POZITRON EMISSION TOMOGRAFIYANING GIBRID TIZIMLARI (PET/KT VA PET/MRT): FIZIK-TEXNIK ASOSLARI VA KLINIK QO‘LLANILISHI

Xurramova Mohinur Raximjonovna
Samarqand davlat tibbiyot universiteti o‘qituvchisi, Samarqand, O‘zbekiston
Qo‘chqorboyeva Durdona Hamza qizi
Samarqand davlat tibbiyot universiteti talabasi, Samarqand, O‘zbekiston

Annotatsiya. Maqolada radiofarmpreparatning (RFP) inson tanasidagi tarqalishini morfologik tuzilmalar bilan millimetr aniqligida bog‘lash muammosi va uni hal etuvchi gibrid tasvirlash tizimlari – PET/KT hamda PET/MRT tahlil qilingan. Pozitron emission tomografiyaning (PET) fizik asoslari, bir fotonli emission tomografiya (OFEKT) bilan qiyosiy xususiyatlari, kompyuter tomografiyasi (KT) va magnit-rezonans tomografiyasi (MRT) bilan birlashtirishning afzalliklari o‘zbek va rus tilidagi hamda xalqaro ilmiy manbalar asosida yoritilgan. Klinik qo‘llanilishi onkologiya, kardiologiya va nevrologiya, shuningdek, dori vositalarining farmakokinetikasini o‘rganish misolida ko‘rsatilgan. Adabiyotda keltirilgan ma’lumotlarga ko‘ra, 18F-FDG PET/KT ko‘krak bezi saratonida uzoq metastazlarni aniqlashda sezgirlik 95 %, o‘ziga xoslik 93,3 % ni, an’anaviy nurli diagnostika usullari esa mos ravishda 80 % va 67,5 % ni tashkil etgan. Maqola nuklear tibbiyot, tibbiy fizika va radiologiya bo‘yicha o‘qitishda foydalanish uchun mo‘ljallangan.

Kalit so‘zlar: pozitron emission tomografiya, PET/KT, PET/MRT, radiofarmpreparat, 18F-FDG, gibrid tasvirlash, nuklear tibbiyot, onkologiya.

Хуррамова Мохинур Рахимжоновна
Преподаватель, Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан
Кучкарбоева Дурдона Хамза кизи
Студентка, Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан

ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННОЙ ТОМОГРАФИИ (ПЭТ/КТ И ПЭТ/МРТ): ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И КЛИНИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. В статье рассматривается проблема точной (с точностью до миллиметров) привязки распределения радиофармпрепарата (РФП) в организме человека к морфологическим структурам и гибридные системы визуализации, решающие эту задачу, – ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ. На основе узбекских, российских и международных источников изложены физические основы позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), её отличия от однофотонной эмиссионной томографии (ОФЭКТ), преимущества совмещения с компьютерной (КТ) и магнитно-резонансной томографией (МРТ). Клиническое применение показано на примере онкологии, кардиологии и неврологии, а также изучения фармакокинетики лекарственных средств. По данным литературы, при выявлении отдалённых метастазов рака молочной железы чувствительность ПЭТ/КТ с 18F-ФДГ составила 95 %, специфичность – 93,3 %, тогда как для традиционных методов лучевой диагностики – 80 % и 67,5 % соответственно. Статья предназначена для использования в преподавании ядерной медицины, медицинской физики и радиологии.

Ключевые слова: позитронно-эмиссионная томография, ПЭТ/КТ, ПЭТ/МРТ, радиофармпрепарат, 18F-ФДГ, гибридная визуализация, ядерная медицина, онкология.

Khurramova Mohinur Rakhimjonovna
Lecturer, Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan
Kuchkarboyeva Durdona Hamza kizi
Student, Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan

HYBRID POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY SYSTEMS (PET/CT AND PET/MRI): PHYSICAL AND TECHNICAL FOUNDATIONS AND CLINICAL APPLICATION

Abstract. The article addresses the problem of linking the distribution of a radiopharmaceutical in the human body to morphological structures with millimeter accuracy, and the hybrid imaging systems that solve it – PET/CT and PET/MRI. Based on Uzbek, Russian and international sources, it describes the physical principles of positron emission tomography (PET), its differences from single-photon emission tomography (SPECT), and the advantages of combining it with computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI). Clinical applications are illustrated by oncology, cardiology and neurology, as well as pharmacokinetic studies of drugs. According to the literature, in detecting distant metastases of breast cancer the sensitivity of 18F-FDG PET/CT was 95% and specificity 93.3%, versus 80% and 67.5% for conventional imaging. The article is intended for teaching nuclear medicine, medical physics and radiology.

Keywords: positron emission tomography, PET/CT, PET/MRI, radiopharmaceutical, 18F-FDG, hybrid imaging, nuclear medicine, oncology.

KIRISH

Radiofarmpreparat (RFP) tanaga kiritilgach, uning qaysi organ va to‘qimada qanchalik to‘planganini aniq bilish nuklear tibbiyotning asosiy vazifalaridan biridir. Faqat funksional (emission) tasvir RFP tarqalishi haqida ma’lumot bersa-da, bu faollik o‘choqlari qaysi morfologik tuzilmaga tegishli ekanini aniq ko‘rsatmaydi. Muammoni hal etish uchun emission tomografni rentgen kompyuter tomografi (KT) bilan, so‘ngra magnit-rezonans tomograf (MRT) bilan birlashtirish g‘oyasi ilgari surilgan .

O‘zbekistonda yadro tibbiyoti 60 yildan ortiq rivojlanib kelmoqda: O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Yadro fizikasi instituti tibbiyot uchun radionuklidlar ishlab chiqaradi, so‘nggi yillarda esa PET/KT yo‘nalishi tez sur’atlar bilan rivojlanmoqda; institut direktori bergan intervyuda Toshkentda bemorlarni qabul qiladigan uchta PET markaz faoliyat yuritayotgani ta’kidlangan. Mamlakatdagi nuklear tibbiyotning 2022–2025-yillardagi holati va Toshkent markazlarida PET/KT tekshiruvlaridan olinadigan samarali nurlanish dozalari tahlil qilingan ishlar ham e’lon qilingan

Maqolaning maqsadi – PET va uning gibrid tizimlari (PET/KT, PET/MRT) ning fizik-texnik asoslarini, ustunliklarini va klinik qo‘llanilishini o‘zbek, rus va xalqaro adabiyotlar asosida tizimlashtirishdir. Vazifalar: (1) PET ishlash tamoyilini bayon etish; (2) uni OFEKT bilan taqqoslash; (3) PET/KT va PET/MRT tizimlarining afzalliklarini ko‘rsatish; (4) klinik qo‘llanish yo‘nalishlarini va tasdiqlovchi ma’lumotlarni keltirish.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA TADQIQOT USULLARI

Tadqiqot nazariy-tahliliy xarakterga ega bo‘lib, unda adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish, tizimlashtirish va umumlashtirish usullaridan foydalanildi. Tahlilga PET bo‘yicha rus tilidagi monografiya va milliy qo‘llanma , Sibir onkologiya jurnalidagi klinik tadqiqotlar, radionuklid teranostikasi sharhi O‘zbekistondagi nuklear tibbiyot holatiga bag‘ishlangan maqola hamda

PET radiofarmatsevtikasi, PET/KT texnikasi va klinik samaradorligiga doir xorijiy ishlar jalb etildi.

Gibrid tizimlarni klinik baholash bo‘yicha asosiy empirik ma’lumotlar sifatida Chanchikova N.G. va hammualliflarining retrospektiv tadqiqoti olindi: unda ko‘krak bezi saratoni (II–IV bosqich) bilan kasallangan 50 nafar bemorda 18F-FDG PET/KT natijalari an’anaviy nurli diagnostika usullari bilan solishtirilgan.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Bir fotonli emission tomograf (OFEKT) ham, gamma-kamera ham biologik faol moddalarning tarqalishini o‘rganishga imkon beradi, biroq PET buni tezroq va aniqroq bajaradi. PET ning fazoviy ajrata olish qobiliyati OFEKT dagidan yuqori; yengil, qisqa yashovchi izotoplar bilan belgilangan RFP larni o‘rganish mumkin, bunday preparatlar organizmdagi metabolik jarayonlar haqida ko‘proq ma’lumot beradi. Bundan tashqari, PET uchun preparatlar organizmning o‘z tarkibiy elementlari asosida yaratilishi tadqiq etiladigan jarayonlar doirasini kengaytiradi. Qiyosiy xususiyatlar 1-jadvalda umumlashtirilgan.

1-jadval. OFEKT, PET, PET/KT va PET/MRT tizimlarining qiyosiy tavsifi

Ko‘rsatkich	**OFEKT**	**PET**	**PET/KT**	**PET/MRT**
Axborot turi	Funksional	Funksional-metabolik	Funksional + morfologik (KT)	Funksional + morfologik (MRT)
Fazoviy ajrata olish	Nisbatan past	OFEKT dan yuqori (5–10 mm)	PET tasviri KT anatomik tasviriga joylashtiriladi	PET tasviri MRT tasviriga joylashtiriladi
Tipik izotoplar	99mTc, 111In	18F, 11C	18F, 11C	18F, 11C
Yumshoq to‘qimalar	Yo‘q (anatomiya ko‘rinmaydi)	Yo‘q	KT da kontrast cheklangan	Yuqori kontrast
Qo‘shimcha rentgen nurlanishi	Yo‘q	Yo‘q	Bor (KT komponenti)	Yo‘q (MRT komponenti)

PET/KT tizimida bemor avval rentgen kompyuter tomografida skanerlanadi va uning morfologik tuzilmalari tasviri hosil qilinadi, so‘ngra o‘sha stolda RFP tarqalishini aniqlovchi PET qismidan o‘tkaziladi. Natijada RFP ning inson ichidagi tarqalishini anatomik tuzilmalar bilan bog‘lab ko‘rsatuvchi qo‘sh (kombinatsiyalangan) tasvir hosil bo‘ladi. KT qismi faqat suyak tuzilmalarini emas, tananing istalgan organini tasvirlashga imkon beradi. Amaliyotda KT yana bir muhim vazifani bajaradi: u PET ma’lumotlarini zaiflashuv (attenuatsiya) bo‘yicha tuzatish uchun past dozali holda qo‘llaniladi.

Klinik protokolga misol: 18F-FDG tekshiruvdan kamida 6 soat och qoringa venaga 300–550 MBk dozada yuboriladi, skanerlash 60–90 daqiqadan so‘ng butun tana bo‘yicha (ko‘z kosasi sathidan sonning o‘rta uchdan bir qismigacha) past dozali KT bilan birgalikda bajariladi. PET va KT qismlarining texnik jihatlari, vazifalari va yechimlari alohida ishlarda yoritilgan

Klinik qo‘llanilishi

PET tashxisi eng ko‘p onkologiya, kardiologiya va nevrologiyada qo‘llanadi; onkologiyada foydalanish eng keng. Usul kasallikning dastlabki bosqichida shishlarni aniqlash, metastazlarni, ya’ni tanadagi kichik yangi o‘choqlarning tarqalishini topish imkonini beradi

Yurak-qon tomir kasalliklarida PET miokard qon oqimini va koronar zaxirani noinvaziv baholashda qo‘llaniladi. Kolorektal saraton bo‘yicha adabiyot sharhi 18F-FDG PET ni kasallikni aniqlash, bosqichini belgilash va monitoring qilishda istiqbolli usul deb baholagan . Radionuklid teranostikasi – tashxis va davoni bitta radiofarmatsevtik platformada birlashtirish – ham nuklear tibbiyotning rivojlanayotgan yo‘nalishi hisoblanadi

Gibrid tizimning samaradorligini tasdiqlovchi ma’lumotlar 2-jadvalda keltirilgan. Chanchikova va hammualliflari tadqiqotida 50 nafar bemorda an’anaviy usullar uzoq metastazlarga shubha tug‘dirgan 29 nafar bemordan 16 nafarida jarayon tasdiqlangan; 18F-FDG PET/KT esa 21 nafar bemorda uzoq metastazlarni aniqladi (ikki holat tasdiqlanmadi), bir bemorda keyinchalik plevra metastazi topildi. Sezgirlik va o‘ziga xoslik quyidagi formulalar bo‘yicha hisoblangan: sezgirlik = IM/(IM+YaM)×100 %, o‘ziga xoslik = IS/(YaMu+IS)×100 %, bunda IM – chin musbat, YaM – yolg‘on manfiy, YaMu – yolg‘on musbat, IS – chin manfiy natijalar soni.

2-jadval. Ko‘krak bezi saratonida uzoq metastazlarni aniqlash natijalari (n = 50)

Ko‘rsatkich	**18F-FDG PET/KT**	**An’anaviy nurli usullar**
Chin musbat natijalar	19	16
Chin manfiy natijalar	28	18
Yolg‘on musbat natijalar	2	13
Yolg‘on manfiy natijalar	1	3
Sezgirlik	95 %	80 %
O‘ziga xoslik	93,3 %	67,5 %

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, PET/KT an’anaviy usullarga nisbatan ham sezgirlik, ham o‘ziga xoslik bo‘yicha ustun: ayniqsa yolg‘on musbat natijalar soni 13 tadan 2 taga kamaygan. Bunda PET/KT 3 nafar (16 %) bemorda an’anaviy usullar aniqlay olmagan metastazlarni topgan. Shu bilan birga, mualliflar usulning kichik va noinvaziv shishlarni, ya’ni birlamchi tashxis bosqichida qo‘llanishi cheklangan ekanini, metod esa uzoq metastazlar va retsidivlarni aniqlashda yuqori axborot berishini qayd etgan 18F-FDG PET/KT ning boshqa bir tadqiqotda (katta birlamchi ko‘krak bezi saratonining operatsiyadan oldingi bosqichini aniqlash) an’anaviy usullar bilan taqqoslanishi ham o‘rganilgan

XULOSA

Tahlil shuni ko‘rsatdiki, PET gibrid tizimlari (PET/KT, PET/MRT) RFP tarqalishini aniq morfologik tuzilmalar bilan bog‘lash muammosini hal etadi: PET funksional-metabolik, KT yoki MRT esa anatomik ma’lumot beradi. PET OFEKT ga nisbatan fazoviy ajrata olish qobiliyati yuqoriligi va keng doiradagi qisqa yashovchi RFP lardan foydalanish imkoniyati bilan ustun, ammo uning o‘z cheklovlari (fazoviy ajrata olish 5–10 mm, tasvir sifatining doza va nurlanishga bog‘liqligi) mavjud, ularni gibrid tizimlar kamaytiradi.

Klinik jihatdan PET/KT onkologiyada eng samarali bo‘lib, ko‘krak bezi saratonida uzoq metastazlarni aniqlashda sezgirlik 95 %, o‘ziga xoslik 93,3 % ga yetgan, an’anaviy usullarda esa 80 % va 67,5 % bo‘lgan. Kardiologiya, nevrologiya va farmakokinetik tadqiqotlarda ham usul keng istiqbolga ega. O‘zbekistonda PET/KT yo‘nalishining rivojlanishi bilan nurlanish

xavfini baholash, protokollarni optimallashtirish va mutaxassislarni tayyorlash dolzarb vazifa bo‘lib qolmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. «Jahon bo‘yicha ayrim izotoplarning yarmi O‘zbekistondan olinadi» – Yadro fizikasi instituti direktori bilan suhbat // Kun.uz. – URL: https://kun.uz/uz/46632471
2. Чанчикова Н.Г., Карлова Е.А., Савельева А.С., Силкина О.А., Чернов В.И., Зельчан Р.В., Синилкин И.Г., Брагина О.Д., Медведева А.А. Использование позитронно-эмиссионной томографии для выявления отдаленных метастазов у больных раком молочной железы // Сибирский онкологический журнал. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 90–96. – doi: 10.21294/1814-4861-2020-19-1-90-96.
3. Fuster D., Duch J., Paredes P., et al. Preoperative staging of large primary breast cancer with [18F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography compared with conventional imaging procedures // Journal of Clinical Oncology. – 2008. – Vol. 26, № 29. – P. 4746–4751. – doi: 10.1200/JCO.2008.17.1496.
4. Чернов В.И., Гончарова Н.М., Гольдберг В.Е. и др. Применение ПЭТ/КТ в диагностике, стадировании и мониторинге колоректального рака // Сибирский онкологический журнал. – 2019. – Т. 18, № 4. – С. 67–77. – doi: 10.21294/1814-4861-2019-18-4-67-77.
5. Чернов В.И., Брагина О.Д., Синилкин И.Г., Медведева А.А., Зельчан Р.В. Радионуклидная тераностика злокачественных образований // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2016. – Т. 97, № 5. – С. 306–313.
6. Kelloff G.J., Hoffman J.M., Johnson B., et al. Progress and promise of FDG-PET imaging for cancer patient management and oncologic drug development // Clinical Cancer Research. – 2005. – Vol. 11, № 8. – P. 2785–2808. – doi: 10.1158/1078-0432.CCR-04-2626.

7 Heusner T.A., Kuemmel S., Koeninger A., et al. Diagnostic value of diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWI) compared to FDG PET/CT for whole-body breast cancer staging // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. – 2010. – Vol. 37, № 6. – P. 1077–1086. – doi: 10.1007/s00259-010-1399-z.