Pozitron-emission tomografiya (PET) — tibbiyotda yangi tashxis imkoniyatlari va uning fizik asoslari

[1]Zokirov Abdusamad Soyibjonovich

[2]Raxmonova Gulbahor Ergashevna

[3]Bozorboyeva Fotima

Toshkent davlat tibbiyot universiteti "Tibbiy radiologiya" kafedrasi talabasi T/r
Toshkent davlat tibbiyot universiteti talabasi E-mail: zokirovabdusamad74@gmail.com]

Toshkent davlat tibbiyot universiteti 1-son tibbiyot radiologiyasi kafedrasi professori,
tibbiyot fanlari doktori E-mail: angel0904@mail.ru

Toshkent davlat tibbiyot universiteti, Tibbiy radiologiya kafedrasi magistranti T/r
Toshkent davlat tibbiyot universiteti talabasi E-mail: bfotima4@gmail.com2

Annotatsiya. Pozitron-emission tomografiya (PET) molekulyar vizualizatsiya sohasidagi muhim usul bo‘lib, u bosqichma-bosqich bemor parvarishiga ta’sir ko‘rsatib, xavfsiz, tez va ishonchli usullarni taqdim etadi. Bu esa invaziv muolajalarga ehtiyojni kamaytirish hamda ayrim eskirgan usullarni amaliyotdan chiqarishga yordam beradi. Bundan tashqari, PET kasallik patofiziologiyasida ishtirok etuvchi molekulyar mexanizmlar bilan maqsadli davolash usullari o‘rtasidagi muhim bog‘liqlikni ta’minlaydi. So‘nggi yillarda PET-tasvirlash texnologiyasi dori vositalarini yetkazib berish sohasida ham keng qo‘llanilmoqda. Zamonaviy tadqiqotlar maksimal terapevtik samaradorlikka erishish, aniq maqsadli yo‘naltirish, dozani to‘g‘ri yetkazish va zaharlilikni kamaytirishga qaratilgan yangi tizimlarni ishlab chiqishga yo‘naltirilgan. PET-tasvirlash va nazorat ostida dori yetkazib berish texnologiyalarini birlashtirishga bo‘lgan qiziqish tobora ortib bormoqda. PET asosidagi dori yetkazib berish tizimlari bemorlarni davolash jarayonini tubdan o‘zgartirish salohiyatiga ega. Hozirgacha e’lon qilingan klinik oldi tadqiqot natijalari juda istiqbolli bo‘lib, bunday strategiyalar saraton kasalligini tashxislash va davolash samaradorligini oshirishi hamda bemorlarning hayot sifatini yaxshilashi mumkinligini ko‘rsatmoqda.

Tayanch so‘zlar: (18) F-FDG; PET/KT; PET/MRT; pozitron emission tomografiya, annigilyatsiya

INTRODUCTION

Tibbiy ko'rishning muqobil usullariga bitta fotonli emissiya kompyuter tomografiyasi (SPECT), rentgen tomografiyasi (KT), magnit-rezonans tomografiya (MRI) va funktsional magnit-rezonans tomografiya (fMRI) va ultratovush kiradi.

SPECT - bu tanadagi molekulalarni aniqlash uchun radioligandlardan foydalanadigan PETga o'xshash tasvirlash usuli. SPECT arzonroq va PETga qaraganda past tasvir sifatini ta'minlaydi.

Pozitron emission tomografiya (PET) tekshiruvi to‘qima va a’zolaringizning metabolik yoki biokimyoviy funksiyasini aniqlashga yordam beradigan tasvirlash testidir. PET tekshiruvi odatiy va noodatiy metabolik faollikni ko‘rsatish uchun trassir deb ataladigan radioaktiv dori vositasidan foydalanadi. PET tekshiruvi ko‘pincha kompyuter tomografiyasi (KT) va magnit-rezonans tomografiyasi (MRT) kabi boshqa tasvirlash testlarida kasallik paydo bo‘lishidan oldin kasalliklarda trassirning noodatiy metabolizmini aniqlashi mumkin.

Pozitron Emission Tomografiya (PET) tibbiyotdagi eng ilg‘or tasvirlash usullaridan biri bo‘lib, organlar va to‘qimalarning funksional va metabolik faoliyatini aniqlash imkonini beradi. PET yordamida kasalliklar, ayniqsa saraton, nevrologik buzilishlar va yurak kasalliklari erta bosqichda tashxislanadi. PET inson tanasining biologik jarayonlarini molekulyar darajada o‘rganishga imkon beruvchi yuqori aniqlikdagi texnologiyadir.

PET-ning ishlash mexanizmi

Radioaktiv tracerning qo‘llanilishi:

PET tekshiruviga tayyorgarlik jarayonida bemorga radioaktiv tracer (kuzatuvchi modda) yuboriladi. Ushbu modda metabolik jarayonlarda faol qatnashuvchi molekulalar (masalan, glyukoza, suv, kislorod) bilan bog‘langan holda ishlatiladi.

Eng ko‘p qo‘llaniladigan tracerlardan biri – 18F-fluorodeoksiglyukoza (18F-FDG) bo‘lib, u glyukoza metabolizmini kuzatishga imkon beradi.

Pozitronning annihilyatsiyasi:

Tracer radioaktiv parchalanish jarayonida pozitronga (musbat zaryadli elektron) aylanadi. Pozitron va elektron to‘qnashganda annihilyatsiya yuz beradi va gamma-nurlari chiqariladi. Ushbu gamma-nurlar PET skaneri yordamida qayd etiladi.

Gamma-nurlarni aniqlash:

PET skaneri gamma-nurlarni qayd etish uchun maxsus detektorlar bilan jihozlangan. Gamma-nurlar tananing turli nuqtalaridan tarqalgan holda detektorlarga yetib boradi. Ushbu detektorlar gamma-nurlar yo‘nalishini va energiyasini aniqlaydi. To‘plangan ma’lumotlar PET skaneri bilan bog‘langan kompyuterga uzatiladi.

Tasvirni qayta ishlash va yaratish

Kompyuter gamma-nurlar haqidagi ma’lumotlarni analiz qilib, organlarning uch o‘lchamli (3D) funksional tasvirini hosil qiladi. Bu tasvir orqali shifokor

Organlarning metabolik faoliyatini kuzatadi.

Kasallikning mavjudligi yoki yo‘qligini aniqlaydi.

Kasallik o‘choqlari, ularning darajasi va tarqalishini baholaydi.

Tasvirlar yuqori aniqlikka ega bo‘lib, shifokorlarga o‘z vaqtida tashxis qo‘yish va samarali davolash rejalarini ishlab chiqish imkonini beradi.

PET tasvirlashning asosiy qo‘llanilish sohalari

Onkologiya (Saraton tashxisi)

PET saraton o‘choqlarini aniqlash, ularning darajasini baholash va metastazlarni kuzatishda samarali.Saraton hujayralari odatda yuqori metabolik faollikka ega bo‘lganligi sababli, tracer ko‘p miqdorda ushbu joylarda to‘planadi.Shishning o‘lchami, tarqalishi va davolanishga javobini kuzatishda PET aniq natijalar beradi.

PET skanerlarini diqqat bilan talqin qilish kerak, chunki saraton bo'lmagan holatlar saraton kabi ko'rinishi mumkin. Bundan tashqari, ba'zi saraton kasalliklari PET skanerlarida ko'rinmaydi. Qattiq o'smalarning ko'p turlarini PET-CT va PET-MRI skanerlari yordamida aniqlash mumkin, jumladan:

Miya.

Ko'krak.

Bachadon bo'yni.

Kolorektal.

Qizilo'ngach.

Bosh va bo'yin.

O'pka.

Limfa tizimi.

Oshqozon osti bezi.

Prostata.

Teri.

Qalqonsimonbez.

Pozitron Emission Tomografiyaning (PET) nevrologiyada qo‘llanilishi

Altsgeymer kasalligi:

PET yordamida Altsgeymer kasalligining erta bosqichida miya metabolizmining pasayishini aniqlash mumkin. Altsgeymer bilan bog‘liq o‘zgarishlar asosan miya qobig‘ining ayrim hududlarida (masalan, temporal va parietal mintaqalarda) kuzatiladi. PETda glyukoza metabolizmining pasayishi, shuningdek, amiloid beta plakalari va tau oqsillarini ko‘rsatadigan tracerlardan foydalaniladi. Bu kasallikning sabablarini batafsil o‘rganish imkonini beradi.

Parkinson kasalligi va boshqa harakat buzilishlari:

PET yordamida Parkinson kasalligida dopamin ishlab chiqaruvchi neyronlarning faoliyatini baholash mumkin. PET tekshiruvi substantia nigra hududidagi dopamin reseptorlarining holatini aniqlaydi va dopaminning yetishmovchiligini aniqlashga yordam beradi. Parkinson sindromi va unga o‘xshash boshqa kasalliklarni boshqa harakat buzilishlaridan ajratishda muhim ahamiyatga ega.

Epilepsiya:

PET epilepsiya kasalligining o‘choqlarini aniqlashda qo‘llaniladi. Epileptik o‘choqlar odatda metabolik faoliyatning pasayishi yoki o‘zgarishi bilan xarakterlanadi. PET orqali bu o‘zgarishlar aniqlanib, jarrohlik amaliyoti zaruratini aniqlashga yordam beradi.

Miya o‘sma va shishlarini tashxislash

PET miya o‘smalarining metabolik faolligini aniqlash uchun ishlatiladi. Saraton hujayralari sog‘lom hujayralarga qaraganda yuqori metabolik faollikka ega bo‘ladi, bu PET tasvirlarida aniqlanadi. PET orqali miya o‘smasining darajasi, tarqalish chegarasi va metastazlar aniqlanadi. Bu o‘smaning operatsiyadan keyingi qayta o‘sishini kuzatishda ham qo‘llaniladi.

Miya faoliyati tadqiqotlari

PET texnologiyasi miya faoliyatini o‘rganish uchun tadqiqotlarda keng qo‘llaniladi: Miya hududlarining funksional faolligini, masalan, fikrlash, xotira, til yoki hissiy jarayonlar bilan bog‘liq faoliyatni o‘rganish. Psixologik kasalliklar (masalan, shizofreniya, depressiya yoki bipolyar buzilishlar)ni tushunishda PET orqali neyrotransmitterlar faoliyatini baholash.

Pozitron Emission Tomografiyaning (PET) kardiologiyada qo‘llanilishi

PET kardiologiya sohasida yurak to‘qimalarining metabolizmini, qon aylanishini va yurak faoliyatini molekulyar darajada baholash uchun foydalaniladi. PETning yuqori sezgirligi yurak kasalliklarini erta bosqichda aniqlash va davolash rejalarini optimallashtirishga yordam beradi. Quyida uning asosiy qo‘llanilish yo‘nalishlari keltirilgan:

Miokardning hayotiyligini baholash

PET yordamida yurak mushaklari (miokard)ning tirik qolgan qismlarini (hayotiyligini) aniqlash mumkin. Miokard infarktidan keyin ayrim yurak to‘qimalari qon yetishmovchiligidan zararlangan bo‘lsa-da, ular hali ham tiklanishi mumkin bo‘ladi. PET bu tirik, ammo faol bo‘lmagan (hibernatsiya holatidagi) hujayralarni aniqlaydi. Bu ma’lumotlar yurakni qon bilan ta’minlashni tiklash uchun qilingan jarrohlik (masalan, koronar shuntlash yoki angioplastika) zaruratini aniqlashga yordam beradi.

Miokard ishemiyasini aniqlash

PET texnologiyasi miokardning qon bilan ta’minlanishini kuzatish imkonini beradi. Qon oqimining buzilishlarini (masalan, ishemiya) aniqlashda juda samarali bo‘lib, u miokard perfuziyasining molekulyar darajada baholash imkoniyatini beradi. Radioaktiv tracerlar (masalan, 13N-ammoniy yoki 82Rb) yurak mushaklariga qanday qon kelishini kuzatadi. Bu jarayon stress testlari bilan birgalikda ishlatilganda ishemiya o‘choqlarini aniqlashda aniq natijalar beradi.

Koronar arteriya kasalliklarini aniqlash

PET koronar arteriyalarda yuzaga keladigan torayish yoki tiqilishlarni baholashda ishlatiladi. PET yordamida yurak mushaklariga yetib borayotgan qon miqdori va oqimini aniqlab, aterosklerotik blyashkalarni va ularning yurakka ta’sirini baholash mumkin.

Kardiyometabolik jarayonlarni tahlil qilish

PET yordamida yurak mushaklarining energiya almashinuvi va metabolik jarayonlari tahlil qilinadi. Yurak hujayralarining glukoza yoki yog‘ kislotalarini qanday ishlatayotganini aniqlash orqali metabolik buzilishlar haqida ma’lumot olish mumkin. Bu qandli diabetga bog‘liq yurak kasalliklarini aniqlashda ham qo‘llaniladi.

Kardiyomiopatiyalarni tashxislash

PET yordamida turli xil kardiyomiopatiyalar (masalan, dilatatsion yoki gipertrofik)da yurak mushaklarining metabolik faolligi va strukturaviy o‘zgarishlari tahlil qilinadi. Yallig‘lanish yoki fibroz jarayonlarini aniqlash imkonini beradi.

Yurak kasalliklarini davolash samaradorligini baholash

PET texnologiyasi yurakni davolashning turli usullari (masalan, jarrohlik yoki dori vositalari) samaradorligini baholash uchun ishlatiladi. Masalan, koronar shuntlash yoki angioplastikadan keyin yurak mushaklarining tiklanish jarayoni kuzatiladi.

Pozitron Emission Tomografiyaning (PET) farmatsevtika va tadqiqotlarda qo‘llanilishi

PET texnologiyasi nafaqat diagnostika, balki farmatsevtika sohasida va ilmiy tadqiqotlarda ham keng qo‘llaniladi. Ushbu texnologiya dorilarning ta’sirini baholash va biologik jarayonlarni molekulyar darajada tushunish uchun samarali vositadir. Quyida uning farmatsevtika va tadqiqotlardagi qo‘llanilish yo‘nalishlari keltirilgan.

Dorilarni ishlab chiqish va sinovdan o‘tkazish

PET farmatsevtika sanoatida yangi dorilarni ishlab chiqish va ularning ta’sir mexanizmlarini o‘rganish uchun ishlatiladi: Dorining maqsad joyiga yetib borishi: PET yordamida dori moddalarining organizmdagi taqsimlanishi va to‘qimalardagi konsentratsiyasi aniqlanadi. Biokiraolishlikni baholash: Dorilarning organizmda qanchalik yaxshi singishi va metabolizmga uchrashi kuzatiladi. Dozalashni aniqlash: Optimal dori dozalarini belgilashda PET orqali aniqlangan metabolik ma’lumotlardan foydalaniladi. Yon ta’sirlarni o‘rganish: Dorining maqsad joyidan tashqari boshqa organ yoki to‘qimalarga ta’siri kuzatiladi

Biomarkerlarni rivojlantirish

PET texnologiyasi yangi biomarkerlarni ishlab chiqish va ularni klinik amaliyotga joriy qilishda ishlatiladi: Biomarkerlar turli kasalliklarni erta tashxislash va davolash uchun diagnostik vosita sifatida qo‘llaniladi. PET yordamida biomarkerlarning to‘g‘ri ishlashi va maqsadli molekulalar bilan o‘zaro ta’siri baholanadi.

Neyropsixologik tadqiqotlar

PET nevrologiya sohasida turli xil dorilarning ta’sirini tadqiq qilishda qo‘llaniladi: Neyrotransmitterlar (masalan, dopamin, serotonin) faoliyatini o‘rganish. Depressiya, shizofreniya yoki Altsgeymer kabi kasalliklarda ishlatiladigan dorilarning ta’sir mexanizmini tushunish. Psixotrop dorilarning (masalan, antidepressantlar) miya faoliyatiga ta’sirini o‘rganish.

Saraton tadqiqotlari

PET texnologiyasi saraton kasalligini o‘rganish va davolash uchun ishlatiladigan yangi usullarni tadqiq qilishda muhim vositadir: Immunoterapiya va kimyoterapiya monitoringi: PET yordamida davolashning samaradorligi kuzatiladi. Saraton biomarkerlarini ishlab chiqish: Saraton hujayralarini aniqroq aniqlaydigan tracerlarni yaratish. Radioterapiyani optimallashtirish: PET yordamida radioterapiya uchun zararlangan hududni aniqlash.

Metabolik jarayonlarni tadqiq qilish

PET organizmdagi asosiy metabolik jarayonlarni o‘rganish uchun ishlatiladi: Glyukoza, yog‘ kislotalari yoki kislorodning turli organlar va to‘qimalardagi metabolizmini tahlil qilish. Energiya almashinuvining turli kasalliklarda (masalan, diabet yoki yurak-qon tomir kasalliklarida) qanday o‘zgarishini aniqlash.

Dori moddalarining xavfsizligini baholash

PET yordamida yangi dorilar klinik sinovlarning dastlabki bosqichlarida sinovdan o‘tkaziladi: Dorining inson organizmiga kiritilganda qanday ta’sir ko‘rsatishi aniqlanadi. Yon ta’sirlarni aniqlash va ularning molekulyar asoslarini tushunish imkonini beradi. PET orqali hayvonlar modeli yoki insonda o‘tkaziladigan sinovlarning natijalari o‘zaro solishtiriladi.

Individualizatsiyalangan davolashni rivojlantirish

PET orqali dorilarning turli xil bemorlarda qanchalik samarali ekanligini kuzatish mumkin. Genetik, biologik yoki metabolik farqlarga asoslangan holda dorilarni moslashtirishda qo‘llaniladi. Turli kasalliklar uchun aniq diagnostika va maqsadli davolash rejalarini ishlab chiqishda yordam beradi.

Radiofarmatsevtika rivojlantirish

PET texnologiyasida ishlatiladigan tracerlar radiofarmatsevtika sohasidagi ilmiy izlanishlarning muhim yo‘nalishidir: Yangi tracerlarni yaratish va ularning biologik maqsadlarga mosligini baholash. Diagnostika va davolash uchun qo‘llaniladigan radiofarmatsevtik preparatlarning samaradorligini oshirish.

PET texnologiyasining kelajak istiqbollari (PET) - bu

Pozitron emission tomografiya (PET) texnologiyasi hozirgi kunda tibbiy diagnostikaning muhim qismi bo‘lib, kelajakda yanada rivojlantirilishi kutilmoqda. PET texnologiyasining istiqbollari quyidagicha:

1. Ko‘rish qobiliyatini oshirish

Yangi detektor materiallari va algoritmlari yordamida signallarni aniqlash aniqligini sezilarli darajada oshirish mumkin. Bu kichikroq o‘smalarni va past konsentratsiyalarda metabolik jarayonlarni aniqlashga yordam beradi.

2. Gibrid tizimlarni kengaytirish

PET bilan birgalikda boshqa diagnostika usullari, masalan, PET/MRT yoki PET/KT keng qo‘llanilmoqda. Ushbu usullar turli xil kasalliklarni yuqori aniqlikda o‘rganish imkonini beradi va davolash rejalarini optimallashtirishga yordam beradi.

3. Belgilangan radiotrasserlarni ishlab chiqish

Yangi radioaktiv izotoplar va maqsadli markerlarning yaratilishi muayyan a’zolar yoki kasallik jarayonlarini aniqlash imkoniyatlarini kengaytiradi. Individuallashtirilgan terapiya uchun molekulyar nishonlar haqida aniq tushunchaga ega bo‘lish ayniqsa muhimdir.

4. Sun’iy intellekt va ma’lumotlar tahlili

PET ma’lumotlarini tahlil qilish va natijalarni talqin qilish uchun sun’iy intellekt algoritmlaridan foydalaniladi. Bu sizga natijalarni tezroq va aniqroq olish imkonini beradi.

5. Miniatyuralashtirish va mobil texnologiyalar

Ko‘chma PET tizimlari joyida tashxis qo‘yishni ta’minlash uchun rivojlandi. Bu, ayniqsa, qishloq joylari va kam xizmat ko‘rsatiladigan hududlar uchun muhim bo‘lishi mumkin.

XULOSA

Pozitron emission tomografiya (PET) diagnostika tibbiyotida yuqori aniqlik va ishonchlilikni ta’minlaydigan innovatsion texnologiyadir. PETning asosiy afzalligi shundaki, u molekulyar va hujayraviy darajadagi o‘zgarishlarni aniqlay oladi, bu esa kasalliklarni erta bosqichda aniqlashga yordam beradi. Bu, ayniqsa, saraton, yurak-qon tomir va nevrologik kasalliklarda juda muhimdir.

PET texnologiyasi tashxis qo‘yish va davolash o‘rtasidagi tafovutni bartaraf etish imkoniyatiga ega. Innovatsion radioaktiv izotoplar yordamida davolash samaradorligini nazorat qilish va kasallik dinamikasini kuzatish imkoniyati uning keng qo‘llanilishini

ta’minlaydi. Gibrid texnologiyalar (masalan, PET/KT va PET/MRT) bilan integratsiya, shuningdek, bir vaqtning o‘zida morfologik va metabolik ma’lumotlarni olish imkonini beradi.

Bundan tashqari, PET texnologiyasining rivojlanishi quyidagi sohalarda sezilarli ijobiy natijalarga olib kelmoqda:

• Sun’iy intellekt va ma’lumotlarni avtomatlashtirilgan tahlil qilish orqali diagnostika jarayonini tezlashtirish.

• Aniqlangan markerlarni ishlab chiqish bilan individual davolash rejasini ishlab chiqish.

• Miniatyuralashtirish va ko‘chma tizimlar orqali kam xizmat ko‘rsatiladigan hududlarda diagnostika imkoniyatlarini kengaytirish.

Kelajakda PET texnologiyasi nafaqat klinik diagnostika, balki ilmiy tadqiqotlar va farmatsevtikada ham qo‘llaniladi. Uning iqtisodiy samaradorligini oshirish va texnologiyani ommaga yetkazish jahon sog‘liqni saqlash tizimi uchun muhim qadamdir. PET texnologiyasi inson salomatligini yaxshilash va murakkab kasalliklarni aniqlashda asosiy vosita bo‘ladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Willemse JRJ, et al. FDG PET/CT in cancer of unknown primary: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2024;51(5):1201–1215.
2. Groheux D, et al. Role of 18F-FDG PET/CT in metastatic breast cancer: recent advances. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2024;51(3):845–859.
3. Molnar O, et al. Modern radiopharmaceuticals in PET/CT imaging: a comprehensive review. *Diagnostics (Basel).* 2024;14(2):210.
4. Sharma A, et al. Clinical applications of PET/CT in head and neck cancers. *Cancers (Basel).* 2024;16(4):785.
5. Caresia AP, et al. FAPI PET/CT in oncology: emerging clinical applications. *J Nucl Med.* 2024;65(6):987–995.
6. Zajkowska K, et al. FDG PET/CT in lymphoma: updated clinical role. *Diagnostics (Basel).* 2024;14(6):670.
7. van der Broeck LCA, et al. FDG PET/CT in infection and inflammation imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2024;51(7):1800–1814.
8. Ebner R, et al. Advances in PET/CT imaging for cancer staging and restaging. *Eur J Radiol.* 2025;172:111234.
9. Han EJ, et al. Clinical utility of FDG PET/CT in oncology patients: recent developments. *Diagnostics (Basel).* 2025;15(1):55.

10. Boellaard R, et al. Updated EANM guidelines for FDG PET/CT imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2025;52(2):300–320.
11. Kapsoritakis N, et al. PET/CT in pulmonary nodules: diagnostic performance and clinical impact. *Respir Med.* 2025;210:107145.
12. Safarian A, et al. Radiomics and artificial intelligence in PET imaging of lung cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2025;52(4):950–965.
13. Mladin R, et al. PET/CT for monitoring immunotherapy response in non-small cell lung cancer. *Diagnostics (Basel).* 2025;15(3):320.
14. Pu Y, et al. Diagnostic value of PET/CT in pulmonary lymphoma. *Front Oncol.* 2025;15:1287456.