

Pozitronų emisijos tomografija – ką svarbu prisiminti

Laima Tamkevičiūtė, Jurgita Zaveckienė, Nemira Jurkienė

LSMU MA Radiologijos klinika

Reikšminiai žodžiai: PET, ^{18}F -FDG, tyrimo įvertinimas.

Santrauka. Pozitronų emisijos tomografija (PET) – pasaulyje plačiai paplitęs ir klinikinėje praktikoje įsitvirtinęs, o Lietuvoje vis dar naujas neinvazinis branduolinės medicinos radiologinis tyrimas, kurio panaudojimas pulmonologijoje susijęs su vėžio diagnostika, jo išplitimo ir ligos eigos įvertinimu. Kitaip nei daugelis kitų radiologinių vaizdinių tyrimų, kurie padeda įvertinti tik morfologinius organų ir audinių pokyčius, PET su ^{18}F -FDG padeda nustatyti audinių funkcinius metabolinius pokyčius *in vivo*. Daug gliukozės metabolizmą veikiančių veiksnių gali lemti santykinai mažesnę PET su ^{18}F -FDG specifiškumą, todėl norint tinkamai interpretuoti tyrimo rezultatus būtina gerai įvertinti klinikinius ir anamnezės duomenis. Šio tyrimo diagnostinė vertė labai priklauso nuo tinkamo pacientų paruošimo. PET gali keisti ligos vadybą, tačiau negali pakeisti kitų radiologinių, instrumentinių ir histologinių tyrimų.

Pozitronų emisijos tomografija (PET) – pasaulyje plačiai paplitęs ir klinikinėje praktikoje įsitvirtinęs, o Lietuvoje vis dar naujas, nuo 2012 metų atliekamas neinvazinis branduolinės medicinos radiologinis tyrimas. Kitaip nei daugelis kitų radiologinių vaizdinių tyrimų, kurie padeda įvertinti tik struktūrinius morfologinius organų ir audinių pokyčius, PET naudojant įvairius radiofarmacinius preparatus (RFP) (1 lentelė) padeda nustatyti audinių metabolinius ir funkcinius pokyčius *in vivo* [1, 2]. Šio tyrimo metu pacientui į veną sušvirkščijama biologiškai aktyvios medžiagos, kuri patenka į organizmo ląsteles ar jų membranas ir dalyvauja organizme atliekant tam tikrą funkciją ar vykstant cheminei reakcijai [2]. Šios biologiškai aktyvios medžiagos būna žymėtos radioaktyviais izotopais (pvz.: ^{18}F , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O ir kt.), kurie yra nestabilūs, greitai skyla atiduodami pozitronus ir energiją, kuri fiksuojama ir objektyvizuojama PET įrenginiais – kur RFP susikaupia daugiau, fiksuojamas švytėjimas, sukuriama objektyvus vaizdinis tyrimo įvertinimas. RFP susitelkimo intensyvumas objektyvizuojant išreiškiamas standartizuota kaupiamąja reikšme SUV (angl. *standard uptake value*).

Kai kurių struktūrų SUV pateikiamos 2 lentelėje.

PET indikacijos grindžiamos galimybe nustatyti fiziologinių metabolinių procesų pokyčius. Plačiausiai šis metodas taikomas onkologijoje (naviko diferenciacijai, išplitimo įvertinimui ir ligos stadijavimui, gydymo efektyvumo stebėsenai, likutinio audinio gyvybingumo nustatymui, atkryčio nustatymui, optimalios biopsijos vietos ir spindulinio gydymo planavimui ir kt.), kardiologijoje (miokardo gyvybingumo ir metabolizmo įvertinimui ir kt.), neurologijoje (demenčių diagnostikai), reumatologijoje (vaskulitai ir kt.) [3–5]. Kadangi PET

anatominis informatyvumas menkas, nustatomų pokyčių ir galimų fiziologinių veiksnių diferenciacijai, jų lokalizacijos įvertinimui būtina papildoma morfologinė informacija [6]. Ji galima vizualiai derinant PET duomenis su atliktų kompiuterinės tomografijos (KT), rečiau – magnetinio rezonanso tomografijos (MRT) tyrimų vaizdais, šių tyrimų vaizdus suliejant pasitelkus programinę įrangą ar atliekant kombinuotus PET-KT (PET-MRT) tyrimus. Lietuvoje PET-KT tyrimai atliekami pagal Sveikatos apsaugos ministro įsakymu Nr. V-448 patvirtintą indikacijų sąrašą (3 lentelė) [7]. Pulmonologinių indikacijų aktualumą patvirtina gau-

1 lentelė. Radiofarmaciniai preparatai ir jų pritaikymo galimybės [2–4]

Preparatas	Pritaikymas	Preparatas	Pritaikymas
^{11}C -metioninas	Glioma Prieskydinių liaukų navikai	^{18}F -fluoro DOPA	Igimtas hiperinsulinizmas Parkinsono liga Neuroendokrininiai navikai
^{13}N -amonio-chloridas, ^{13}Rb -rubidžio-chloridas	Miokardo perfuzijos vertinimas	^{18}F -fluoridas	Gerybinės ir piktybinės kaulų ligos
^{11}C -cholinas ir ^{18}F -fluorocholinas	Prostatos karcinoma Kepenų ląstelių karcinoma	^{18}F -florbetapir (<i>Amyvid</i>)	Alzheimerio liga
^{11}C -acetatas	Kepenų ląstelių karcinoma Prostatos karcinoma	^{18}F - $^{16}\beta$ -fluoro-5-dihidrotosteronas (FDHT)	Prostatos karcinoma
^{68}Ga galiu žymėti somatostatinio receptoriai	Neuroendokrininiai navikai		

2 lentelė. Standartizuota ¹⁸F-FDG kaupiamoji reikšmė

Smegenys	3–10
Plaučiai	0,5
Tarpuplautis	1,5–2,5
Širdis	0,5–5,0
Raumenys	1,0
Kepenys	3,5
Blūžnis	1,9
Šlapimo pūslė	30–60

sūs literatūros šaltiniai. Pavyzdžiui, Goud ir bendr. metaanalizės duomenimis, diferencijuojant piktybinius ir nepiktybinius plaučių darinius PET jautrumas siekia 96,8 proc., o specifiskumas – 77,8 proc., ribiniu FDG telkimosi kriterijumi laikoma 2,0–2,5 SUV [8, 9]. Tiriant metastazes tarpuplautyje, PET yra labiau jautrus nei specifiškas, kai KT matomi padidėję limfmazgiai (jautrumas – 100 proc., specifiskumas – 78 proc.), bet labiau specifiškas nei jautrus, kai jie nepadidėję (atitinkamai 82 proc., ir 93 proc.) [10, 11].

Svarbu pabrėžti, jog šio tyrimo diagnostinė vertė ir praktinis pritaikymas labai priklauso nuo naudojamo RPF rūšies ir fizikinių savybių. Biologiškai aktyvios medžiagos žymėjimas radioaktyviais izotopais yra sudėtingas procesas, kuris vyksta prietaise, vadinamame ciklotronu. Dėl didelio izotopų nestabilumo (greito jų skilimo), neturint ciklotrono, dėl transportavimo laiko sąnaudų PET tyrimai gali būti atliekami naudojant tik gana stabiliais izotopais žymėtas medžiagas – šiuo atžvilgiu tinkamas radioaktyvaus fluoro ¹⁸F izotopas, kurio pusinės eliminacijos laikas – 110 minučių. Kokybiškam tyrimui atlikti ir įvertinti būtina, kad tiriamajam būtų sušvirkštas pakankamas individualiai apskaičiuojamas radioaktyviųjų dalelių skaičius, kuris fiksuotame tūrio vienetu dėl medžiagos nestabilumo gali ženkliai skirtis. Šiuo metu Lietuvoje PET-KT tyrimai atliekami dviejuose centruose naudojant transportuojamą ¹⁸F žymėtą gliukozės analogą. Todėl laiko veiksnys itin svarbaus organizuojant visą pacientų paruošimo ir PET tyrimų procesą.

¹⁸F-FDG

Klinikinėje praktikoje dažniausiai naudojamas RFP yra jau minėtas nefiziologinis gliukozės analogas, prie kurio prijungtas radioaktyvus fluor-2-deoksi-2-[¹⁸F]fluor-D gliukozė (¹⁸F-FDG). Preparato paplitimas susijęs tiek su izotopo savybėmis (santykinai ilgesnis pusinės eliminacijos laikas, mažiausia (0,25MeV) pozitronų energija, didesnė gaunamų vaizdų rezoliucija), tiek su gliukozės vieta ląstelių metabolizme.

FDG, kaip ir gliukozė, į ląstelę patenka per gliukozės nešiklius, iš kurių svarbiausi yra GLUT1 (angl. *glucose transporter 1*), jie yra beveik visose ląstelėse, neįtrauktas insulinui, ir GLUT4, esantys riebaliniame audinyje, širdies ir skersaruožių raumenų ląstelėse, įtrauktas insulinui. Ląstelėje FDG, kaip ir gliukozė, yra fosforilinama dalyvaujant heksokinazei, susidaro FDG-6-fosfas (FDG-6-F), kuris negali būti toliau metabolizuojamas ir kaupiasi ląstelėje (1 pav.). Tarpląstelinėje terpėje esanti FDG santykinai greitai pašalinama, o ląstelėse susikaupęs FDG-6-F lieka. Taigi, PET su

3 lentelė. PET-KT tyrimo indikacijos pulmonologijoje [7]

Planuojant radikalų gydymą
Ligos atkryčiui nustatyti po taikyto gydymo, kai KT tyrimas nepakankamai informatyvi
Pavienis (solitarinis) darinys plautyje nuo 1 cm iki 3 cm dydžio esant vidutinei (5–60 proc.) piktybiškumo tikimybei ir nesant morfologinio darinio patvirtinimo prieš numatomus invazinius tyrimus ir (ar) radikalų chirurginį gydymą
Prieš numatomą radikalų pirminio ar lokaliai atsinaujinusio plaučių vėžio spindulinį gydymą švitinimo tūriui optimizuoti

4 lentelė. Fiziologinis FDG kaupimasis [17–22]

Fiziologinis FDG kaupimas	
Skeleto ir lygieji raumenys	Užkrūčio liauka
Širdies raumuo	Krūtis laktacijos metu
Smegenys	Areolė
Seilių liaukos ir limfinis audinys kakle ir galvoje	Moteriškieji lyties organai (gimda menstruacijų metu, gimda ir kiaušidės ovuliacijos metu, <i>corpus luteum cista</i>)
Skydliaukė	Šlapimo organų sistema
Rudieji riebalai	Virškinimo traktas

¹⁸F-FDG nustatomos vietos organizme, kur yra padidėjęs gliukozės suvartojimas. Dar XX a. pradžioje Nobelio premijos laureatas Warburg su bendraautorius nustatė, kad navikinės ląstelės metabolizmui sunaudoja daugiau gliukozės nei sveikų audinių ląstelės [12]. Taip yra todėl, kad navikinėse ląstelėse padidėjęs heksokinazės aktyvumas [13, 14] ir aktyvinama gerokai daugiau GLUT-1 nešiklių [15].

Tačiau, kaip žinia, gliukozės metabolizmas gali pagreitinėti dėl įvairių priežasčių: ne tik dėl onkologinių ligų, bet ir įvairių nepiktybinių darinių, hipoksijos, infekcijos, fiziologinių priežasčių ir kt. (2 pav.). Dėl to FDG-PET yra jautrus, bet mažesnio specifiskumo tyrimas [8, 16]. Kai kurių organų ir audinių gliukozės poreikis didelis ir labai priklauso nuo jų funkcinės būklės (4 lentelė) [17–22]. Gliukozės metabolizmas įvairiuose organuose ir audiniuose gali suaktyvėti dėl įvairių organizme vykstančių fiziologinių procesų. Pavyzdžiui, FDG susikaupimas šlapimo organų sistemoje dažniausiai nėra susijęs su didesniu gliukozės poreikiu – FDG šalinama per inkstus ir šlapimo pūslėje susidaro rezervuaras.

PACIENTŲ PARUOŠIMAS

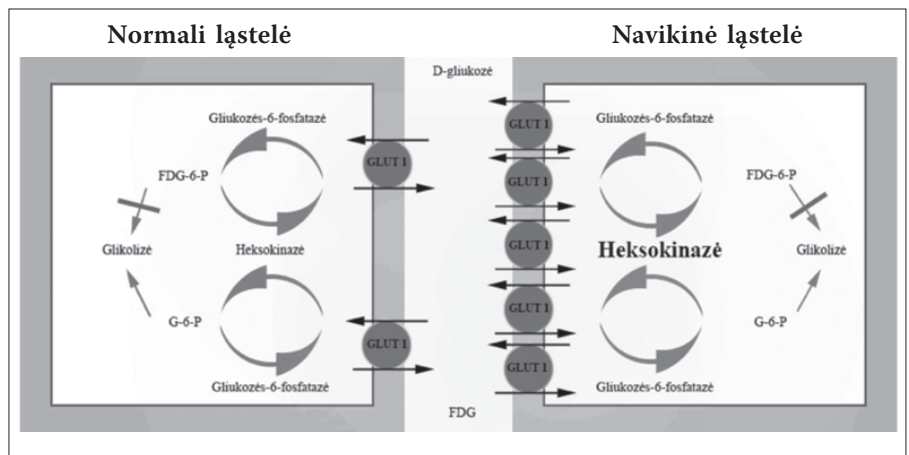
Visiškai išvengti foninio FDG telkimosi neįmanoma, norint maksimaliai padidinti tyrimo jautrumą, tai yra metabolinio aktyvumo skirtumo nustatymą, svarbu suprasti organizme vykstančią gliukozės apykaitą ir jos pokyčius įvairių būklių bei ligų atveju. Taigi akivaizdu, jog gliukozės metabolizmo sutrikimai ir būklės (hiperglikemija, cukrinis diabetas, uždegimo ligos, reparacijos procesai ir kt.) bei jau aptarti jas veikiantys vidiniai bei išoriniai veiksniai gali reikšmingai sumažinti tyrimo diagnostinę vertę. Todėl, siekiant padidinti tyrimo specifiskumą ir sumažinti klaidingos gautų rezultatų interpretacijos tikimybę, būtinas tinkamas paciento

paruošimas bei išsamūs klinikiniai ir anamnezės duomenys [23, 24]. Didelė dalis svarbių pacientų atrankos ir siuntimo atlikti PET-KT aspektų aptariama gydymo įstaigų patvirtintuose siuntimo ir rezultatų pateikimo aprašuose bei pacientams pateikiamose atmintinėse [25].

Labai svarbi paciento paruošimo tyrimui dalis – sumažinti FDG kaupimąsi skersaruožuose raumenyse. Pacientui 24 valandas iki tyrimo negalima daryti masažo procedūrų, užsimiti aktyvia veikla, o 6 val. prieš tyrimą – jokia jam neįprasta fizine veikla (pavyzdžiui, bėgti, greitai eiti). Todėl gydytojas turėtų patarti, kaip susiplanuoti laiką, kad jo pakaktų laiku atvykti. Prieš tyrimą ir jo metu pacientas negali būti sušalęs, tyrimui skirta patalpa turi būti šilta. Nuo atvykimo iki tyrimo pacientas 30–60 min. turėtų praleisti šiltoje aplinkoje. Pacientas tyrimo metu negali kalbėti, kramtyti gumos, labai svarbu, kad pacientas gulėtų patogiai. Diskomfortas ir įtampa gali paskatinti FDG kaupimąsi kaklo ir nugaros raumenyse, kalbant padidėja FDG kaupimasis gerklų raumenyse, drebulio, kramtytosi metu raumenyse taip pat metabolizuojama daugiau gliukozės. Visos minėtos priemonės sumažina foninį FDG kaupimąsi skersaruožuose raumenyse.

Tyrimo metu labai daug FDG susitelkia šlapimo pūslėje, o tai gali labai trukdyti įvertinti pokyčius, jei tiriama patologija yra mažajame dubenyje. Norint sumažinti FDG koncentraciją šlapime, labai svarbu prieš tyrimą per dvi valandas išgerti bent litrą vandens. Suvartotas pakankamas skysčių kiekis pagerina tyrimo vertinimą ir padeda patikimiau ištirti mažąjį dubenį. Labai svarbu, kad skysčiuose nebūtų angliavandenių, negalima gerti sulčių, kavos ir kitų gėrimų, turinčių kofeino ar kitų simpatinę nervų sistemą aktyvinančių medžiagų, kad nesuaktyvėtų foninis FDG telkimasis [23, 24].

Hiperglikemija – viena svarbiausių tiesioginę įtaką tyrimo rezultatams darančių būklių (3 pav.). Ji galima dėl prisivalgymo prieš tyrimą arba cukrinio diabeto. Esant hiperglikemijai, FDG ir gliukozė konkuruoja dėl patekimo į ląstelę per gliukozės nešiklius (4 pav.). Tokiu atveju patologiniame židinyje susikaupia mažiau FDG ir rezultatai gali būti klaidingai neigia-



1 pav. Normalių ir navikinių ląstelių gliukozės ir FDG metabolizmas

mi. Norint padidinti jautrumą ir sumažinti klaidingai neigiamų rezultatų tikimybę, svarbu, kad pacientas nieko nevalgytų 6 valandas prieš tyrimą. Jei tyrimas atliekamas ryte, pacientas turėtų nevalgyti po vidurnakčio, o vakarienei valgyti lengvą maistą ir negerti alkoholio. Jei tyrimas planuojamas popiet, pacientas gali valgyti lengvus pusryčius, nevartoti cukrų. Intraveniniai skysčiai, turintys gliukozės ar dekstrozės, bei parenterinis maitinimas taip pat turi būti nutrauktas bent 4 val. prieš tyrimą. Esant normoglikemijai, sumažėja insulino koncentracija kraujo plazmoje, nestimuliuojami riebaliniame audinyje, miokarde, skersaruožių raumenų skaidulose esantys GLUT4 gliukozės nešikliai – taip sumažėja FDG foninis telkimasis riebaliniame audinyje, skersaruožuose raumenyse bei miokarde ir lengviau įvertinti raumenis, tarpuplautį, naviko metastazes limfmazgiuose.

FDG-PET IR CUKRINIS DIABETAS

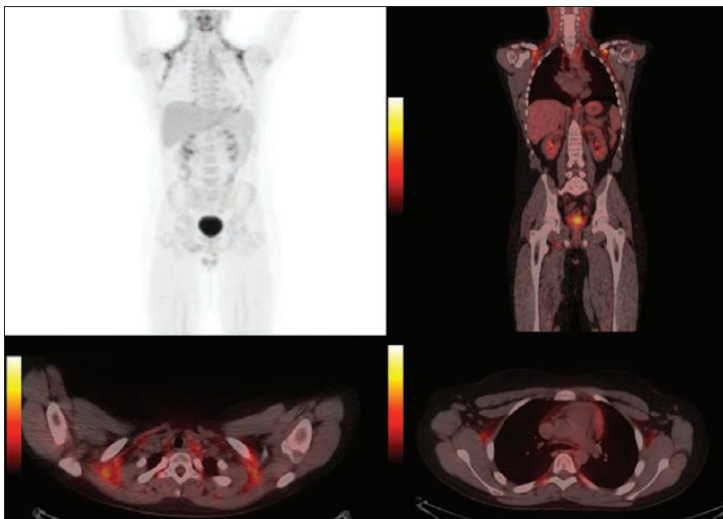
Jeigu pacientas serga cukriniu diabetu (CD), atlikti ir įvertinti FDG-PET tyrimą gali būti sudėtinga, todėl paruošimas itin svarbus ir turi būti detalai aptariamas gydytojų komisijoje PET pagrįstumui įvertinti, suderinant paruošimo būdą su tyrimo laiku [23, 26]. Jei glikemija reguliuojama trumpai veikiančiu insulinu, rekomenduojama pusryčius valgyti 6–7 val., susileisti įprastinę insulino dozę, vėliau gerti tik nustatytą vandens kiekį, o tyrimo laiką planuoti 12–13 val. Pacientai,

naudojantys insulino pompas, turi būti tiriami 8 val., paliekant pompą nakties režimu, o pusryčiai valgomi po PET tyrimo. Prieš tyrimą pacientas negali nieko valgyti. Būtina sureguliuoti glikemiją prieš tyrimą, nes hiperglikemijos atveju gliukozė konkuruoja su FDG ir šiose ląstelėse susikaupia mažiau. Čia svarbus paciento ir gydančiojo gydytojo bendradarbiavimas. Reikia užtikrinti ne tik normoglikemiją, bet ir mažą insulino koncentraciją – tai padeda išvengti didelio foninio telkimosi. 2 tipo CD sergantys pacientai visus vaistus vartoja įprasta, užgerdami vandeniu. Jei įtariamas virškinimo trakto navikas ar buvo padidėjęs FDG kaupimasis ankstesnių PET tyrimų metu, metformino vartojimas nutraukiamas 2 dienas prieš tyrimą (5 pav.).

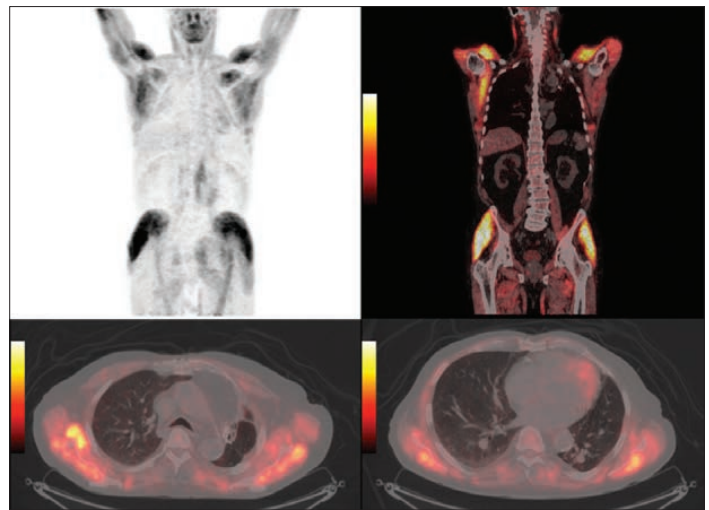
Net esant normoglikemijai, prieš pat PET tyrimą ištiriama gliukozės koncentracija kraujo serume. Jei glikemija viršija 7,0 mmol/l, tyrimas turi būti atidėtas.

KLAIDINGAI TEIGIAMAI PET REZULTATAI

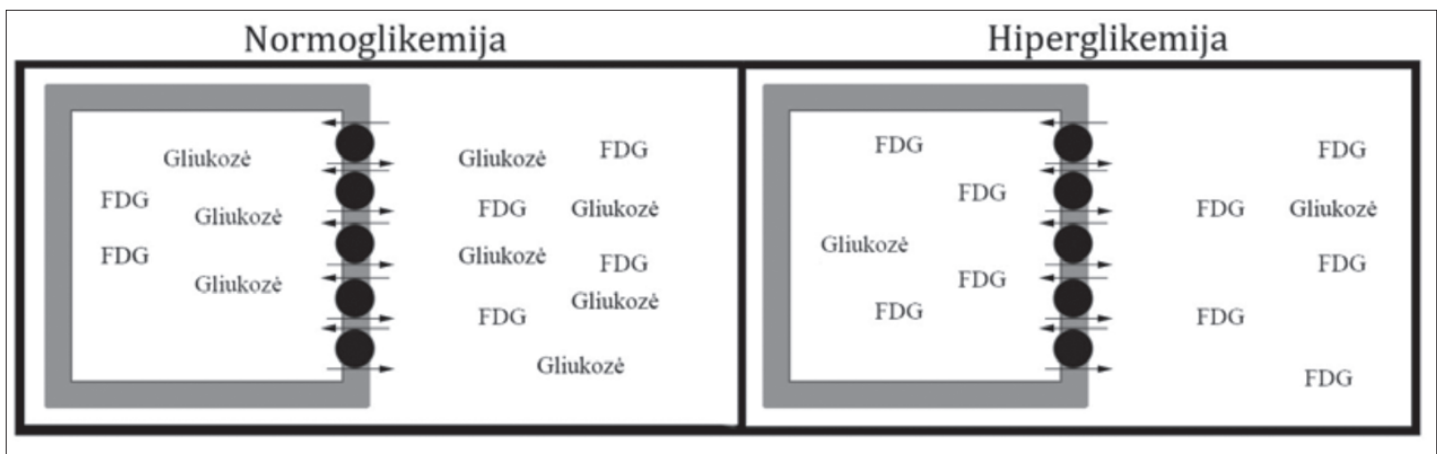
Kaip minėta, net ir tinkamai paruošus pacientą, fiziologiniai procesai gali sąlygoti netolygų ar padidėjusį FDG telkimąsi, kuris gali būti interpretuotas kaip patologinis. Gimdoje ir kiaušidėse FDG telkiasi priklausomai nuo menstruacinio ciklo fazės, daugiau ovuliacijos metu, be to, gimdoje galimas padidėjęs telkimasis po abraziijos, endometriumo polipų ar fibroidų atvejais. Menopauzės tarpsnio moterys, jei FDG telkiasi gimdoje ar



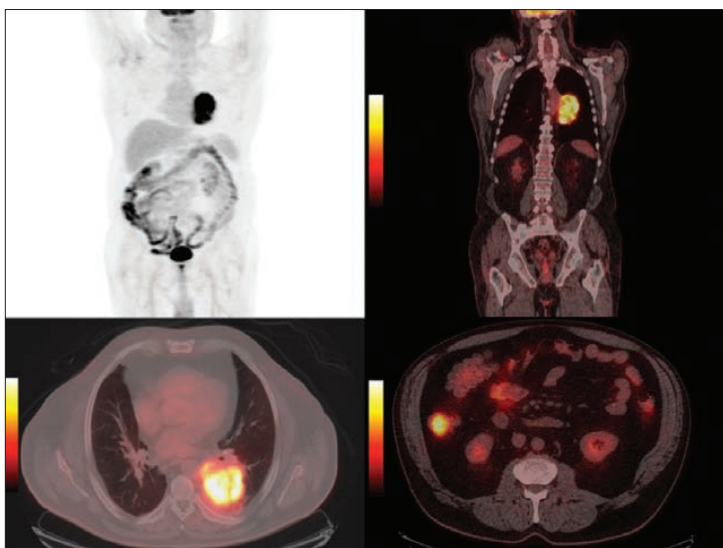
2 pav. PET-KT su ^{18}F -FDG: padidėjęs FDG telkimas ruduosiuose riebaluose; ryški FDG sanakaupa šlapimo pūslėje



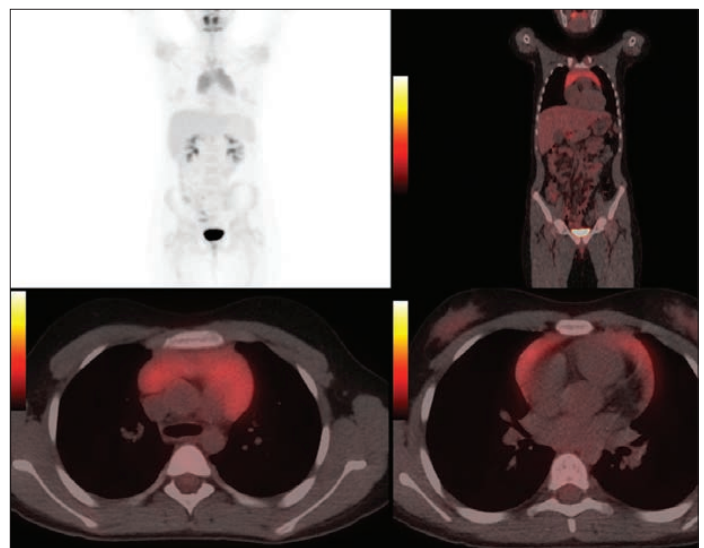
3 pav. PET-KT su ^{18}F -FDG: ryškus foninis FDG telkimas prieš tyrimą pavalgusio paciento skersaruožiuose raumenyse, miokarde



4 pav. FDG kaupimas esant normoglikemijai ir hiperglikemijai



5 pav. PET-KT su ^{18}F -FDG: navikas kairiajame plautyje, matyti padidėjęs FDG telkimas žarnyne dėl metformino vartojimo



6 pav. PET-KT su ^{18}F -FDG: užkrūčio liaukos hiperplazija po chemoterapijos

kiaušidėse, turi būti tiriamos nuodugniau. Tiriant antinksčius padidėjęs FDG telkimas gali būti nustatomas ne tik piktybiniuose navikiniuose dariniuose, bet ir adenomų, angioliopomų, hiperplazijos atvejais, todėl svarbu rezultatus vertinti derinant ir morfologinius KT duomenis. Pasitaisantis padidėjęs fiziologinis FDG telkimas antinksčiuose dažniausiai būna abipusis, nustatomas nesant morfologinių pokyčių KT vaizduose. Skydliaukėje didesnis FDG telkimas galimas esant tiroiditui, Greivso ligai ar mazginei strumai, tačiau norint atskirti nuo piktybinio proceso reikia papildomų tyrimų. Padidėjęs židininis FDG telkimas distalinėje stemplės dalyje gali būti dėl ezofagito, susijęs su Bareto stemple. Plonųjų žarnų projekcijoje klaidingai teigiamus padidėjusio telkimosi židinius gali imituoti persidengiančios žarnų kilpos.

Atskira grupė atvejų, kai galimos pokyčių interpretavimo klaidos, yra onkologinių ligų atsako į gydymą vertinimas. Dėl chemoterapijos dažna užkrūčio liaukos hiperplazija (vaikų ir paauglių fiziologinė) sąlygoja ryškų FDG telkimąsi priekiniame tarpuplautyje (6 pav.). Dėl neutropenijos gydymui vartojamo granulocitų kolonijas stimuliuojančio faktoriaus poveikio galimas padidėjęs FDG telkimas kaulų čiulpuose. Spindulinio gydymo sukeltų komplikacijų (pospindulinio pulmonito, ezofagito, žarnų pažeidimo, poradiacinė kaulų nekrozė ir lūžiai) zonose padidėjęs telkimas taip pat gali būti interpretuojamas klaidingai. Padidėjusio FDG telkimosi židiniai, sąlygoti uždegimo ar reparacijos procesų, gali būti klaidingai interpretuojami kaip navikiniai ir po pleurodezės ar dėl suaktyvėjusių osteoblastų gyjant metastazėms kauluose.

Uždegimo ligos – dar viena galimo klaidingų PET rezultatų grupė [27–29]. Uždegimo procesuose dalyvauja neutrofilai ir suaktyvėję makrofagai, kuriuose, kaip ir navikiniuose audiniuose, GLUT-1 ir GLUT-3 nešiklių aktyvumas yra padidėjęs [30]. Dėl šios priežasties uždegimo židiniuose ir šalia esančiuose limfmazgiuose telkiasi FDG. Tai labai svarbu vertinant navikų išplitimą, metastazavimą į limfmazgius. Klaidingai teigiamus PET rezultatus gali sąlygoti bet kokia uždegimo liga: plaučių uždegimas, granuliozinės ligos (sarkoidozė, tuberkuliozė, grybelinės granuliozės), vaskulitai ir kitos (5 lentelė). PET su ¹⁸F-FDG tyrimo specifiskumas yra gerokai mažesnis regionuose, kuriuose paplitusios granuliozinės ligos [31]. Tai aktualu ir Lietuvoje, kur sergančių tuberkulioze skaičius yra didelis. Pasaulio sveikatos organizacijos (PSO) duomenimis, 2013 metais tuberkuliozės paplitimas Lietuvoje siekė 85 atvejus 100 tūkst gyventojų [32].

KLADINGAI NEIGIAMAI PET REZULTATAI

Nors PET su FDG yra pripažintas tyrimo metodas onkologijoje, tačiau net ir esant piktybiniams navikams galima nefiksuoti FDG telkimosi. Tai gali lemti naviko morfologija: kai kuriais adenokarcinomos atvejais bei esant karcinoidui, navikai esant daug mucino, kai kurios blogai FDG kaupiančios sarkomos, limfomos, smegenų navikai. Neigiami rezultatai galimi gerai diferencijuotų šlapimo ir ly-

5 lentelė. Galimų klaidingai teigiamų PET-FDG rezultatų priežastys

Uždegimo procesai	Gerybiniai navikai
Uždegimas, infekcijos, hematomos po chirurginių procedūrų, injekcijų, traumų, biopsijos vieta	Adenomos (antinksčių, hipofizės, kiaušidžių cistinė, skydliaukės folikulinė)
Pokyčiai po spindulinio gydymo	Storosios žarnos polipai ar adenomos
Pokyčiai po chemoterapijos	Seilių liaukų navikai
Uždegimo ligos, ypač granulioziniai procesai (pvz.: sarkoidozė, grybinės, mikobakterinės infekcijos)	Lejomoma
Stomų, drenų vietos	Aneurizminė kaulo cista
Tiroiditas	Stambiųjų ląstelių navikas
Ezofagitas, gastritas, žarnyno uždegimo liga	Hiperplazija ir displacija
Ūminis ar lėtinis (dažniausiai) pankreatitas	Gveivso liga
Ūminis cholangitas ar cholecistitas	Kušingo liga
Osteomielitas, neseni lūžiai, sąnarių protezai	Kaulų čiulpų hiperplazija
Limfadenitas	Pedžeto liga
Išemija/priblokštasis miokardas	Fibrozinė displazija

tinės sistemos, prostatos, neuroendokrinių navikų, hepatoceliulinės, skydliaukės karcinomų atvejais. Reikšmingos įtakos rezultatams gali turėti naviko nekrozė – fiksuojamas tik nežymus netolygus telkimas gali būti vertinamas kaip nespecifinis. Dėl mažo dydžio ir kvėpavimo judesių smulkūs (<8 mm) ir palei pleurą esantys navikiniai dariniai gali būti klaidingai palaikyti metaboliškai neaktyviais.

RADIACINĖ SAUGA

PET-KT tyrimo metu pacientai yra veikiami kombinuotos spinduliuotės, kurią sudaro RPF radioaktyvaus izotopo sąlygota spinduliuotė ir apšvita dėl tyrimo KT dalies. Pastaraisiais metais visame pasaulyje pabrėžiama medicininės apšvitos didėjimo ir su ja susijusios vėžio rizikos augimo tendencija, analizuojami poveikiai skirtingoms pacientų grupėms, ieškoma būdų apšvitai mažinti. Atliekant viso kūno PET-KT su ¹⁸F-FDG, suaugusiesiems sušvirkščiamama 350–740 MBq radioaktyviosios medžiagos, kuri šlapimo pūslėje gali sąlygoti 0,019 mSv/MBq efektingą dozę. Vaikams sušvirkštus 5,18–7,4 MBq/kg, didžiausia šlapimo pūslės apšvita siekia 0,32 mGy/MBq, kas sudaro iki 0,05mSv/MBq (54–81 proc. sudaro KT apšvita) [24, 33, 34]. Taigi tyrimo metu paciento gaunama efektinga dozė gali siekti 5–80 mSv. Apšvitos sukeliama vėžio rizika proporcinga dozei ir siejama su dozės nulemtaisiais bei atsitiktiniais efektais, kuriems būdingas latentinis periodas. Reikia pažymėti, jog visų atsitiktinių poveikių sukeliama vėžio rizika sumuojasi, kas labai svarbu atliekant tokios didelės apšvitos tyrimus jauniems pacientams. Pavyzdžiui, vieno PET-KT su ¹⁸F-FDG tyrimo metu gauta apšvita 20 metų amžiaus moteriai sukelia 0,231–0,514 proc. (vyrui –

0,163–0,323 proc.) riziką, kad pacientė mirs nuo apšvitos sukkelto vėžio [34]. Taigi svarstant PET-KT tikslingumą reikėtų nepamiršti ir jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio bei laikytis ALARA (angl. *As Low As Reasonably Achievable*) principų.

APIBENDRINIMAS

Galimybė klinikinėje praktikoje remtis ir Lietuvoje priinama viena naujausių vaizdinių-fiziologinių tyrimų metodikų PET-FDG neabejotinai praplečia diagnostinių tyrimų spektrą. Efektyvus PET-KT panaudojimas gali keisti ligos vadybą, tačiau nepakeičia kitų radiologinių, instrumentinių ir histologinio tyrimo metodų ir priklauso nuo visų specialistų gebėjimo dirbti komandoje. Vertinant PET su ¹⁸F-FDG galimybes, svarbu nepamiršti ir tyrimo ribotumo, kurį lemia tyrimo principai – tai iš dalies, bet reikšmingai gali paveikti tyrimo rezultatų vertinimą.

Apibendrinant svarbu pabrėžti klinikinių bei anamnezės duomenų ir paciento paruošimo tyrimui svarbą norint tinkamai atlikti tyrimą ir įvertinti jo rezultatus. Taigi PET tyrimų siunčiančių ir juos atliekančių gydytojų bei pacientų ar jų atstovų bendradarbiavimas yra svarbi kokybiško PET FDG tyrimo atlikimo ir tinkamo duomenų įvertinimo bei pokyčių interpretavimo sąlyga.

POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY – WHAT IS IMPORTANT TO REMEMBER

LAIMA TAMKEVIČIŪTĖ, JURGITA ZAVECKIENĖ, NEMIRA JURKIENĖ
LUHS MA CLINIC OF RADIOLOGY

Keywords: PET, ¹⁸F-FDG, evaluation.

Summary. Positron emission tomography (PET) is still new in Lithuania non-invasive nuclear imaging technique. PET scan provide information about metabolic activity of tissue in vivo, in contrast to other imaging modalities showing its morphology. There are a lot of physiological conditions and benign processes that can induce the metabolism of glucose and reduce the specificity of the ¹⁸F-FDG PET. This is the reason why the anamnesis and clinical data are essential for the evaluation of the PET scans. The diagnostic value also depends on appropriate preparation of the patient. PET can change the management of the disease, but it can't replace other radiological, instrumental and histological examinations.

LITERATŪRA

- Lin EC AA: PET and PET/CT A clinical Guide: Thieme Medical Publishers; 2009.
- Jadvar, H, Parker, JA: Clinical PET and PET/CT. Springer 2005.
- Miele E, Spinelli GP, Tomao F, Zullo A, De Marinis F, Pasciuti G, Rossi L, Zoratto F, Tomao S: Positron Emission Tomography (PET) radiotracers in oncology--utility of ¹⁸F-Fluoro-deoxy-glucose (FDG)-PET in the management of patients with non-small-cell lung cancer (NSCLC). *J Exp Clin Cancer Res* 2008, 27:52-9966-27-52.
- The Royal College of Physicians and the Royal College of Radiologists: Evidence-based indications for the use of PET-CT in the UK 2013. London: RCP, RCR 2013.
- Gambhir SS, Czernin J, Schwimmer J, Silverman DH, Coleman RE, Phelps ME: A tabulated summary of the FDG PET literature. *J Nucl Med* 2001, 42(Suppl):1S-93S.
- Qu X, Huang X, Yan W, Wu L, Dai K: A meta-analysis of (1)(8)FDG-PET-CT, (1)(8)FDG-PET, MRI and bone scintigraphy for diagnosis of bone metastases in patients with lung cancer. *Eur J Radiol* 2012, 81(5):1007-1015.
- Dėl Lietuvos respublikos sveikatos apsaugos ministro 2011 m. Gegužės 9 d. Įsakymo nr. V-449 „dėl ligų ir būklių, kurioms esant atliekami privalomojo sveikatos draudimo fondo biudžeto lėšomis finansuojami pozitronų emisijos tomografijos tyrimai su fluorodeoksigliukoze, ir šių tyrimų atlikimo indikacijų sąrašo patvirtinimo“ pakeitimo. Teisės aktų registras 2014 04 08, nr. 2014-04314.
- Gould MK, Maclean CC, Kuschner WG, Rydzak CE, Owens DK: Accuracy of positron emission tomography for diagnosis of pulmonary nodules and mass lesions: a meta-analysis. *JAMA* 2001, 285(7):914-924.
- Sim YT, Goh YG, Dempsey MF, Han S, Poon FW: PET-CT evaluation of solitary pulmonary nodules: correlation with maximum standardized uptake value and pathology. *Lung* 2013, 191(6):625-632.
- Gould MK, Kuschner WG, Rydzak CE, Maclean CC, Demas AN, Shigemitsu H, Chan JK, Owens DK: Test performance of positron emission tomography and computed tomography for mediastinal staging in patients with non-small-cell lung cancer: a meta-analysis. *Ann Intern Med* 2003, 139(11):879-892.
- Alongi F, Ragusa P, Montemaggi P, Bona CM: Combining independent studies of diagnostic fluorodeoxyglucose positron-emission tomography and computed tomography in mediastinal lymph node staging for non-small cell lung cancer. *Tumori* 2006, 92(4):327-333.
- Warburg O, Wind F, Negelein E: The Metabolism of Tumors in the Body. *J Gen Physiol* 1927, 8(6):519-530.
- Rempel A, Mathupala SP, Griffin CA, Hawkins AL, Pedersen PL: Glucose catabolism in cancer cells: amplification of the gene encoding type II hexokinase. *Cancer Res* 1996, 56(11):2468-2471.
- Rempel A, Mathupala SP, Pedersen PL: Glucose catabolism in cancer cells: regulation of the Type II hexokinase promoter by glucose and cyclic AMP. *FEBS Lett* 1996, 385(3):233-237.
- Macheda ML, Rogers S, Best JD: Molecular and cellular regulation of glucose transporter (GLUT) proteins in cancer. *J Cell Physiol* 2005, 202(3):654-662.
- Cronin P, Dwamena BA, Kelly AM, Carlos RC: Solitary pulmonary nodules: meta-analytic comparison of cross-sectional imaging modalities for diagnosis of malignancy. *Radiology* 2008, 246(3):772-782.
- Shreve PD, Anzai Y, Wahl RL: Pitfalls in Oncologic Diagnosis with FDG PET Imaging: Physiologic and Benign Variants. *Radiographics* 1999, 19(1):61-77.
- Gordon BA, Flanagan FL, Dehdashti F: Whole-body positron emission tomography: normal variations, pitfalls, and technical considerations. *AJR Am J Roentgenol* 1997, 169(6):1675-1680.
- Abouzied MM, Crawford ES, Nabi HA: ¹⁸F-FDG imaging: pitfalls and artifacts. *J Nucl Med Technol* 2005, 33(3):145-55; quiz 162-3.
- Tan LT, Ong KL: Semi-quantitative measurements of normal organs with variable metabolic activity on FDG PET imaging. *Ann Acad Med Singapore* 2004, 33(2):183-185.
- Long NM, Smith CS: Causes and imaging features of false positives and false negatives on F-PET/CT in oncologic imaging. *Insights Imaging* 2011, 2(6):679-698.
- Culverwell AD, Scarsbrook AF, Chowdhury FU: False-positive uptake on 2-[(1)(8)F]-fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) positron-emission tomography/computed tomography (PET/CT) in oncological imaging. *Clin Radiol* 2011, 66(4):366-382.
- Boellaard ,Ronald, Oà™Doherty ,MikeJ., Weber ,WolfgangA., Mottaghy ,FelixM., Lonsdale ,MarkusN., Stroobants ,SigridG., Oyen ,WimJ.G., Kotzerke ,Joerg, Hoekstra ,OttoS., Pruim ,Jan, Marsden ,PaulK., Tatsch ,Klaus, Hoekstra ,CornelineJ., Visser ,EricP., Arends ,Bertjan, Verzijlbergen ,FredJ., Zijlstra ,JooseM., Comans ,EmileF.I., Lammertsma ,AdriaanA., Paans ,AnneM., Willemsen ,AntoonT., Beyer ,Thomas, Bockisch ,Andreas, Schaefer-Prokop ,Cornelia, Delbeke ,Dominique, Baum ,RichardP., Chiti ,Arturo, Krause ,BerndJ.: FDG PET and PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour PET imaging: version 1.0.
- Delbeke D, Coleman RE, Guiberteau MJ, Brown ML, Royal HD, Siegel BA, Townsend DW, Berland LL, Parker JA, Hubner K, Stabin MG, Zubal G, Kachelriess M, Cronin V, Holbrook S: Procedure guideline for tumor imaging with ¹⁸F-FDG PET/CT 1.0. *J Nucl Med* 2006, 47(5):885-895.
- LSMU KK Radiologijos klinika. http://www.kaunoklinikos.lt/klinika26/Pasirengimas%20PET_info%20pacientui.pdf
- Surasi DS, Bhambhani P, Baldwin JA, Almodovar SE, O'Malley JP: (1)(8) F-FDG PET and PET/CT patient preparation: a review of the literature. *J Nucl Med Technol* 2014, 42(1):5-13.
- An YS, Sun JS, Park KJ, Hwang SC, Park KJ, Sheen SS, Lee S, Lee KB, Yoon JK: Diagnostic performance of (18)F-FDG PET/CT for lymph node staging in patients with operable non-small-cell lung cancer and inflammatory lung disease. *Lung* 2008, 186(5):327-336.
- Turkmen C, Sonmezoglu K, Tokar A, Yilmazbayhan D, Dilege S, Halac M, Erelel M, Ece T, Mudun A: The additional value of FDG PET imaging for distinguishing N0 or N1 from N2 stage in preoperative staging of non-small cell lung cancer in region where the prevalence of inflammatory lung disease is high. *Clin Nucl Med* 2007, 32(8):607-612.
- Bakheet SM, Saleem M, Powe J, Al-Amro A, Larsson SG, Mahassin Z: F-18 fluorodeoxyglucose chest uptake in lung inflammation and infection. *Clin Nucl Med* 2000, 25(4):273-278.