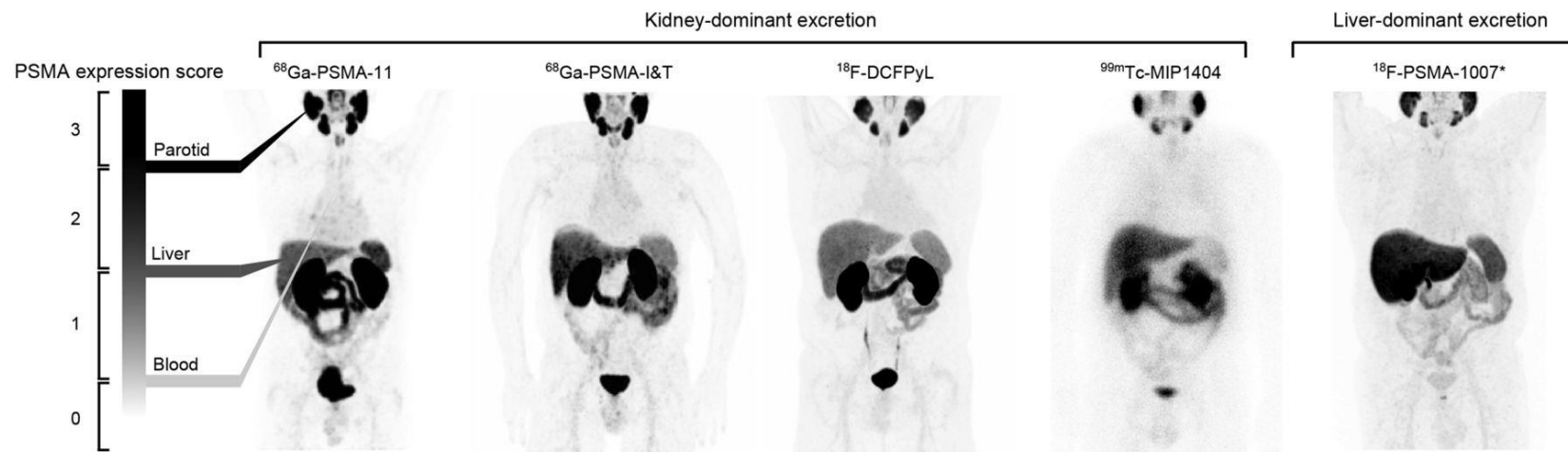
Leletezés – EANM



- E-PSMA
- Promise
- EANM Delphi consensus
- Visual SCORE!
- Molecular imaging iTNM!

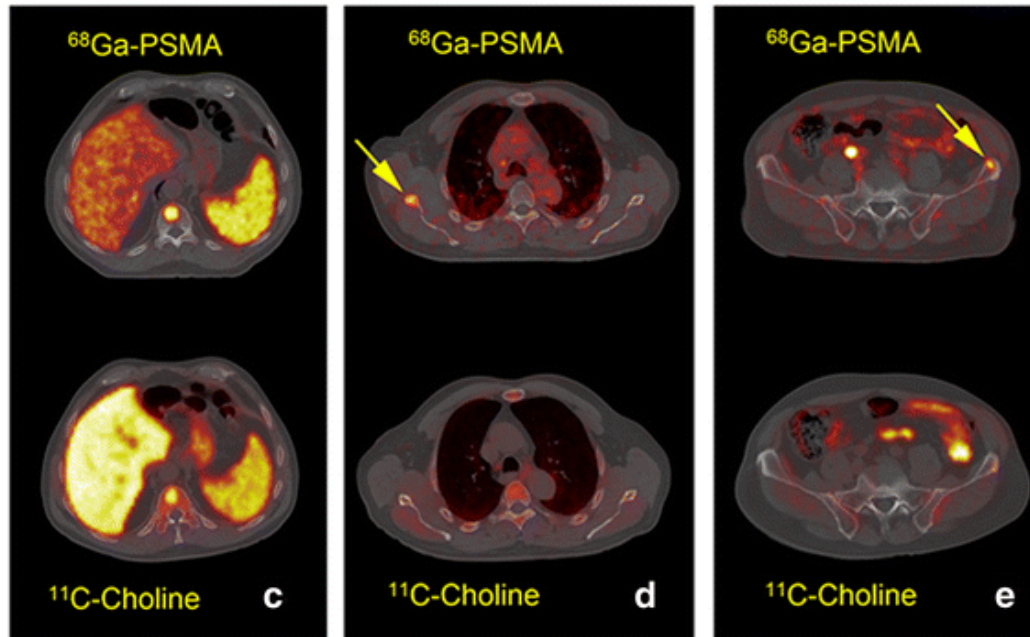
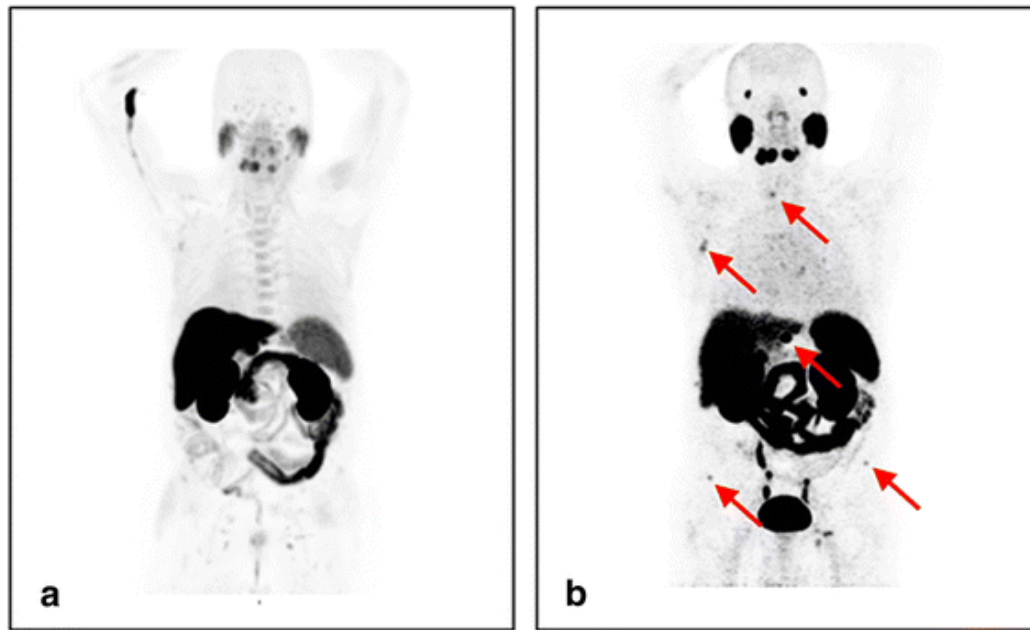


Local tumor (T)	
miT0	No local tumor
miT2	Organ-confined tumor
miT3a	Non-organ-confined tumor (extracapsular extension)
miT3b	Non-organ-confined tumor (seminal vesicles invasion)
miT4	Tumor invading adjacent structures (other than seminal vesicles)
miTr	Presence of local recurrence after radical prostatectomy
Regional nodes (N)	
miN0	No positive regional lymph nodes
miN1	Positive regional lymph nodes
Distant metastases (M)	
miM0	No distant metastases
miM1a	Extra-pelvic lymph nodes
miM1b	Bone metastasis
miM1c	Non-nodal visceral metastasis: report involved organ(s)



1. Journal of Nuclear Medicine March 2018, 59 (3) 469–478; DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.117.198119>
2. Ceci, F., Oprea-Lager, D.E., Emmett, L. et al. E-PSMA: the EANM standardized reporting guidelines v1.0 for PSMA-PET. Eur J Nucl Med Mol Imaging 48, 1626–1638 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00259-021-05245-y>

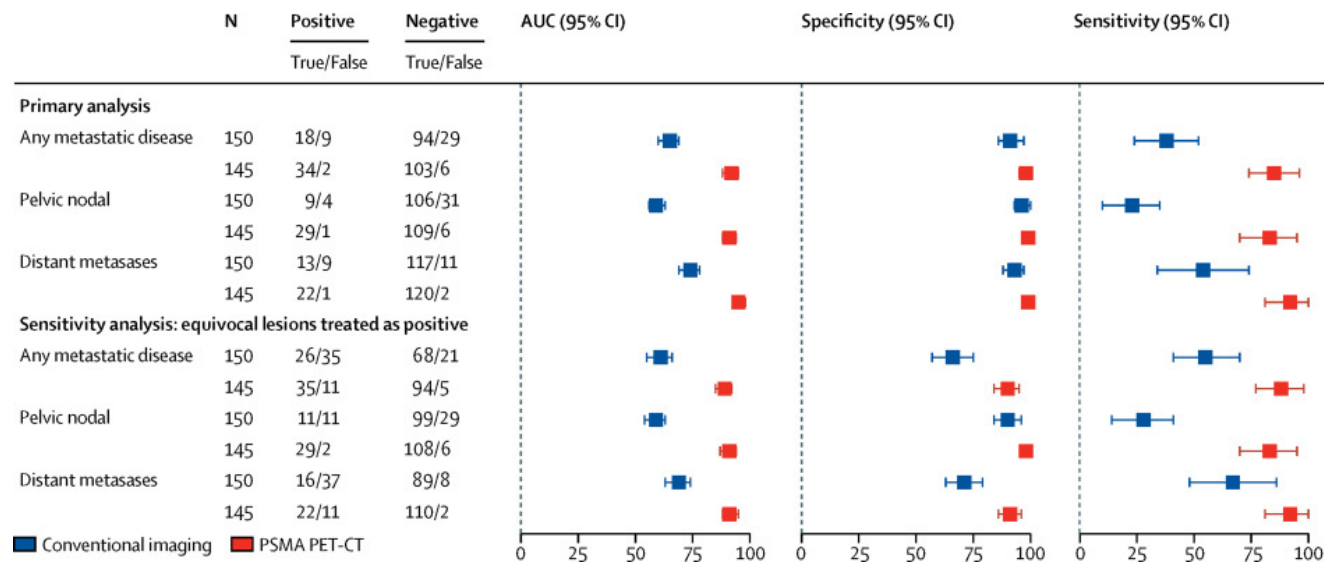




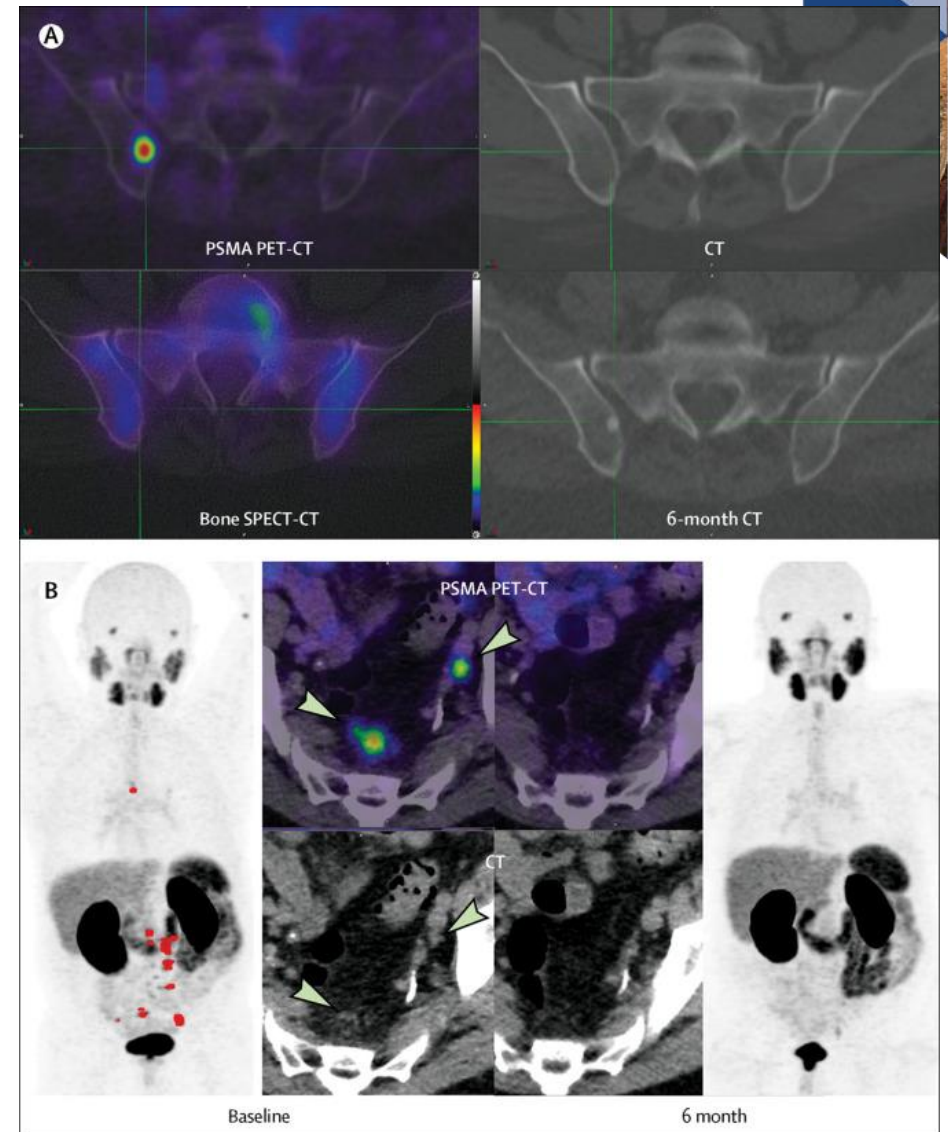
Omar Alonso et al. ^{68}Ga -PSMA and ^{11}C -Choline comparison using a tri-modality PET/CT-MRI (3.0 T) system with a dedicated shuttle, *European Journal of Hybrid Imaging* volume 2, Article number: 9 (2018)

STAGING

- Beválasztási kritériumok: PSA 20 ng/mL vagy több International Society of Urology (ISUP) grade group 3–5 vagy stage T3 vagy rosszabb

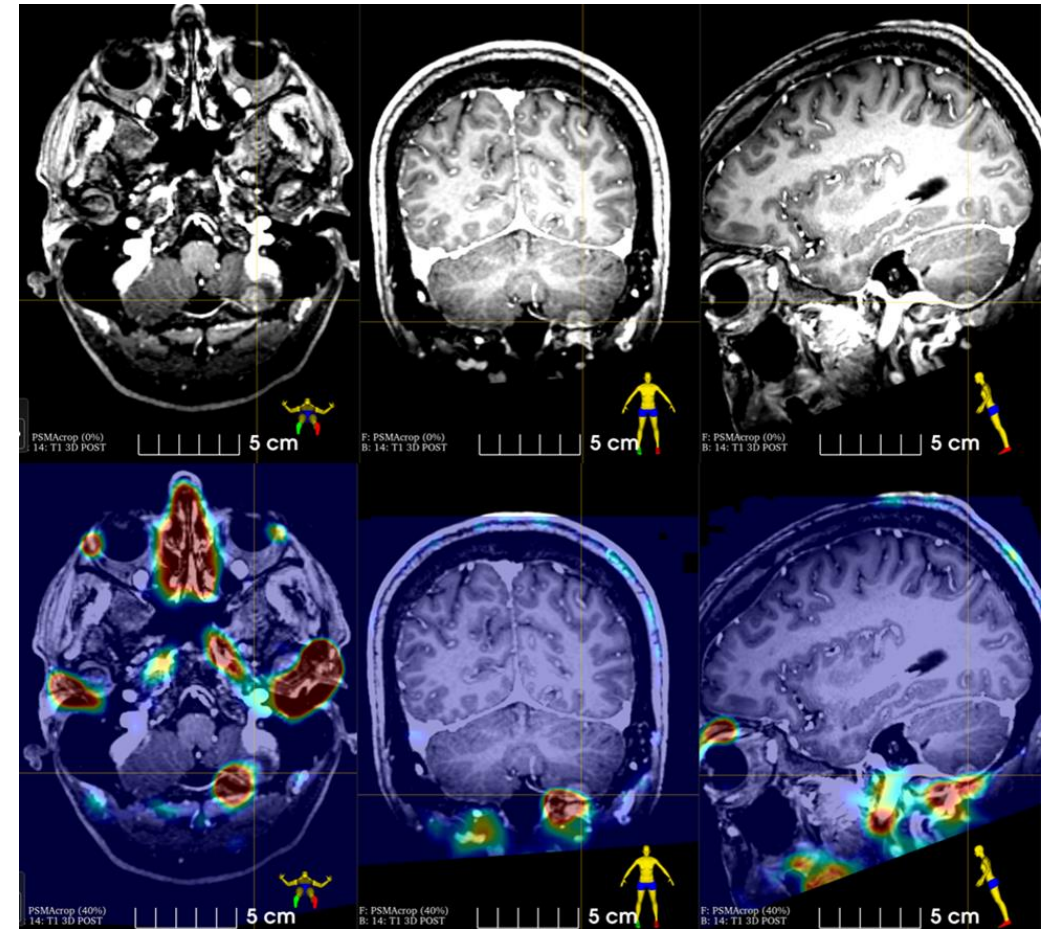


- High risk betegeknél PSMA PET-CT jobban teljesít mint a konvencionális CT csontszcintigráfiával kombinálva
- 27% greater accuracy



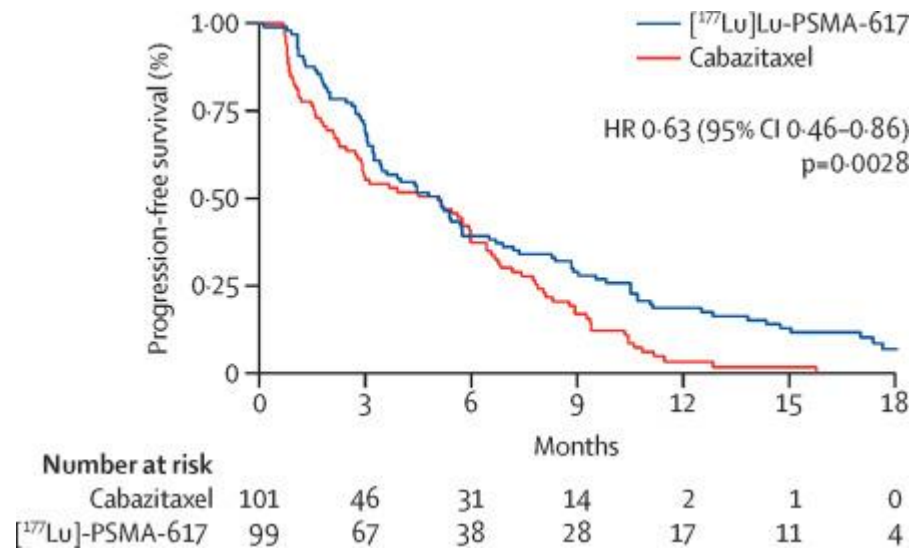
Prostate-specific membrane antigen PET-CT in patients with high-risk prostate cancer before curative-intent surgery or radiotherapy (proPSMA): a prospective, randomised, multicentre study Hofman, Michael S et al. The Lancet, Volume 395, Issue 10231, 1208 - 1216

Csontszcintigráfia vs PSMA vizsgálat



Első kép: Wietske I. Luining et al., Targeting PSMA Revolutionizes the Role of Nuclear Medicine in Diagnosis and Treatment of Prostate Cancer, *Cancers* 2022, 14(5), 1169; <https://doi.org/10.3390/cancers14051169>

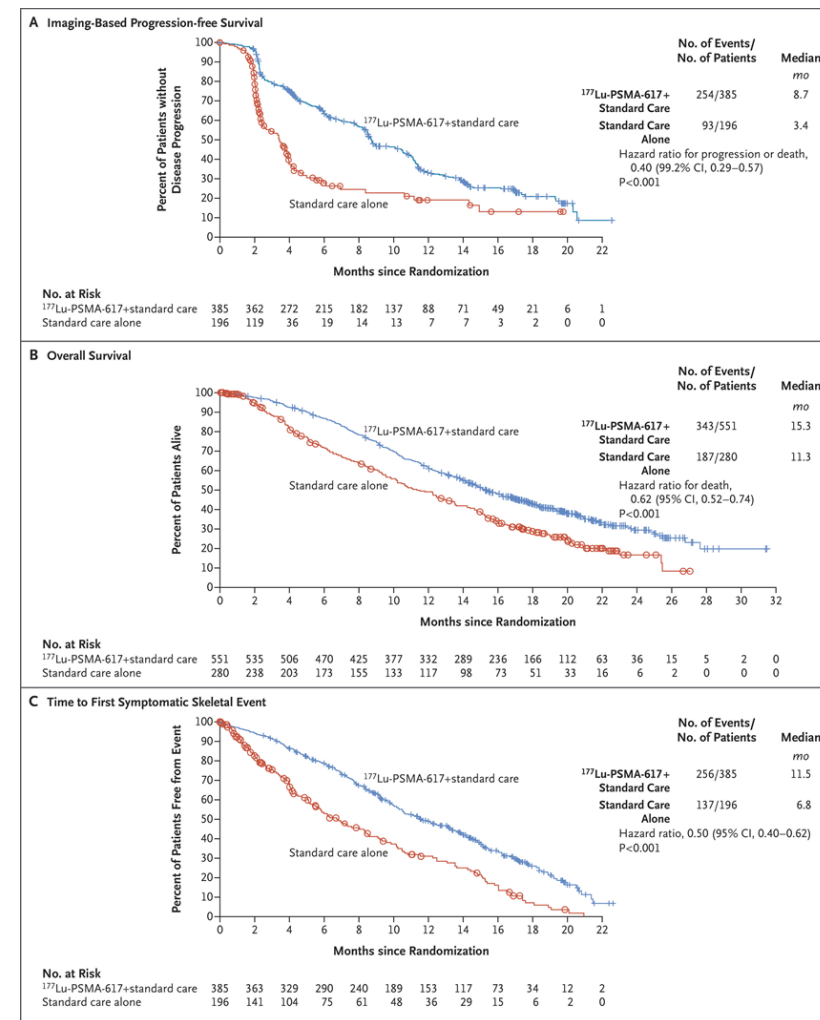
TERÁPIA



Terápia: ¹⁷⁷Lu-PSMA, ²²⁵Ac-PSMA (Actinium-225), ²¹²Pb

¹⁷⁷Lu-PSMA (TheraP, Vision, PSMAfore, SPLASH, ECLIPSE, ENZA-p, LuTectomy – phase II-III trials)

Actinium-225-PSMA a jövőben!



- Sartor O, de Bono J, Chi KN, Fizazi K, Herrmann K, Rahbar K, et al. Lutetium-177-PSMA-617 for metastatic castration-resistant prostate cancer. *N Engl J Med.* 2021;385(12):1091-1103. doi: 10.1056/NEJMoa2107322.
- Hofman MS, Emmett L, Sandhu S, Iravani A, Joshua AM, Goh JC, et al. [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 versus cabazitaxel in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer (TheraP): a randomised, open-label, phase 2 trial. *Lancet.* 2021;397(10276):797-804. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00237-3.



Terápia – válasz leérése PSMA-PET/CT-vel

Criteria	Definition
PPP	
PD	1. Volume increase of any metastasis $\geq 30\%$ and consistent clinical/lab data Or 2. Two or more new PSMA-positive lesions Or 3. One new PSMA-positive lesion and consistent clinical/lab data
Non-PD	All other
RECIP	
PD	Total tumor volume increase $\geq 20\%$ and new lesions
PR	Total tumor volume decrease $\geq 30\%$ without new lesions
CR	Absence of any PSMA uptake on PET
SD	All other

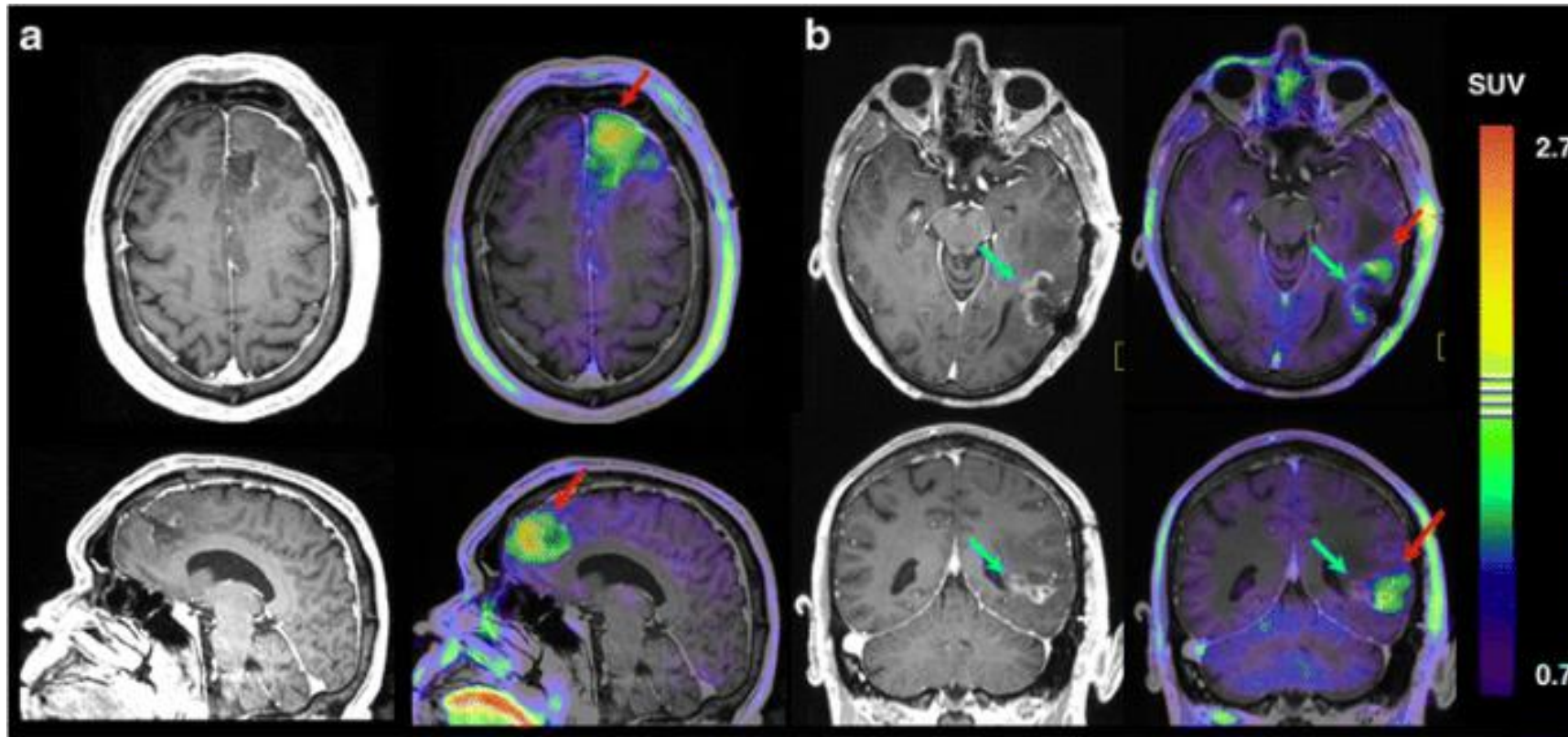
1. Daniel Groener et al. Salvage Radioligand Therapy with Repeated Cycles of ^{177}Lu -PSMA-617 in Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer with Diffuse Bone Marrow Involvement, *Cancers* 2021, 13(16), 4017; <https://doi.org/10.3390/cancers13164017>
2. Robert Seifert et. al. Second Version of the Prostate Cancer Molecular Imaging Standardized Evaluation Framework Including Response Evaluation for Clinical Trials (PROMISE V2), *European Urology*, Volume 83, Issue 5, 2023, Pages 405-412, ISSN 0302-2838, <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2023.02.002>.

FET-PET, C11-Metionin

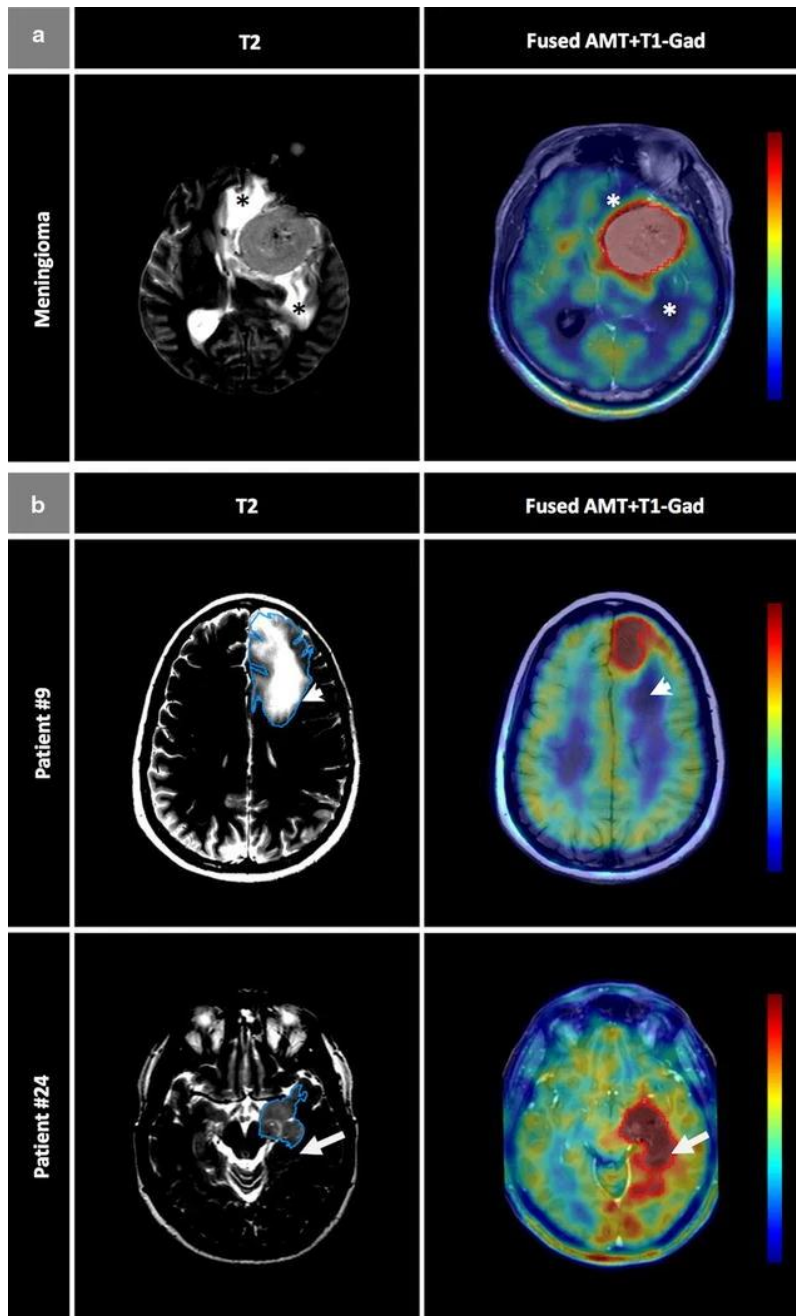
- ^{18}F -fluoro-ethyl-tyrosine, ^{11}C -methylnmethionine
- Felvétel: L-amino acid transporters LAT 1, LAT 2, and LAT 3 – fokozott expresszió gliomákban
- Radioterápia:
- PTV (planning target volume) = GTV (gross tumor volume), ezt pontosítja BTV (biological target volume) + CTV (clinical target volume) + elmozdulásból adódó és naponkénti beállítási pontatlanságból adódó hibák, biztonsági zóna



FET-PET pontosítja az MR-n látott eltéréseket



Sidsel Højklint Poulsen et al., The prognostic value of FET PET at radiotherapy planning in newly diagnosed glioblastoma, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* volume 44, pages373–381 (2017)



Aminósav PET jelentősége agytumороkban

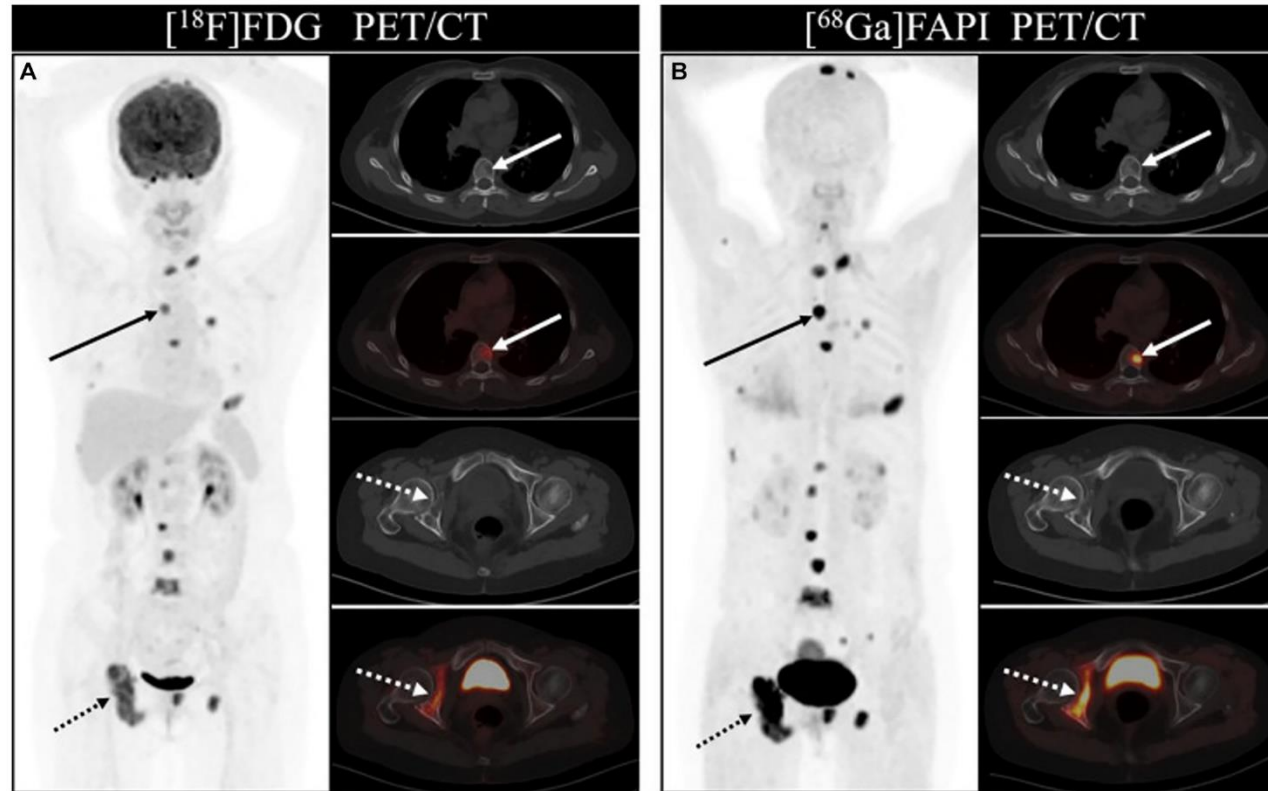
- Triptofán PET
- Agytumороk vizsgálata – kinin-urenin metabolikus útvonal!
- (Epilepszia góc kimutatás – szerotonin prekursor)

Kamson D. et al. Tryptophan PET in pretreatment delineation of newly-diagnosed gliomas: MRI and histopathologic correlates. 2013 Journal of Neuro-Oncology

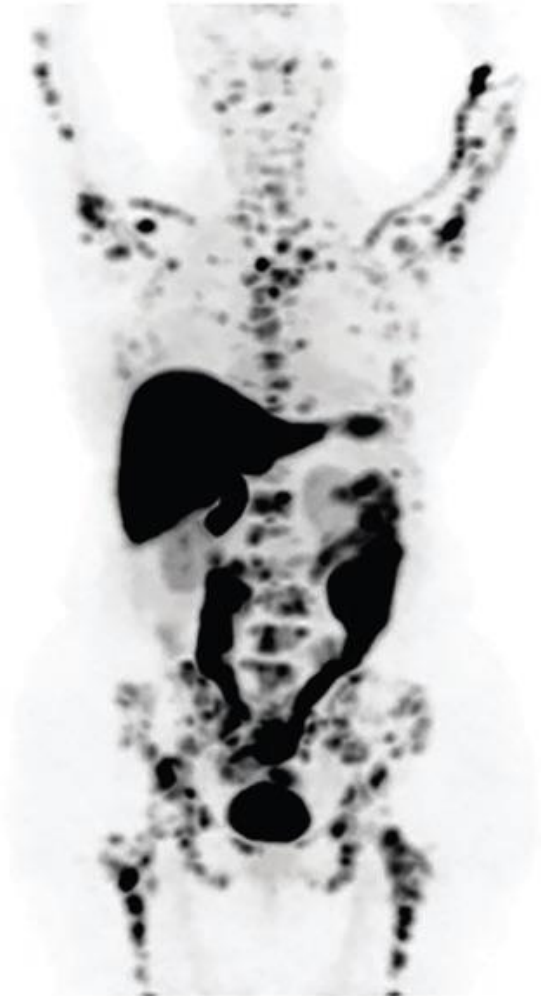
FAPI-PET

- Nem onkológiai betegségekben is dúsulhat:
- Gyulladásos területek, arthritis, degeneratív csontbetegségek, autoimmun betegségek, tüdőfibrosis, atherosclerosis

Molecular imaging in oncology: Current impact and future directions



[¹⁸F]FES-PET



[¹⁸F]FDG-PET

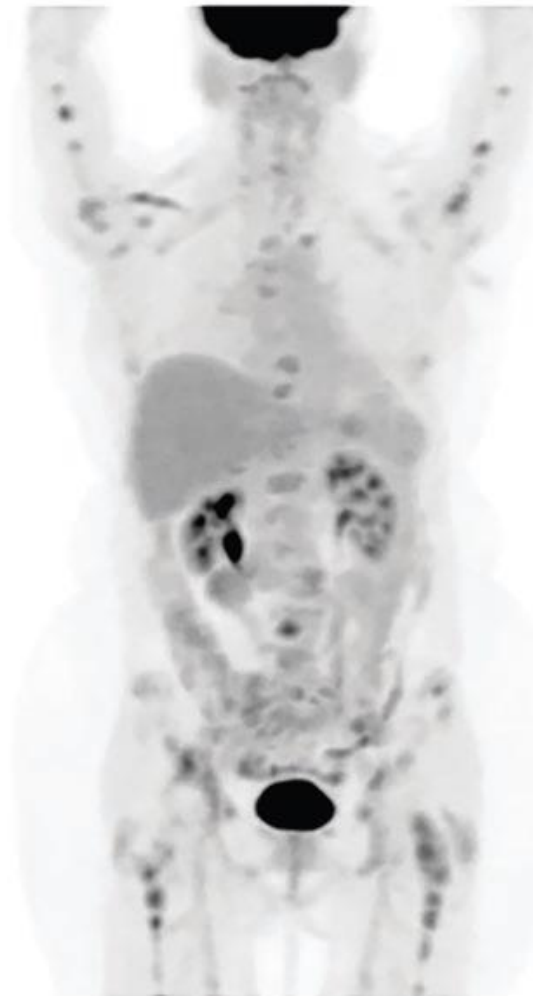


Table 14.2 FDA-approved PET and SPECT radiopharmaceuticals for MI studies

	Chemical name	Trade name	Indications	FDA approval
1	¹¹¹ In-pentetreotide	Octreoscan™	For localization of SSTR-positive NETs.	1994
2	[¹⁸ F]Fludeoxyglucose (FDG)		To assess abnormal glucose metabolism in oncology	2000
3	[¹⁸ F]Sodium fluoride		To delineate areas of altered osteogenesis	2000
4	[¹²³ I]Iobenguane	AdreView™	For the detection of primary or metastatic pheochromocytoma or neuroblastoma	2008
5	[¹¹ C]Choline		To help identify potential sites of prostate cancer recurrence	2012
6	⁶⁸ Ga-DOTATATE	NETspot	For localization of SSTR-positive NETs	2016
7	[¹⁸ F]Fluciclovine	Auxumin™	Prostate cancer recurrence	2016
8	⁶⁸ Ga-DOTATOC		For localization of SSTR-positive NETs	2019
9	[¹⁸ F]Fluoroestradiol	Cerianna™	For the detection of estrogen receptor-positive lesions in patients with breast cancer	2020
10	⁶⁴ Cu-DOTATATE	Detectnet	For localization of SSTR-positive NETs	2020
11	⁶⁸ Ga-PSMA-HBED-CC		PSMA-positive lesions in prostate cancer	2020
12	[¹⁸ F]Piflufolostat	Pylarify®	To detect PSMA-positive lesions in prostate cancer	2021

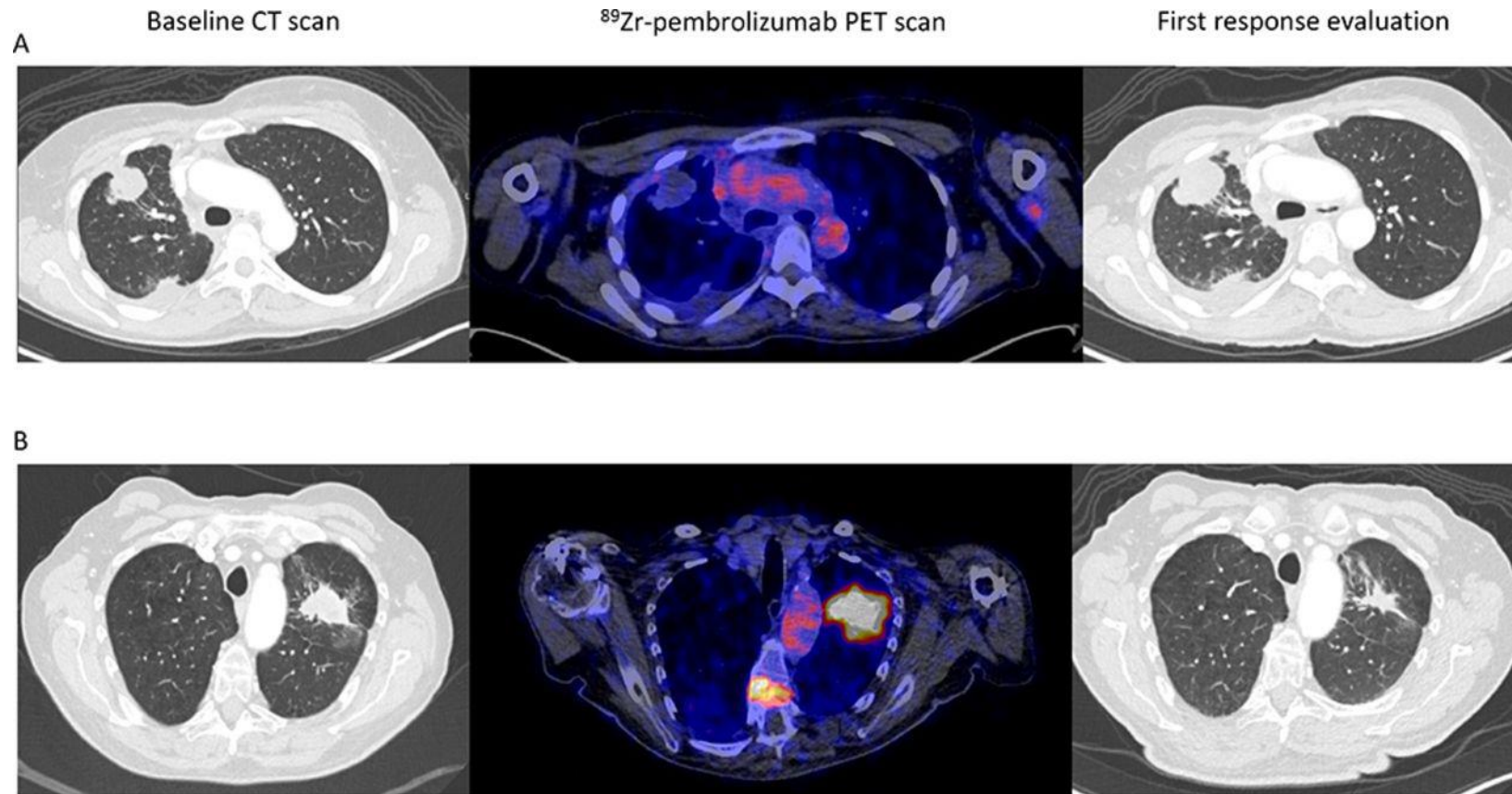


Table 12.9 Radiolabeled mAbs and fragments as molecular imaging probes for Immuno-PET^a

Radiolabeled antibody	Target	Targeting vector	Cancer types
⁸⁹ Zr-Df-cetuximab	EGFR	mAb	Solid tumors
⁸⁹ Zr-Panitumumab	EGFR	mAb	Colorectal cancer
⁸⁹ Zr-Df-trastuzumab	HER2	mAb	Breast cancer, esophagogastric adenocarcinoma (EGA)
⁶⁴ Cu-DOTA-trastuzumab	HER2	mAb	BC
⁸⁹ Zr-Df-Pertuzumab	HER2	mAb	BC
¹²⁴ I-trastuzumab	HER2	mAb	Gastric cancer, gastroesophageal cancer
⁶⁴ Cu-DOTA-Patritumab	HER3	mAb	Solid tumors
⁸⁹ Zr-GSK2849330	HER3	mAb	Solid tumors
⁸⁹ Zr-lumertuzumab	HER3	mAb	Solid tumors
⁸⁹ Zr-Df-bevacizumab	VEGF	mAb	Solid tumors
⁸⁹ Zr-cmAb U36	CD44v6	mAb	Squamous cell carcinoma of the head and neck (HNSCC)
⁸⁹ Zr-RG7356	CD44	mAb	Solid tumors
⁸⁹ Zr-rituximab	CD20	mAb	Lymphoma
⁸⁹ Zr-DFO-5B1	CA19.9	mAb	Pancreatic cancer
⁸⁹ Zr-huJ591	PSMA	mAb	Prostate cancer
⁸⁹ Zr-girentuximab	CAIX	mAb	Renal cell carcinoma
⁸⁹ Zr-DFO-MSTP2109A	STEAP1	mAb	Prostate cancer
⁸⁹ Zr-fresolimumab	TGF- β	mAb	Glioma
⁶⁸ Ga-ABY-025	HER2	Affibody	Breast cancer
⁶⁸ Ga-HER2-nanobody	HER2	Nanobody	Breast cancer
⁸⁹ Zr-IAB2M	PSMA	minibody	Prostate cancer
⁶⁸ Ga-IMP288	CEA	BsAb	Medullary thyroid cancer
⁸⁹ Zr-AMG 211	CEA/CD3	BiTE	Gastrointestinal adenocarcinoma
⁸⁹ Zr-Df-IAB22M2C	CD8	Minibody	Solid tumors
⁸⁹ Zr-atezolizumab	PD-L1	mAb	Non-small cell lung cancer (NSCLC), bladder cancer, triple negative breast cancer (TNBC)
¹¹¹ In-atezolizumab			
⁸⁹ Zr-Nivolumab	PD1	mAb	Lung cancer

^aTable modified from [89]

Two examples of [⁸⁹Zr]Zr-pembrolizumab tumor uptake (scaled 0–8) in patients with metastatic NSCLC and a CT scan before and during PD-1 antibody treatment.



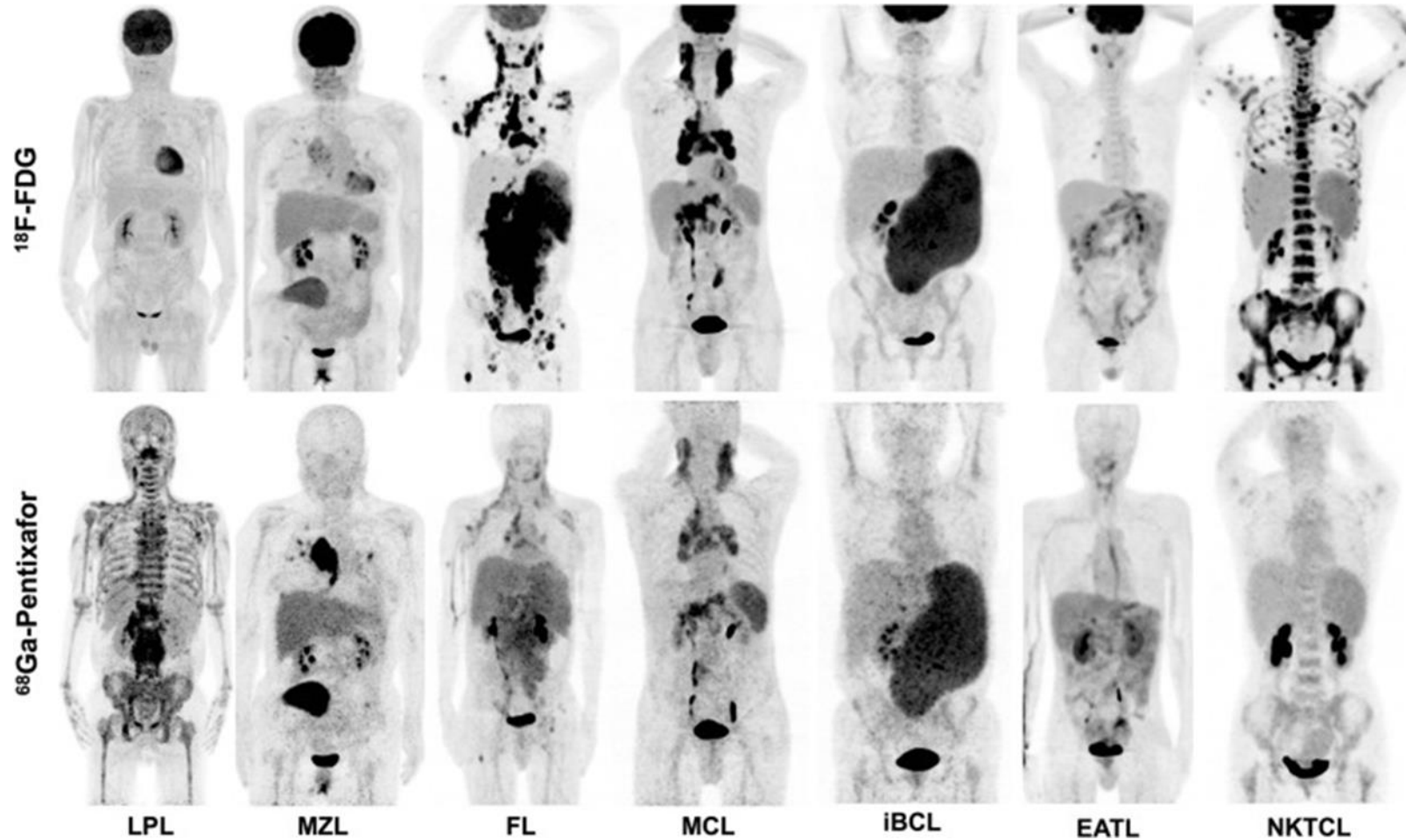
Pim P van de Donk et al. *J Immunother Cancer* 2022;10:e004949

Kemokin receptorok jelölése

- Ga-68 CXCR4 (pentaxifor) – kemokin receptorokhoz kötődés: sejt migráció, angiogenezis, sejt proliferáció
- Teranosztikus lehetőség
- CXC-chemokine receptor type 4 (CXCR-4): ismert over-expresszió több tumor típusban, pl.: leukemia, a legtöbb lymphoma típus, myeloma multiplex

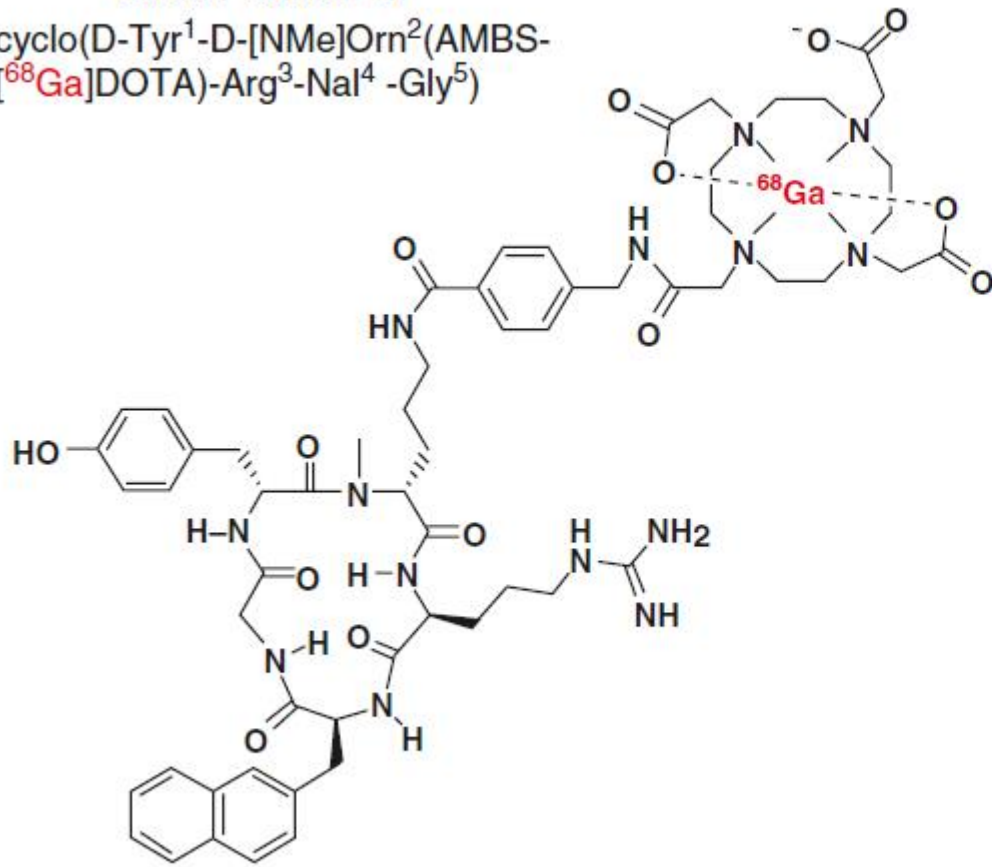


FDG vs 68Ga-Pentixafor



Qingqing Pan et al. Preliminary evidence of imaging of chemokine receptor-4-targeted PET/CT with [^{68}Ga]pentixafor in non-Hodgkin lymphoma: comparison to [^{18}F]FDG. *EJNMMI Research* (2020) 10:89 <https://doi.org/10.1186/s13550-020-00681-7>.

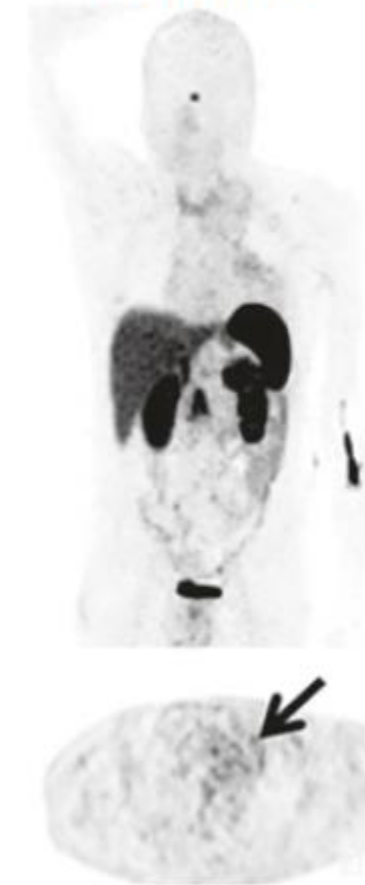
⁶⁸Ga-PentixaFor
 cyclo(D-Tyr¹-D-[NMe]Orn²(AMBS-
 [⁶⁸Ga]DOTA)-Arg³-Nal⁴-Gly⁵)



⁶⁸Ga-Pentixafor



⁶⁸Ga-DOTATOC





PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
ÁLTALÁNOS ORVOSTUDOMÁNYI KAR

Köszönöm a figyelmet!

Pécs, 2025. január 19.