

TERANOSZTIKUMOK ALKALMAZÁSA A HAZAI NUKLEÁRIS MEDICINÁBAN

SARKADI MARGIT

**LI. SUGÁRVÉDELMI TOVÁBBKÉPZŐ TANFOLYAM
BALATONALMÁDI, 2026. ÁPRILIS 14-16.**

TERANOSZTIKUM FOGALMA I.

- A teranosztikum kifejezés a terapeutikum és a diagnosztikum szavak kombinációja. Olyan radioaktív gyógyszerekre alkalmazzák, amelyek gamma- vagy pozitron sugárzó radioizotóppal jelölve diagnosztikai és béta- vagy újabban alfasugárzó radioizotóppal jelölve terápiás célra használhatók.
- A módszer lehetővé teszi, hogy ugyanazt a molekulát alkalmazzák az izotópdiagnosztikában a daganatok kimutatására, majd az izotópterápiában azok elpusztítására.

TERANOSZTIKUM FOGALMA II.

- A nukleáris medicinában alkalmazott **teranosztikus radiofarmakonok** innovatív szerek, amelyek **egyszerre végzik a diagnózist és a kezelést célzott módon**. Ezek a speciális anyagok egy adott molekuláris célponthoz kötődve képalkotó és terápiás funkciókat is ellátnak. Ez lehetővé teszi a kezelések kifejezetten a beteg biológiájához igazodó megtervezését, hatékonyan kezelve a beteg szövetet, miközben megőrizzük az egészséges szövetet. **Ezek a radiofarmakonok**, amelyek jelentős előrelépést eredményeztek, különösen **a rákkezelésben, a diagnózis és a terápia kombinálásával a betegek életminőségének javítását célozzák**.
- Alkalmazásuk Magyarországon is dinamikusan terjed, különösen az onkológiai ellátás területén.

TERÁPIÁS HATÁS

- ▶ **D** - elnyelt dózis (Gy)
- ▶ **C** - egységnyi tömegű kóros szövet aktivitás-felvétele (MBq/gramm)
- ▶ **E** - a terápiás célra alkalmazott radionuklid által kibocsátott sugárzás energiája (MeV)
- ▶ **T_{eff}** – effektív felezési idő (nap) (fizikai és biológiai felezési idő)

$$D \sim C \cdot E \cdot T_{\text{eff}}$$

A TERÁPIÁS DÓZIS EGYÉNRE SZABOTT!

TERANOSZTIKUMOK ELŐNYEI

- **Személyre szabott kezelés:** Azáltal, hogy a terápiákat a páciens daganatának sajátos biológiai jellemzői alapján szabják meg, a teranosztikum fokozza a kezelés hatékonyságát és csökkenti a mellékhatásokat.
- **Továbbfejlesztett képalkotás és monitorozás:** A diagnosztikai komponens (SPECT/CT, PET/CT, PET/MRI) lehetővé teszi a tumor pontos lokalizálását, a kezelési válasz értékelését és a kiújulás korai felismerését.
- **Minimális mellékhatások:** A terápiás szerek célzott adagolása megkíméli az egészséges szöveteket, ami a hagyományos terápiákhoz képest kevesebb mellékhatáshoz vezet.
- **Továbbfejlesztett eredmények:** Klinikai vizsgálatok kimutatták, hogy a terápiás megközelítések javíthatják a túlélési arányt és az életminőséget bizonyos típusú rákbetegeknél.

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK I.

6

- **Prosztata rák** diagnosztikájában és terápiájában a radiofarmakonok és a hibrid képalkotó technológiának fejlődése új lehetőségeket nyitott meg. A teranosztikumok egyik legelterjedtebb hazai alkalmazása a prosztata-specifikus membrán antigénhez (PSMA) kötődő ligandumok használata kasztrációrezisztens és áttétes prosztatarák kezelésében mind a képalkotáshoz, mind a célzott sugárkezeléshez.
- **Neuroendokrin daganatok** terápiájában alkalmazott PRRT (Peptide Receptor Radionuclide Therapy) szintén teranosztikus eljárás. A szomatostatin receptor agonisták, például az Y-90-DOTATOC és a Lu-177-DOTATATE, az áttétes vagy inoperábilis neuroendokrin daganatok kezelésére alkalmas teranosztikumok. A radioaktívan jelölt szomatostatin analógokkal végzett PRRT e daganatok standard kezelésévé vált.

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK II.

7

- A **feokromocitóma és a paraganglióma** ritka, neuroektodermális eredetű daganatok, I-131 MIBG terápiával kezelhető. A MIBG (meta-jód-benzil-guanidin) vegyületet szelektíven abszorbeálják ezek a tumorsejtek. Adrenerg szövetekben, neuroectodermális (neuroendocrin) daganatokban dúsul. Az adrenerg receptorokhoz kötődve bejut a sejtbe, ahol a cytoplasmában lévő neurosecretorikus szemcsékben tárolódik. A hozzákapcsolt radioaktív I-131 ezután célzott sugárzást juttat a szervezetbe, segítve a tumor méretének csökkentését vagy elpusztítását.
- **Pajzsmirigy rák:** A differenciált pajzsmirigyrákok nagy dózisú radiojód terápiája (I-131) a teranosztikumok egyik klasszikus és hatékony módszere, a differenciált pajzsmirigyrák kezelésének sarokköve. A műtét után megmaradt pajzsmirigyszövet vagy a szervezetben szétszórt rákos sejtek célzott elpusztítására alkalmas. Mind az egészséges, mind a rákos pajzsmirigysejtek képesek felvenni a radiojódot. Ez lehetővé teszi, hogy a radioaktív jód elérje és elpusztítsa a rákos sejteket, csökkentve a kiújulás kockázatát és növelve a gyógyulás esélyét.

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK III.

- **Áttétes májrák** esetén a transzarteriális radioembolizációként az Y-90 kezelést alkalmazzák. Ez magában foglalja a mikroszkopikus radioaktív gömbök befecskendezését a máj artériáiba, amelyek ezután a daganatokhoz jutnak és megakadnak bennük, nagy dózisu lokalizált sugárzást leadva.
- **A hasnyálmirigyrák** kezelésében célzott radionuklid terápiákat vizsgálnak. Ezekhez a kezelésekhöz olyan radiofarmakonokat használnak (pl. Lu-177-DOTATATE), amelyek a rákos sejtek specifikus receptoraihoz kötődnek, és közvetlenül a daganathoz juttatják a sugárzást, miközben minimalizálják a környező egészséges szövetek károsodását.

HAZÁNKBAN HASZNÁLT TERANOSZTIKUS RADIOFARMAKONOK I.

- A **I-131** egy klasszikus teranosztikus szer, amelyet széles körben alkalmaznak a pajzsmirigyrák és a hipertireózis kezelésében. A pajzsmirigysejtek természetes módon felveszik a jódot, így a radioaktív jód hasznos a beteg sejtek elpusztításában.
- A **Lu-177-PSMA** (márkanévén Pluvicto) teranosztikumot a prosztatatarák kezelésében alkalmazzák. Ez a molekula a prosztatataráksejtek felszínén található PSMA (prosztata-specifikus membránantigén) fehérjéhez kötődik, és célzott sugárzást juttat el a tumorsejtekbe, károsítva azok DNS-ét, ami a sejtek pusztulásához vezet.
- A **I-131-MIBG** egy teranosztikus szer, amelyet specifikus neuroendokrin tumorok, például feokromocitóma és neuroblasztóma képződésére és kezelésére használnak. Az MIBG-t ezek a tumorsejtek felveszik, lehetővé téve a hozzákapcsolódó I-131 célzott, roncsoló sugárzás leadását.

HAZÁNKBAN HASZNÁLT TERANOSZTIKUS RADIOFARMAKONOK II.

- A **Lu-177-DOTATATE** (márkanévén *Lutathera*) egy olyan radiofarmakon, amelyet különösen előnyben részesítenek az előrehaladott szomatosztatin receptor-pozitív gasztroenteropankreatikus neuroendokrin tumorok (GEP-NET) kezelésében. Szelektíven kötődik a tumorsejtek felszínén található szomatosztatin receptorokhoz, és az alkalmazott sugárzással közvetlenül ezeket a sejteket célozza meg. Ez a kezelés hatékony a kiterjedt vagy kezelésre rezisztens neuroendokrin tumorokban.
- Az **Y-90** transzarteriális radioembolizáció egy célzott terápia, amelyet elsősorban májdaganatok kezelésére alkalmaznak. Az Y-90 radioizotópot tartalmazó mikroszkopikus gömböket a májat ellátó artériákba injektálják. Ezek a gömbök a daganatok kis ereiben elakadnak, és nagy dózisú lokalizált sugárzást juttatnak közvetlenül a rákos szövetbe.

Lu-177 FIZIKAI JELLEMZŐK

- Felezési idő: ~6,7 nap
- Béta-sugárzás (közepes energia)
- Gamma komponens → képalkotás
- Rövid hatótávolság (~1-2 mm)

Y-90 FIZIKAI JELLEMZŐK

- Felezési idő: ~64 óra
- Erős béta-sugárzó
- Gamma sugárzás 0,019%
- Hatótávolság akár 1 cm

I-131 FIZIKAI JELLEMZŐK

- Felezési idő: ~8 nap
- Béta + gamma sugárzás
- Szisztémás eloszlás
- Pajzsmirigy felvétel

ÖSSZEHASONLÍTÁS

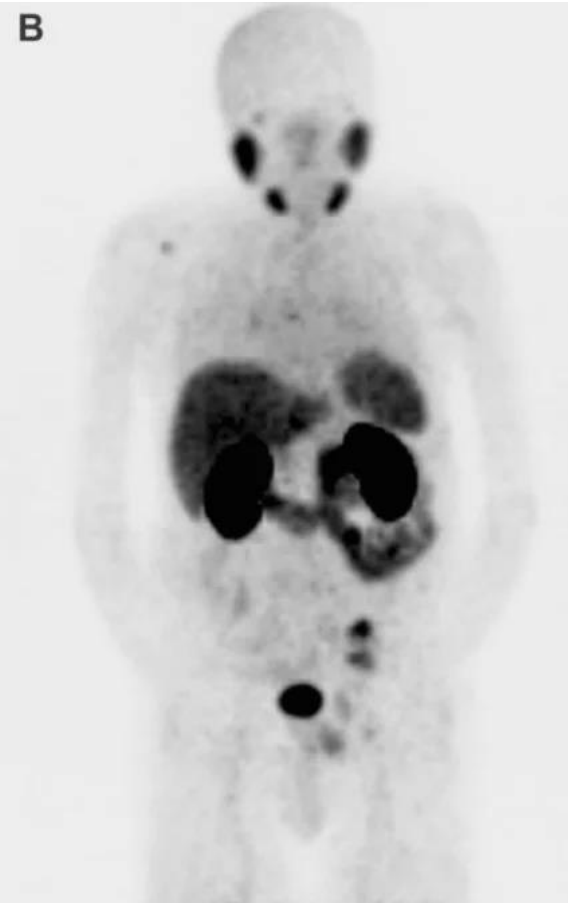
- **Lu-177:** rövid hatótávolság, célzott terápia
- **Y-90:** nagy hatótávolság, lokális terápia
- **I-131:** pajzsmirigy specifikus terápia
- Különböző klinikai indikációk

Lu-177-PSMA PET-CT PROSZTATARÁK REGRESSZIÓJA

Terápia előtt

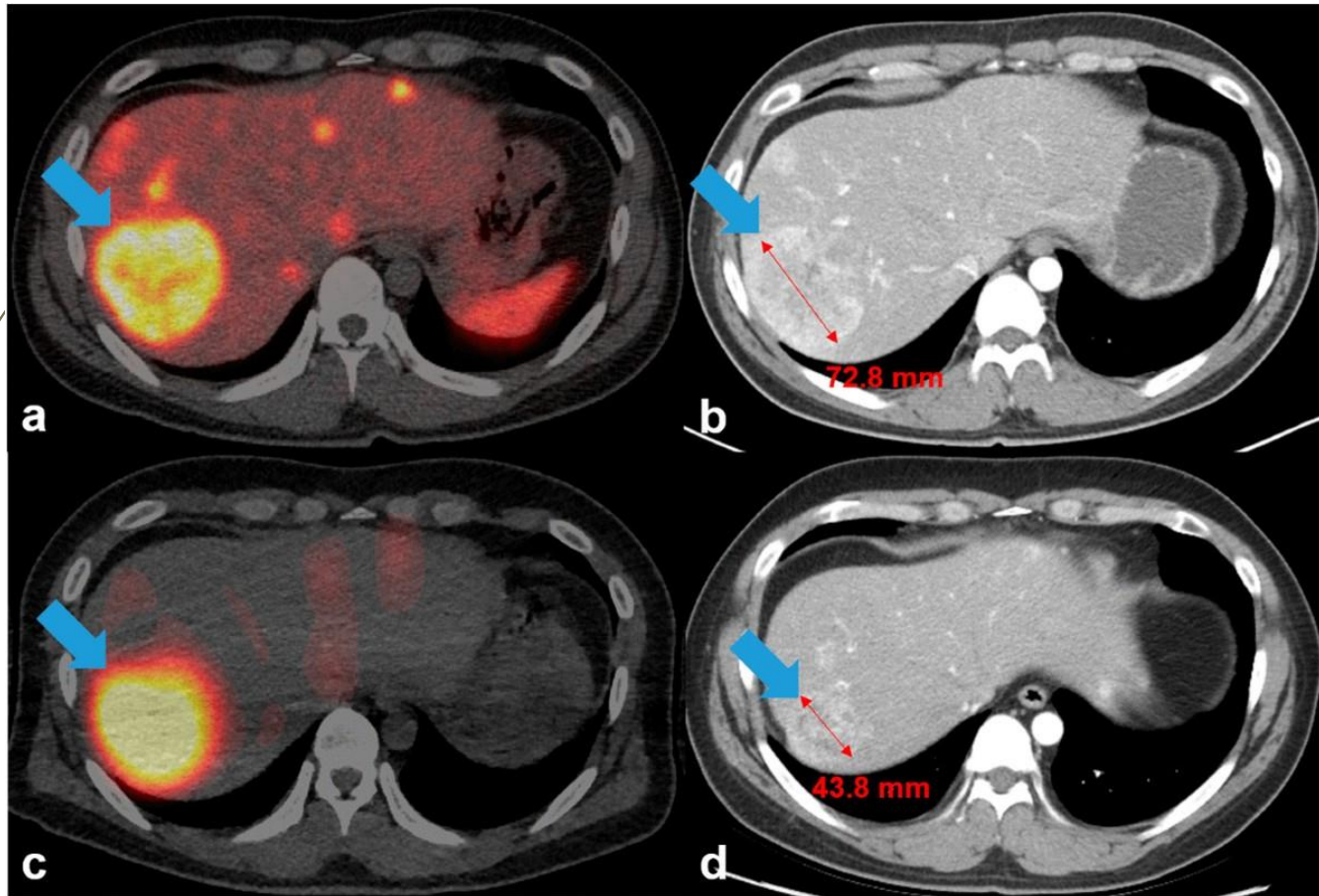


Terápia után



NEUROENDOKRIN TUMOR LU-177-DOTATATE TERÁPIA UTÁNI PET-CT VIZSGÁLATA

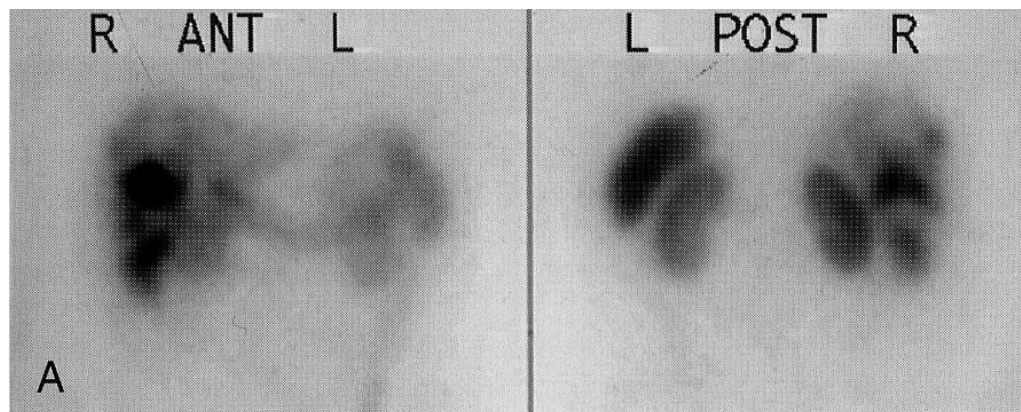
Terápia
előtt



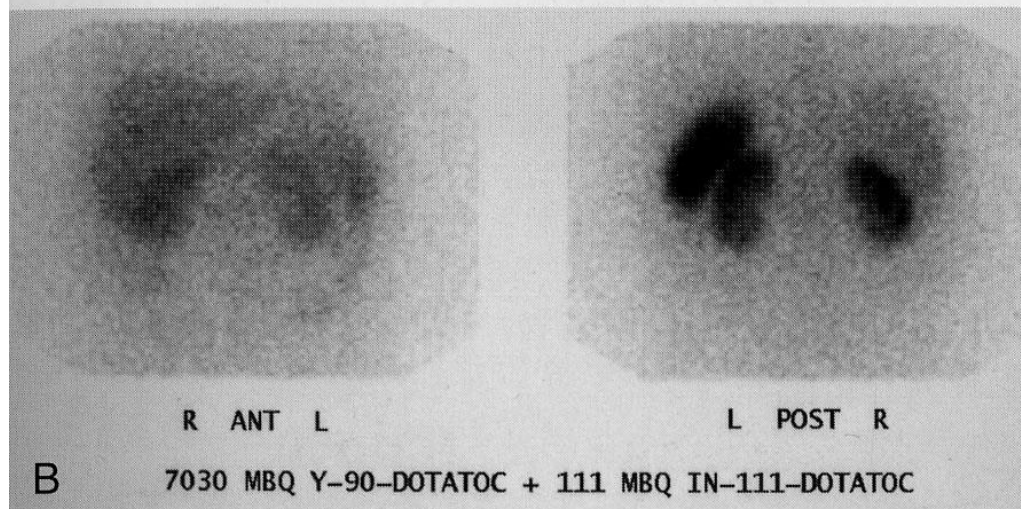
Terápia
után

NEUROENDOKRIN TUMOR REMISSZIÓJA Y-90-DOTATOC TERÁPIÁT KÖVETŐEN

Terápia
előtt

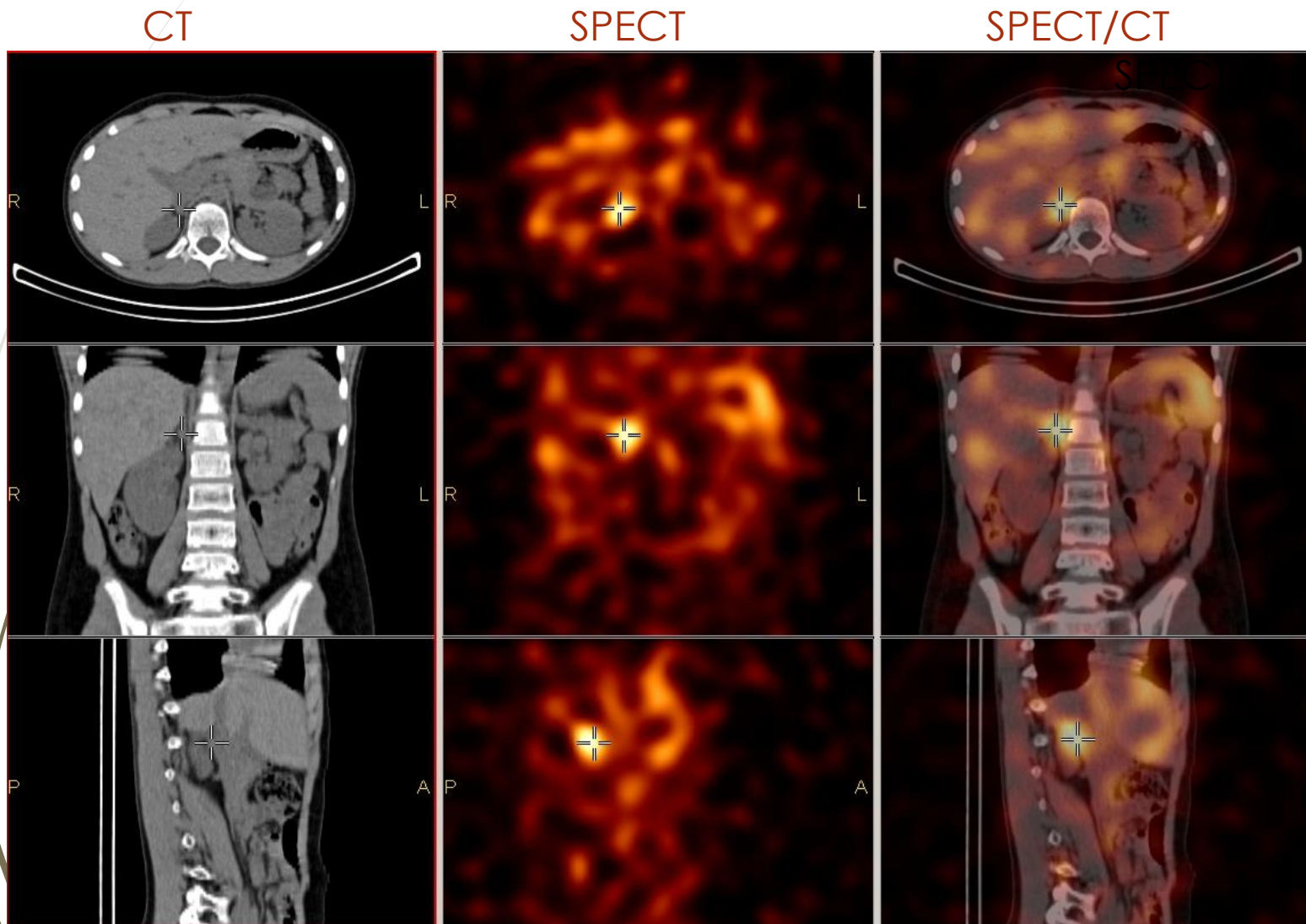


Terápia
után



JOBB OLDALI FEOKROMACITÓMA I-131-MIBG SPECT-CT VIZSGÁLATA

18



METASZTATIKUS CARCINOID RÉSZLEGES REGRESSZIÓJA I-131-MIBG TERÁPIÁT KÖVETŐEN

CT

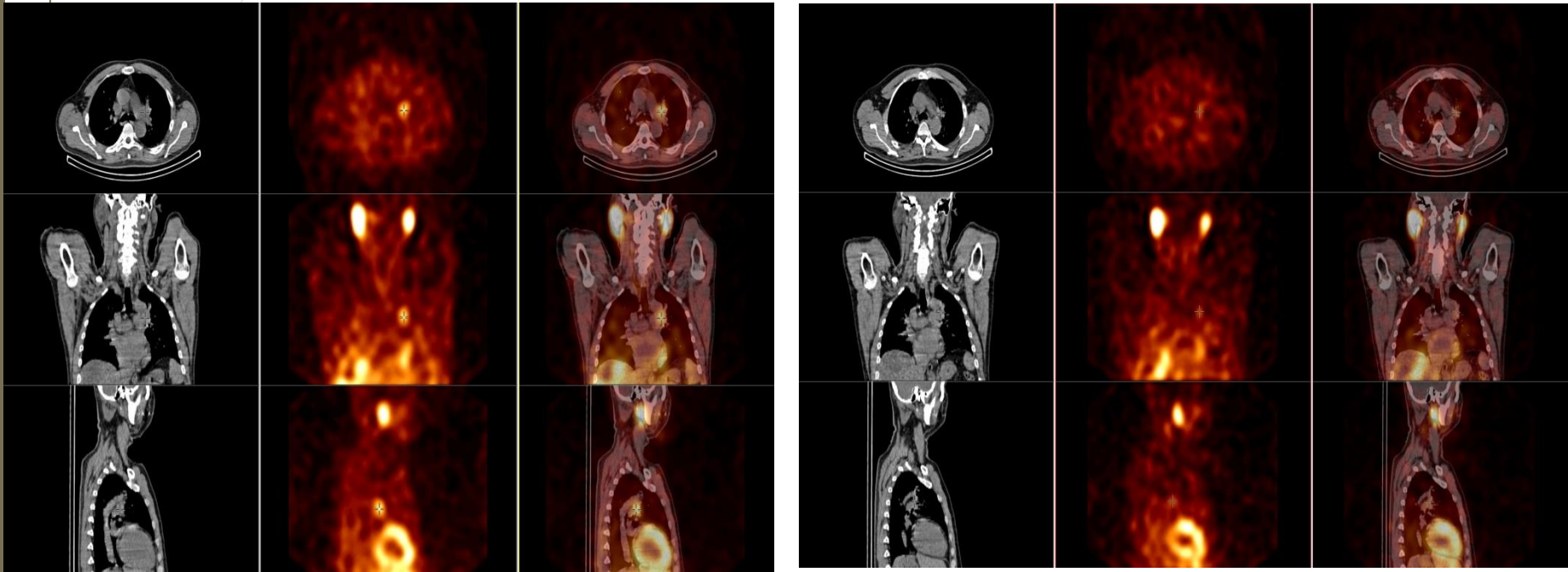
SPECT

SPECT/CT

CT

SPECT

SPECT/CT

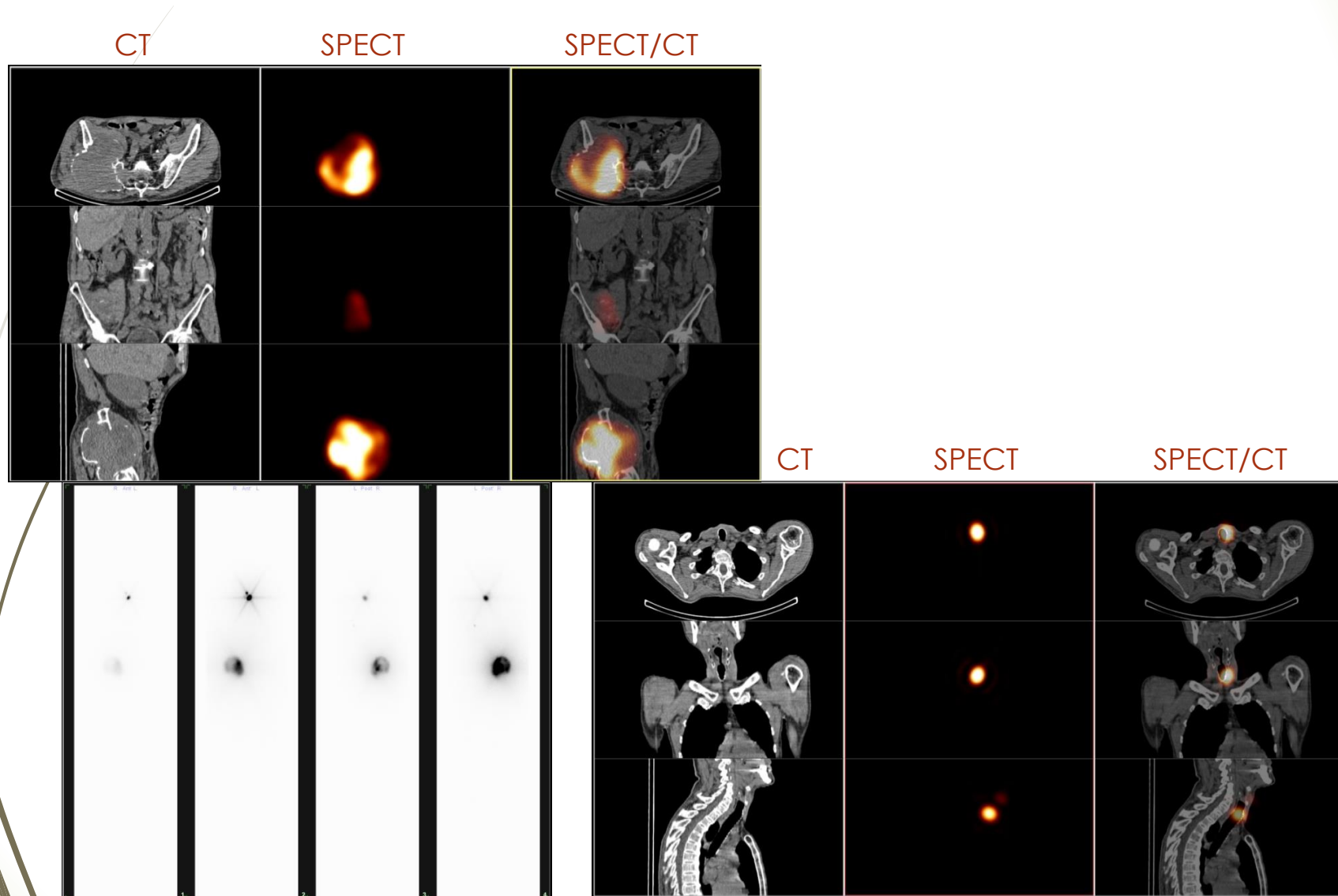


Terápia előtt

Terápia után

FOLLICULARIS PAJZSMIRIGYRÁK NAGYKITERJEDÉSŰ CSONT ÉS LÁGYRÉSZ METASZTÁZIS, LOCAL RECIDÍVA NAGYDÓZISÚ I-131 TERÁPIA UTÁN

20



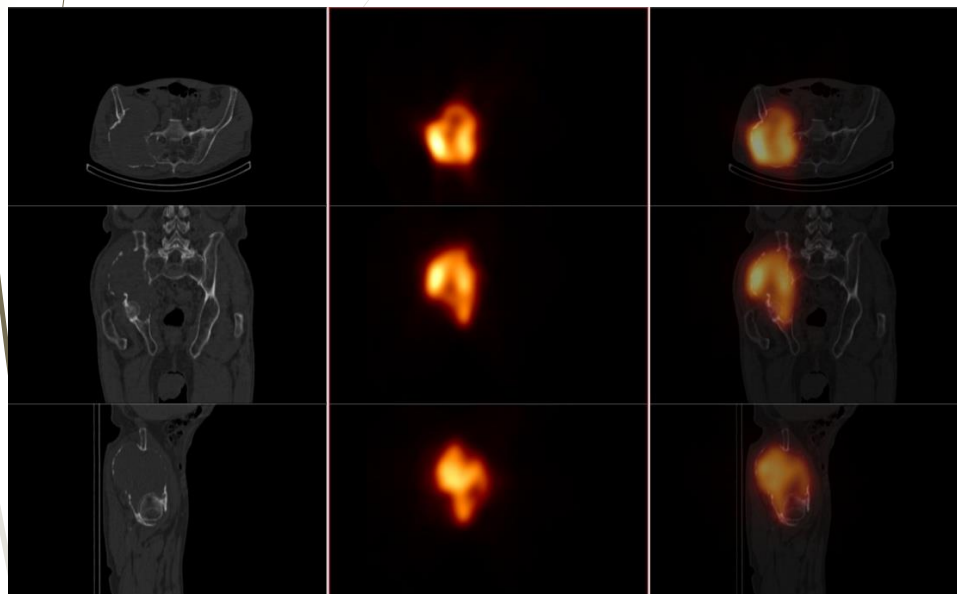
ISMÉTELT RADIOJÓD TERÁPIA UTÁN INTENZITÁSÁBAN ÉS NAGYASÁGÁBAN CSÖKKENÉST MUTATÓ LOCAL RECIDÍVA ÉS CSONTMETASZTÁZIS

21

CT

SPECT

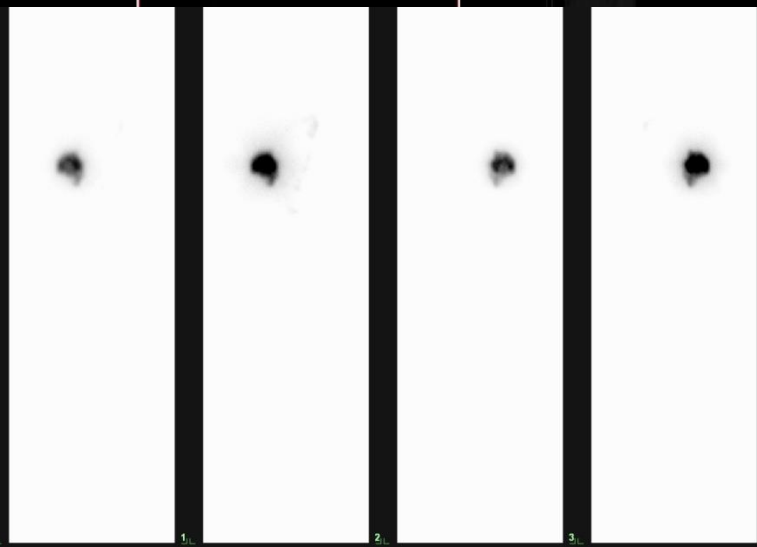
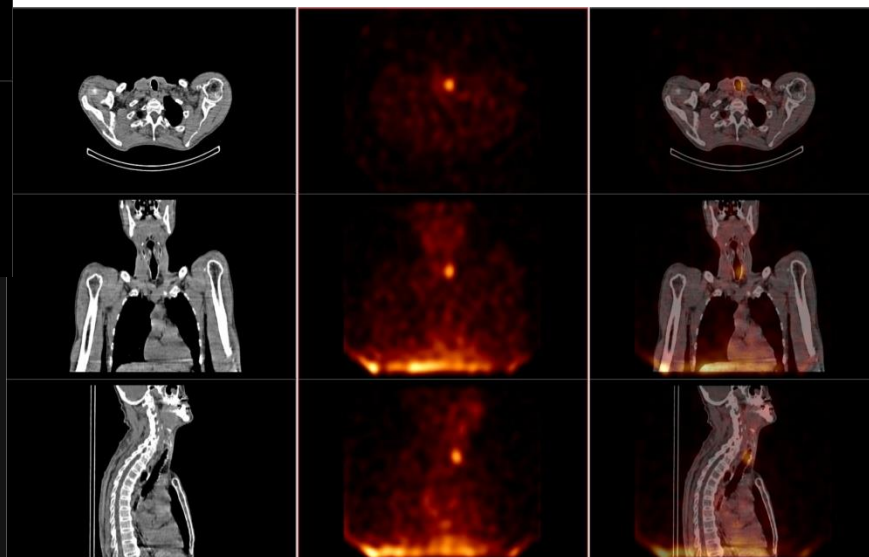
SPECT/CT



CT

SPECT

SPECT/CT



SUGÁRVÉDELEM

- Beteg izoláció
- **I-131**
 - ✓ Ambuláns (550 MBq-ig)
 - ✓ Bentfekvő (550 MBq – 5500 MBq)
- **Lu-177** és **I-131-MIBG**
 - ✓ Bentfekvő
- Bentfekvés esetén vizelet és széklet gyűjtése dezaktiváló tartályokban
- Radiaktív hulladék (szilárd és folyékony) kezelés
- Személyzet sugárvédelme
- Dóziskorlátok

JÖVŐBELI IRÁNYOK

- Új radiofarmakonok
- Alpha-terápia (pl. Ac-225)
- Precíziós medicina fejlődése
- Kombinált kezelések

A folyamatban lévő kutatások az új radiofarmakonok alkalmazását kutatják, és a terápiás alkalmazásokat a rákos megbetegedések szélesebb körére kiterjesztik, potenciálisan átalakítva az onkológiai palettát.

ÖSSZEGZÉS

24

- A teranosztikum paradigmaváltást jelent az onkológiában. Alkalmazásuk a magyar onkológia egyik legdinamikusabban fejlődő területe, amely személyre szabott terápiás lehetőséget kínál a daganatos betegek számára. Hazánkban az elmúlt két évben megháromszorozódott az izotópos kezelések száma és bővült az így kezelhető daganatos betegségek köre is. A kutatások előrehaladtával a teranosztikum egyre központibb szerepet játszik a rák elleni küzdelemben, reményt adva a betegségek jobb kimenetelére és a betegek javuló életminőségére.
- A teranosztikus kezelések magas szintű nukleáris medicina infrastruktúrát és szakmai háttérrel igényelnek, ezért elsősorban onkológiai és egyetemi központokban érhetőek el.

KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMET!

