

DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.3.2021.125-142>  
УДК: 616.72-002-007.248



## Функціональна візуалізація при захворюваннях суглобів: сучасний стан та перспективи розвитку (клінічна лекція)

Сатир М.В.<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0002-6278-2533, e-mail: marina-nmhc@ukr.net

Солодяникова О.І.<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0002-7592-1192, e-mail: oik2000@ukr.net

Новерко І.В.<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0001-6478-0446, e-mail: irina.noverko@gmail.com

Гальченко О.Ю.<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0002-0070-0600, e-mail: oleksiy.galchenko@gmail.com

<sup>1</sup>Державна установа «Інститут серця Міністерства охорони здоров'я України», Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний інститут раку Міністерства охорони здоров'я України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Національний медичний університет України ім. акад. О.О. Богомольця

Міністерства охорони здоров'я України, Київ, Україна

## Functional visualization in diseases of the joints: current status and prospects (clinical lecture)

Satyr M.V.<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0002-6278-2533, e-mail: marina-nmhc@ukr.net

Solodiannikova O.I.<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0002-7592-1192, e-mail: oik2000@ukr.net

Noverko I.V.<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0001-6478-0446, e-mail: irina.noverko@gmail.com

Galchenko O.Yu.<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0002-0070-0600, e-mail: oleksiy.galchenko@gmail.com

<sup>1</sup>State Organization «Institute Heart Ministry of Health of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Cancer Institute of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>O.O. Bogomolets Ukrainian National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Kyiv, Ukraine

### Ключові слова:

опорно-руховий апарат, остеосцинтиграфія, ОФЕКТ, ОФЕКТ/КТ, трифазова ОСГ.

### Для кореспонденції:

Сатир Марина Володимирівна  
Державна установа «Інститут серця Міністерства охорони здоров'я України», відділення радіонуклідної діагностики; вул. Братиславська, буд. 5, корп. А, м. Київ, Україна, 02660; e-mail: marina-nmhc@ukr.net

© Сатир М.В., Солодяникова О.І., Новерко І.В., Гальченко О.Ю., 2021

### РЕЗЮМЕ

**Актуальність.** Захворювання кістково-м'язової системи, зокрема суглобів, є головним фактором зниження працездатності населення в усьому світі, тому рання їх діагностика і лікування – це пріоритетний напрямок розвитку клінічної медицини. Сучасні методи ядерної медицини дозволяють значно підвищити можливості диференційної діагностики, оптимізувати лікування та покращити прогноз захворювань опорно-рухового апарату (ОРА).

**Мета роботи** – дослідити та узагальнити світовий досвід застосування сучасних методів остеосцинтиграфії (ОСГ) для діагностики захворювань суглобів, визначити можливості і перспективи застосування різних сцинтиграфічних режимів для ведення пацієнтів з патологією ОРА.

**Матеріали і методи.** Повнотекстові публікації, розміщені у базах даних Scopus, Web of Science Core Collection, PubMed (переважно 2015–2021 рр.), міжнародні стандартні настанови для діагностики патології ОРА і монографії, присвячені радіонуклідним методам обстеження та гібридним технологіям візуалізації в онкології, ортопедії і травматології.

**Результати та їх обговорення.** У роботі розглянуто основні підходи до променевої діагностики патологічних змін суглобів та місце у ній остеосцинтиграфії. Визначено основні принципи, проаналізовано можливості та переваги різних протоколів її проведення: конвенційного планарного дослідження всього тіла, трифазової ОСГ, однофотонно-емісійної комп'ютерної томографії (ОФЕКТ) та суміщеної технології з рентгенівською комп'ютерною томографією (ОФЕКТ/КТ). Визначено показання до застосування ОСГ при різних патологічних змінах ОРА. Розглянуто аспекти променевої візуалізації відповідно до патогенезу різних патологічних процесів – системних артритів, захворюваннях суглобів хребта, верхніх та нижніх кінцівок. Проаналізовано і порівняно можливості різних променевих методів діагностики та застосування різних режимів ОСГ залежно від патогенезу і локалізації уражень.

**Висновки.** Виконання ОСГ в трифазовому і томографічних (ОФЕКТ, ОФЕКТ/КТ) режимах значно підвищує ефективність методу для діагностики, визначення активності, стадії і поширеності патології суглобів, а також для моніторингу результатів їх лікування. Метод виявляє активні метаболічні процеси на ранній стадії у судинну, м'якотканинну та кісткову фази та визначає стан суглобів усього тіла без додаткового променевого навантаження.

### Для цитування:

Сатир М.В., Солодянникова О.І., Новак І.В., Гальченко О.Ю., Функціональна візуалізація при захворюваннях суглобів: сучасний стан та перспективи розвитку (клінічна лекція). *Український радіологічний та онкологічний журнал*. 2021. Т. 29. № 3. С. 125–142. DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.3.2021.125-142>

### Key words:

musculoskeletal system, osteoscintigraphy, SPECT, SPECT/CT, 3-phase osteoscintigraphy.

### For correspondence:

Satyr Maryna Volodymyrivna  
State Organization «Institute Heart Ministry of Health of Ukraine», department of nuclear medicine;  
5A, Bratyslavskaya Str., Kyiv, Ukraine, 02660;  
e-mail: marina-nmhc@ukr.net

© Satyr M.V., Solodiannikova O.I.,  
Noverko I.V., Galchenko O.Yu., 2021

### ABSTRACT

**Background.** Diseases of the musculoskeletal system (MSS), in particular diseases of joints, are a leading factor for reducing the work ability of the population all around the world. The early diagnosis and treatment for them is a high priority task for clinical medicine. Modern nuclear medicine methods can significantly increase the possibilities in differential diagnostics, optimize treatment and improve the prognosis of diseases of the musculoskeletal system (MOP).

**Purpose** – to study and generalize the world experience of application of modern methods of osteoscintigraphy (OSG) for diagnostics of joints diseases, to define possibilities and prospects of various scintigraphic acquisitions for investigation patients with MSS pathology.

**Materials and methods.** Full-text publications in the databases Scopus, Web of Science Core Collection, PubMed (mostly 2015–2021), international standard guidelines for the diagnosis of MSS pathology and monographs for radionuclide examination methods and hybrid imaging technologies in oncology, orthopedics and traumatology.

**Results.** We received the main approaches for radiological diagnostics of pathological changes in joints and the abilities of osteoscintigraphy. We defined the main principles and analyzed the possibilities and advantages of different nuclear medicine protocols: conventional planar examination of the whole body, 3-phase OSG, single-photon emission computed tomography (SPECT) and combined technology with X-ray computed tomography (SPECT/CT). Indications for the use of OSG in various pathological changes of ORA have been determined. We considered different patterns of radiation imaging according to the pathogenesis of various pathological processes – systemic arthritis, diseases of the joints of the spine, upper and lower extremities. The possibilities of different radiological methods for diagnosing and application of different modes of OSG depending on the pathogenesis and localization of lesions were analyzed and compared.

**Conclusions.** Performing 3-phase OSG and tomographic modes (SPECT, SPECT/CT) significantly increases the efficiency of the method for the diagnostics, determination of process activity, staging and prevalence of joint pathology, as well as for monitoring the treatment results. The method detects active metabolic processes at an early stage in the vascular, soft tissue and bone phases and determines the condition of the joints of the whole body without additional radiation exposure.

### For citation:

Satyr MV, Solodiannikova OI, Noverko IV, Galchenko OYu. Functional visualization in diseases of the joints: current status and prospects (clinical lecture). *Ukrainian journal of radiology and oncology*. 2021;29(3):125–142. DOI: <https://doi.org/10.46879/ukroj.3.2021.125-142>

### Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами

Робота виконана згідно з планом науково-дослідних робіт науково-дослідного відділення Національного інституту раку Міністерства охорони здоров'я України та є фрагментом комплексної теми «Дослідити ефективність радіонуклідної терапії самарієм оксабіфором  $^{153}\text{Sm}$  метастатичного ураження кісток при злоякісних пухлинах різної локалізації». Шифр науково-дослідної роботи – ВН.14.01.23.129-11, номер державної реєстрації 0111U000376; керівник науково-дослідної роботи – завідувачка науково-дослідного відділення ядерної медицини, доктор медичних наук, професор Солодянникова О.І.

### Relationship with academic programs, plans and themes

The study has been done according to the research plan of the research department of National Cancer Institute of the Ministry of Health of Ukraine and is a fragment of a complex theme «To investigate the efficacy of radionuclide therapy with Samarium-Oxabiphore  $^{153}\text{Sm}$  of metastatic bone lesion with malignant tumors of various localizations»; code of the research work – VN.14.01.23.129-11, number of state registration 0111U000376; the research director of the research work – Head of Nuclear Medicine Research Unit, Doctor of Medical Science, Professor Solodiannikova O.I.

### ВСТУП

Нормальна життєдіяльність людини значною мірою залежить від роботи опорно-рухового апарату (ОРА), у якому суглоби виконують опорну, амортизаційну і рухову функцію і тим самим впливають на роботу всього організму. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), від захворювань кістково-м'язової системи страждають 1,71 млрд людей в усьому світі; патологія ОРА є основним фактором інвалідизації та передчасного припинення працездатності; Всесвітня організація охорони здоров'я прогнозує збереження цієї

### INTRODUCTION

Normal human life depends significantly on musculoskeletal system (MSS) activity, where joints serve support, amortization and motor functions and thus affect the whole body function. According to the figures from World Health Organization (WHO), 1,71 milliard people worldwide are suffering from musculoskeletal disorders; MSS pathology is the main factor of disablement and early performance cessation; WHO predicts this tendency hold for the next few decades [1]. The early musculoskeletal pathology diagnosis is necessary for the timely treatment

тенденції протягом найближчих десятиліть [1]. Раннє виявлення патології кістково-м'язової системи необхідне для своєчасного призначення лікування, полегшення перебігу та покращення прогнозу захворювань [2–4].

На першому етапі променевої діагностики застосовують конвенційну рентгенографію (КР), що виявляє порушення анатомічної цілісності кісткових елементів та конгруентності суглобових поверхонь, зниження або підвищення щільності субхондральної кісткової тканини (СХКТк), наявність дегенеративних змін та об'ємних утворень [5, 6]. Чутливість КР низька при незначних змінах кісткових і хрящових елементів, синовіальних структур, зв'язок, сухожилків, фасцій, що потребує застосування сучасних високотехнологічних томографічних методів – рентгенівської комп'ютерної томографії (КТ), магнітно-резонансної томографії (МРТ), ультразвукового дослідження (УЗД) [6–8].

Остеосцинтиграфія (ОСГ) – це доступний, економічно виправданий і високочутливий метод для виявлення ранніх проявів порушень метаболічної активності в структурах ОРА [4, 6, 9–11]. В Україні ОСГ недостатньо використовується при доброякісних ураженнях ОРА, що пов'язано з низькою обізнаністю лікарів про можливість методу та пануванням стереотипу виключного його застосування в онкології [12–16]. На сьогодні технічне вдосконалення ОФЕКТ-томографів та суміщена технологія ОФЕКТ/КТ дозволяє точно локалізувати патологічні вогнища і чітко прив'язати їх до анатомічних структур, а нові алгоритми обробки сцинтиграфічної інформації значно підвищують діагностичну точність методу у вирішенні складних клінічних задач [6, 17–25].

**Мета роботи** – дослідити та узагальнити світовий досвід застосування сучасних методів остеосцинтиграфії (ОСГ) для діагностики захворювань суглобів, визначити можливості і перспективи застосування різних сцинтиграфічних режимів для ведення пацієнтів з патологією ОРА.

order, alleviation of disease progression and prognosis improvement [2–4].

At the first stage of radiodiagnosis conventional radiography (CR) is used, which detects disruption of anatomical continuity of skeletal elements and congruence of articular surfaces, decrease or increase in subchondral bone (SCB) tissue density, presence of degenerative changes and mass lesions [5, 6]. The sensitivity of CR is low in the cases of slight changes in osteochondral elements, synovial structures, ligaments, tendons, fasciae, therefore it requires the application of modern high-technology tomographic methods such as X-ray computed tomography (CT), magnetic resonance tomography (MRT) and ultrasound investigations (USI) [6–8].

Osteoscintigraphy (OSG) is an accessible, economically viable and highly sensitive method for detecting early manifestations of metabolic disorders in MSS structures [4, 6, 9–11]. In Ukraine OSG is used insufficiently in the cases of noncancerous lesions of the MSS due to doctors' low knowledge about the method's possibilities and dominance of the stereotype about its exceptional application in oncology [12–16]. Presently, technological progress of SPECT and combined SPECT-CT technology allow pathological focal areas to be precisely localized and bound to anatomical organizations, and the new processing algorithms of scintigraphic information significantly improve diagnostic accuracy of the method in solving complicated clinical cases [6, 17–25].

**The purpose** to study and generalize the world experience of application of modern methods of osteoscintigraphy (OSG) for diagnostics of joints diseases, to define possibilities and prospects of various scintigraphic acquisitions for investigation patients with MSS pathology.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## MATERIALS AND METHODS

Огляд літератури охопив доступні повнотекстові публікації, які були отримані внаслідок літературного пошуку у базах даних Scopus, Web of Science Core Collection, PubMed. Також вивчені міжнародні стандартні настанови для діагностики патології опорно-рухового апарату та монографії, присвячені радіонуклідним методам обстеження в онкології, ортопедії і травматології та гібридним технологіям візуалізації. Особлива увага приділялась аналізу ефективності методів ядерної медицини у різних клінічних ситуаціях.

The literature review covers accessible full-text publications obtained through literature search in the databases Scopus, Web of Science Core Collection, PubMed. International standard guidelines for the diagnosis of MSS pathology, monographs for radionuclide examination methods and hybrid imaging technologies in oncology, orthopedics and traumatology were also investigated. The efficacy analysis of nuclear medicine methods in different clinical cases was given particular attention to.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

## RESULTS AND DISCUSSION

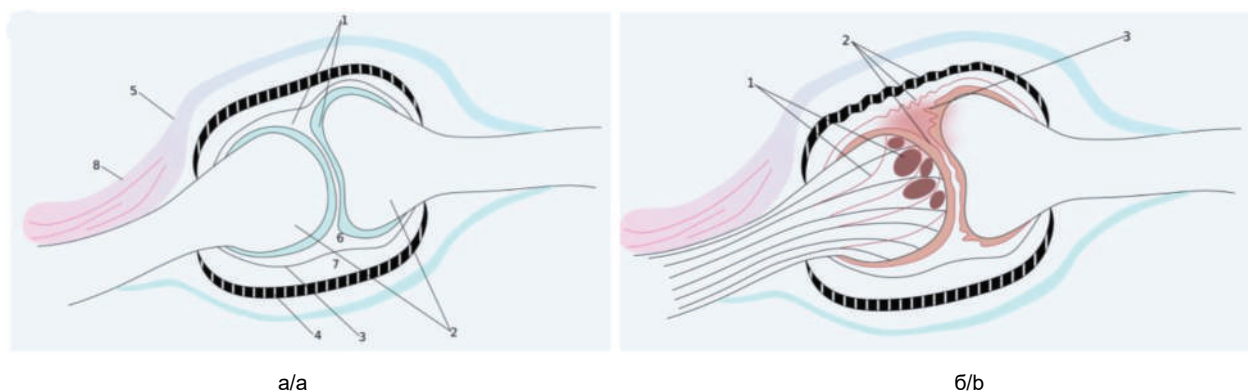
### Структура суглобів та механізми виникнення патологічних змін

Основними елементами суглоба є суглобові поверхні кісток, що складаються з хряща і субхондральної кісткової тканини (СХКТк), синовіальної порожнини, заповненої рідиною для зменшення тертя, та суглобової сумки (капсули), яка захищає і утримує всі елементи вкупі. Зв'язки (пучки еластичної сполучної тканини) та м'язові сухожилки (сполучнотканинні кінцеві відділи поперечнопосмугованих м'язів, за допомогою яких вони прикріплюються до кісток скелета) зміцнюють і стабілізують суглоб, обмежують надмірні рухи в процесі їх функціонування [6] (рис. 1, а).

### The structure of joints and mechanisms of pathological changes emergence

The main elements of a joint are articular surfaces of bones that consist of cartilage and subchondral bone tissue (SBT), synovial cavity filled with liquid for friction reduction and a joint capsule which protects and holds all elements together. Ligaments (the strands of elastic connective tissue) and tendons (connective tissue terminal segments of striped muscles that attach tendons to the skeleton bones) strengthen and stabilize the joint, limit excessive movements [6] (fig. 1, a).

In the cases of cartilage injury subchondral osteoblasts which secrete osteoid (an element of organic matrix which



**Рис. 1.** Схематична структура суглобу в нормі (а) і при патологічних змінах (б); а: 1 – суглобовий хрящ; 2 – субхондральна кісткова тканина; 3 – синовіальна оболонка; 4 – зв'язки; 5 – м'язові сухожилки; 6 – синовіальна порожнина; 7 – капсула; 8 – м'яз;  
б: 1 – кісточно-склеротичні зміни субхондральної кісткової тканини; 2 – дегенеративні зміни хряща, синовіальних оболонок, зв'язок, капсули; 3 – остеофіти

**Fig.1.** The schematic structure of a joint under normal (a) and pathological conditions (b); a: 1 – articulating cartilage; 2 – subchondral bone tissue; 3 – synovium; 4 – ligaments; 5 – tendons; 6 – synovial cavity; 7 – capsule; 8 – muscle;  
b: 1 – subchondral bone tissue cyst/sclerosis; 2 – degeneration of cartilage, synovial cavities, ligaments, capsule; 3 – osteophytes

При ушкодженні хряща активуються субхондральні остеобласти, які секретиують остеоїд (елемент органічного матриксу, що пізніше мінералізується до кристалів гідроксиапатиту), підвищується інтенсивність кісткової формації з ущільненням, осифікацією і подальшою деградацією суглобового хряща; відбувається кісточно-склеротичне переродження субхондральних кісткових елементів, формування остеофітів на тлі дегенеративних та запальних змін синовіальної оболонки, зв'язок і капсули, звуженням суглобової щілини. Повторні мікротравми та розтягнення капсули і зв'язок суглоба призводять до їх хронічного запалення, ущільнення і гіпертрофії з фіброзуванням і осифікацією. Виникають ентезопатії, тендиніти і бурсити (подразнення кісткових зон прикріплення сухожилків, капсули і зв'язок з виникненням хронічного запалення) (рис. 1, б). При відсутності лікування тривалий процес врешті призводить до тяжких незворотних змін хряща і СХКТк, створюючи «замкнене патологічне коло» [2, 26].

#### Принцип візуалізації та протоколи проведення ОСГ

В основі ОСГ лежить тропність фосфатних сполук, які входять до складу діагностичного радіофармапрепарату (РФП), до неорганічних елементів кісткової тканини (КТк) та клітинних елементів кісткового матриксу. Після внутрішньовенного введення РФП зв'язується з гідроксиапатитом та метаболічно активними клітинами [4, 10, 11], що дозволяє виявити зміни на біохімічному рівні. Фосфатні сполуки є нормальними метаболітами КТк, тому не викликають побічних реакцій або ускладнень, а радіоактивна мітка ( $^{99m}\text{Tc}$ ) створює розсіяне променеве навантаження, що не перевищує гранично допустиму дозу (ГДД) для досліджуваної категорії пацієнтів [11].

У якості РФП використовують гідроксиметилдифосфонат, 2,3-дикарбоксипропан-1, 1-дифосфонат (та інші), мічені  $^{99m}\text{Tc}$ . Їх інкорпорація відбувається на поверхні кристалів гідроксиапатиту пропорційно васкуляризації КТк та остеобластичній активності. Через 4 години після внутрішньовенного введення 60% РФП фіксується в скелеті, 34% виводиться з сечею, 6% залишається в кровообігу. Максимальна акумуляція РФП у кістках досягається через 1 год після введення і залишається практично постійною протягом 72 год.

transforms into hydroxyapatite crystals over time) become activated and the intensity of bone formation increases leading to densification, calcification and further degeneration of the articular cartilage. Cystic-sclerosis transformation of subchondral bone elements occurs as well as the formation of osteophytes on the background of degenerative and inflammatory changes of the synovium, ligaments, capsule and joint space narrowing. Repetitive microtraumas and strains of the joint capsule and ligaments lead to their chronic inflammation, calcification and hypertrophy with fibrosis and ossification. Enthesopathies, tendinitises, and bursitises (excitation of attachment-to-bone points of tendons, capsule and ligaments with occurrence of chronic inflammation) (fig. 1, b) emerge. If untreated, this lengthy process results in severe irreversible cartilage and SBT changes creating «a vicious pathological circle» [2, 26].

#### The visualization principle and OSG protocols

OSG is based on the affinity of phosphorus compounds which are a part of a diagnostic radiopharmaceutical, of non-organic elements of the BT and of cell elements of bone matrix. After an intravenous injection the radiopharmaceutical fixates to hydroxyapatite and metabolically active cells [4, 10, 11], and thus allows biochemical changes to be detected. The phosphorus compounds are normal metabolites of BT, hence they don't cause side effects or complications, and the radioactive tracer ( $^{99m}\text{Tc}$ ) creates scattered radiation exposure that doesn't go beyond maximum permissible dose (MPD) for the category of patients examined [11].

Hydroxymethylendiphosphonate, 2,3-dicarboxypropane-1, 1-diphosphonate and other marked  $^{99m}\text{Tc}$  are used as radiopharmaceuticals. Their incorporation occurs on the surface of hydroxyapatite crystals in proportion to the BT vascularization and osteoblastic activity. 4 hours after intravenous induction 60% of the radiopharmaceutical fixates to the bones, 34% is excreted in urine, 6% is left in blood circulation. Maximum accumulation of the radiopharmaceutical in bones is reached 1 hour after the induction and remains stable over the course of 72 hrs. Optimal visualization time – 2–3 hrs. after the injection of the radiopharmaceutical [4].

Оптимальний час для візуалізації – 2–3 год. після ін'єкції РФП [4].

Активність для введення: для дорослих рекомендована доза на дослідження становить 300–740 МБк, при цьому ефективна доза становить 4,9 мЗв/МБк при нормальному накопиченні та екскреції РФП. При рекомендованих активностях ефективна доза (ЕД) коливається в межах 1,4–3,6 мЗв [10].

Перевагою ОСГ є можливість проведення багатьох обстежень при однаковому променевому навантаженні (після введення однієї дози РФП). При використанні суміщеної методики ОФЕКТ/КТ підвищення ЕД може бути за рахунок додавання КТ (для суміщення зі сцинтиграфічним обстеженням).

Абсолютних протипоказань немає. Вагітність є відносним протипоказанням [4, 11].

В залежності від клінічного сценарію, ОСГ виконують за такими протоколами:

1) дослідження усього тіла у передній і задній проекції або збір окремих планарних проекцій;

2) трифазове обстеження окремих ділянок скелета (3-ф ОСГ): I фаза (судинна) – 30–60 кадрів по 1–2 с, матриця 64x64 або 128x128 пікселів одразу після введення РФП; II фаза (м'якотканинна) – збір протягом 5 хв/300 імпульсів, матриця 128x128 або 256x256 пікселів через 10–20 хв. після введення РФП, коліматор низькоенергетичний високої роздільної здатності; III фаза (кісткова) – аналогічно II через 2–5 год. після введення РФП, 5 хв/500 імпульсів на проекцію;

3) томографічне обстеження (однофотонна емісійна комп'ютерна томографія – ОФЕКТ) матриця 128x128 пікселів, 128 кроків, 20 сек/крок;

4) суміщена з рентгенівською комп'ютерною томографією технологія (ОФЕКТ/КТ) КТ для локалізації: 2,5–40 мА, 80–130 кЕв, 1–5 мм зрізи; КТ діагностичне: 40–335 мА, 80–130 кЕв, 0,33–2,0 мм зрізи [4, 10, 11].

Інтенсивність фіксації РФП чітко корелює з активністю процесу, а також з вираженістю радіографічних змін: численні дослідження доводять ефективність ОСГ на ранніх стадіях, при відсутніх або мінімальних змінах на рентгенівських обстеженнях та МРТ [4, 16, 18, 27]. М'якотканинні порушення виявляються одразу після болюсного внутрішньовенного введення РФП: при активному запальному процесі прищвидшується кровоплин, РФП інтенсивно екстрагується з кровотоку і проникає в екстраваскулярний простір. Відстрочена візуалізація відображає субхондральні і ентезіальні зміни, що поширюються уздовж синовіальних структур суглобу [6].

**Показання до застосування ОСГ при захворюваннях суглобів** регламентовані стандартами Європейської Асоціації ядерної медицини, які розробляються провідними фахівцями у галузі патології ОРА і щорічно поновлюються [4, 11]. У них включені такі стани, пов'язані із захворюваннями суглобів:

*Ревматологія:*

- хронічні запальні артрити включно ревматоїдний артрит, спондилоартропатії та пов'язані порушення (анкілозуючий спондиліт, псоріатичний артрит та ін), сакроіліїт;
- остеоартрити поперекових фасет-суглобів, а також кульшового, колінного (феморотибіального і феморопателлярного), гомілкового ступневого суглобів, тарзальні остеоартрити; синдром Титце (костохондрит);
- аваскулярні остеонекрози структур кульшового та колінного суглобів;

Activity for the induction: the recommended adult dose for one examination is 300–740 MBq, while the effective dose is 4,9 mSv/MBq under the conditions of normal accumulation and excretion of the radiopharmaceutical. The effective dose hovers around 1,4 – 3,6 mSv under recommended activities [10].

One of OSG benefits is the capability of having lots of examinations at the same radiation pressure (after the injection of one radiopharmaceutical dose). When combined SPECT/CT method is used, effective dose can be increased because of the CT addition (for combining with scintigraphy).

There aren't any absolute contraindications. Pregnancy is a relative contraindication [4, 11].

Depending on the clinical scenario, OSG is applied in accordance with the following protocols:

1) the whole body examination in anterior and posterior projections or collection of separate planar projections;

2) 3-phase examination of certain skeleton sections (3-phase OSG): I phase (flow phase) – 30–60 images are obtained at 1 – 2 seconds per frame, a 64x64 or a 128x128 pixels matrix is obtained immediately after the radiopharmaceutical injection; II phase (blood pool phase) – obtainment within 5 min/300 impulses, a 128x128 or a 256x256 pixels matrix is obtained 10 – 20 min. after the radiopharmaceutical injection, low energy high-resolution collimator; III phase (delayed phase) – similarly to the 2nd phase, images are obtained 2–5 hours after the radiopharmaceutical injection, one projection within 5 min / 500 impulses.

3) CT scan (single-photon emission computed tomography (SPECT), a 128x128 pixels matrix, 128 steps, 20 s per step;

4) combined technology with X-ray computed tomography (SPECT / CT) of CT for localization: 2,5 – 40 mA, 80 – 130 keV, 1 – 5 mm bevels; diagnostic CT: 40 – 335 mA, 80 – 130 keV, 0,33 – 2,0 mm bevels [4, 10, 11].

The intensity of radiopharmaceutical fixation precisely correlates with the process activity, and also with the intensity of radiographic changes: numerous examinations prove the OSG efficacy at the early stages with minimal or no changes X-ray examinations and MRT [4, 16, 18, 27]. Soft tissue disorders are detected right after intravenous bolus injection of the radiopharmaceutical: in the cases of active inflammatory process blood circulation accelerates, so the radiopharmaceutical intensely extracts out of blood flow and reaches extravascular space. The delayed visualization shows subchondral and enthesal changes that spread along the synovial structures of the joint [6].

**The indications for OSG in the cases of joint diseases** are regulated according to the standards of European Association of Nuclear Medicine, which are developed by the leading specialists in the field of the MSS pathology and are updated annually [4, 11]. They include the following states connected with joint diseases:

*Rheumatology:*

- chronic inflammatory arthritides including rheumatoid arthritis, spondyloarthropathies and related disorders (ankylosing spondylitis, psoriatic arthritis, etc.), sacroiliitis;
- osteoarthritis of transverse facet joints, also of the hip, the knee (femorotibial and femoropatellar), and the ankle joints; tarsal osteoarthritis; Tietze's syndrome (costochondritis);
- avascular osteonecrosis of the structures of hip and knee joints;

– патологічні зміни оперованих суглобів (септична нестабільність або механічні ускладнення внутрішньої фіксації або артропластики).

*Ортопедія, травматологія та спортивна медицина:*

– ентезопатії включно плантарні фасціїти, тендиніти Ахіллового сухожилку та бурсити;

– спондилістези (гострий та підгострий);

– переломи та приховані переломи із втягненням суглобових елементів (елементів хребців, головки та шийки стегнової кістки, тібiального плато, дрібних кісток стопи);

– септична нестабільність ендпротезів, механічні ускладнення та синовіти внаслідок порушень внутрішньої фіксації (трубчатих кісток або хребців) або протезування суглобів;

– псевдоартрози (відстрочене зростання, незрощення);

– периартикулярна гетеротопічна осифікація.

*Педіатрія:* остеохондрити та синовіти кульшових суглобів.

### Системні захворювання суглобів

Ревматоїдний артрит (РА) – хронічний системний процес нез'ясованої етіології, що проявляється ураженням суглобів, уражує 0,5–1% населення [26]. РА характеризується ушкодженням суглобових хрящів та субхондральної КТк з утворенням ерозій і синовітом, значно погіршує якість життя і працездатність, швидко призводить до інвалідизації. Первинна діагностика РА базується на результатах лабораторних даних та КР – обидва методи низькоспецифічні на ранніх стадіях. КР виявляє структурні зміни (звуження суглобової щілини, ерозії СХКТк), але приховує функціональні (підвищення метаболічної активності в хрящових та м'якотканинних елементах суглобів) [7, 28].

ОСГ виявляє ділянки високої остеобластичної активності до початку виражених морфологічних змін. Дослідження виконують в стандартному планарному режимі, окремих прицільних проекцій та трифазовому режимі. 3-ф ОСГ дозволяє виявити такі патогенетичні особливості РА: в ангиографічну фазу визначається ступінь гіперемії, що відповідає активності запалення; у м'якотканинну фазу виявляється підвищення судинної проникності, яка пропорційна інтенсивності запалення в синовіальній оболонці (синовіту); у кісткову фазу відображається ремодуляція субхондральної КТк у відповідь на запалення суглобових елементів та деструкцію хряща [22].

За результатами дослідження С. Buchbender з колегами [29], чутливість ОФЕКТ на ранній стадії РА перевищувала МРТ при втягненні СХКТк: у 84,2% скінтиграфічно виявлених артритів сигнал МРТ був у межах норми; інтенсивна фіксація РФП відмічалась лише в суглобах з активним синовітом ( $P < 0,001$ ), що підтверджувало тісний взаємозв'язок остейту і синовіту.

Для підвищення чутливості, просторового розрізнення та якості скінтиграфічного зображення застосовують специфічні коліматори (мультипінхол) – це дозволяє визначити особливості розподілу РФП у патологічних осередках і покращити розуміння патогенезу РА, диференціювати ранні ознаки РА і остеоартритичні зміни (центральної або ексцентричної тип фіксації РФП у вогнищах) [30].

### Патологічні процеси в структурах хребта

Хребтовий стовп – це вісь тіла людини, що забезпечує його цілісність і мобільність. Хребет є

– pathological changes of surgically operated joints (septic instability or mechanical complications of internal fixation or arthroplasty).

*Orthopedics, traumatology and sports medicine:*

– enthesopathies including plantar fascioses, tendinitises of Achilles tendon and bursitis;

– spondylolistheses (acute and subacute);

– fractures including subtle fractures with involvement of the joint elements (elements of vertebrae, condylus and neck of femoral bone, tibial plateau, foot ossicles);

– septic instability of endoprotheses, mechanical complications and synovitis due to the disorders of internal fixation (of tubular bones or vertebrae) or joint replacement;

– pseudoarthroses (delayed growth, non-union);

– para-articular heterotopic ossification.

*Pediatrics:* osteochondritis and synovitis of hip joints.

### Systematic joint diseases

Rheumatoid arthritis (RA) is a chronic systematic process of unknown etiology, which manifests with joint damage and affects 0,5 – 1% of population [26]. RA is characterized by damaging the joint cartilage and subchondral bone tissue with erosion formation and synovitis. Moreover, this disease significantly changes life and performance capability for the worse quickly leading to disablement. The primary diagnostics of RA is based on the results of the laboratory data and CR – both methods are low-specific on early stages. CR detects structural changes (joint space narrowing, subchondral BT erosions), but not the functional ones (metabolic activity increase in cartilaginous and soft tissue elements) [7, 28].

OSG detects areas of high osteoblastic activity before conspicuous morphological changes start to develop. The examination is done in standard planar mode, in separate specific projections mode or in a 3-phase mode. 3-phase OSG permits the following pathogenetic features of RA to be detected: in the flow phase the degree of hyperemia which is congruent with inflammation activity is estimated; in the blood pool phase vascular permeability improvement which is proportional to inflammation intensity of synovium is detected; in the delayed phase the remodeling of the subchondral BT is visible in response to the inflammation of joint elements and cartilage destruction [22].

Based on the research findings of С. Buchbender and his partners [29], the SPECT sensitivity at the early stage of RA surpassed MRT in case of involvement of subchondral BT: in 84.2% of scintigraphically detected cases of arthritis the MRT signal was within normal limits; intensive radiopharmaceutical fixation was noticed only in the joints with active synovitis ( $P < 0,001$ ). This fact confirmed close correlation between osteitis and synovitis.

Specific collimators (multipinhole) are used for the increase of sensitivity, spatial discrimination and scintigraphic image quality. They enable features of the radiopharmaceutical distribution in pathological focuses to be defined and a better understanding of RA pathogenesis to be gained. Moreover, the collimators allow the early stage symptoms of RA, as well as osteoarthritic changes (central or eccentric type of radiopharmaceutical fixation in focuses) to be differentiated [30].

### Pathological processes in spinal structures

The vertebral column (also known as the backbone or spine) is a body axis that protects body's continuity

багатокомпонентною і мультифункціональною структурою, що складається з численних дрібних елементів, химерно взаємопов'язаних для забезпечення усього різноманіття функціонального навантаження [31]. Больовий синдром виникає при порушенні функції, коли структурні зміни непереконливі, тому на ранніх стадіях і при хронічних процесах іміджингові знахідки та клінічна симптоматика не корелюють. У таких випадках ОСГ розцінюється як метод першої лінії діагностики [32].

**Показання для ОСГ при захворюваннях хребта та сакроілеальної зони:** спондиліліз, спондилілістез, сакроіліїт, окультні та стрес-переломи хребців внаслідок остеопорозу, артрити міжхребцевих (фасеточних) суглобів (ФС), пухлинне ураження кісткових структур, остеомієліт, рекурентний та рецидивуючий больовий синдром після хірургічних утручань [31, 32–39].

Для різних патологічних змін хребта описано характерний скінтиграфічний паттерн [32, 40]: при дегенеративних змінах дисків – ділянки гіперфіксації РФП на рівні передньо-латеральних країв тіл хребців («гарячі» остеопіти); при ураженні ФС (дегенеративні або остеоартритичні) – округлі ділянки на рівні міжхребцевого диска позаду спінального каналу; при ураженнях дуги хребця (спондиліліз, переломи ніжок, апофізеальних або поперечних відростків) – ділянки підвищеної фіксації РФП трикутної форми позаду спінального каналу на рівні тіла хребця; при компресійному переломі – лінійна горизонтальна ділянка з чіткими контурами в тілі хребця; при метастатичному ураженні – солітарні ділянки у тілах хребців з переходом на ніжки.

**Больовий синдром поперекового відділу хребта (ПВХ)** поширений як серед молодих спортсменів, так і людей похилого віку, але етіопатогенез його суттєво відрізняється.

Спортсмени часто отримують хронічні мікротравматичні ушкодження внаслідок флексії, екстензії та ротації, що призводить до дегенеративних змін, стрес-ушкоджень дуг хребців (спондилілізу) та порушення їх просторового розташування (спондилілістезу, тобто «сповзання» хребця вниз і допереду відносно нижчезрозташованого) [40]. Це найчастіша причина больового синдрому у молодих атлетів при мінімальних структурних порушеннях, які виявляються лише на сучасних високопольних МРТ-зображеннях. Дані літератури свідчать про ефективність ОСГ при підозрі на спондиліліз, а застосування ОФЕКТ покращує контрастність зображення, підвищує чутливість та точність анатомічної локалізації без збільшення променевого навантаження на пацієнта, уможлиблює кореляцію з іншими томографічними модальностями [41].

Суміщена технологія ОФЕКТ/КТ дозволяє класифікувати патологію дуги хребця таким чином: стрес-реакція (гіперфіксація РФП на ОФЕКТ без склеротичної лінії перелому на КТ), саме спондиліліз (підвищення ФРФП та лінія перелому на КТ) та давні неконсолідовані, але метаболічно неактивні ушкодження (нормальна фіксація РФП та лінія перелому зі склеротичними краями на КТ) [42]. Нормальна фіксація РФП виключає спондиліліз як причину больового синдрому.

При патології на рівні міжхребцевих дисків на ОФЕКТ/КТ виявлено чіткий зв'язок між інтенсивністю больового синдрому та метаболічною активністю

and mobility. The spine is a multi-component and multi-functional structure that consists of numerous small elements intricately intertwined for supporting the variety of functional load [31]. Pain syndrome emerges under the conditions of dysfunction when the structural changes are unconvincing, therefore image findings and clinical symptomatology don't correlate with each other on early stages and under the conditions of chronic processes. In such cases OSG is deemed to be a first-line diagnostic method [32].

**Contraindications for OSG in cases of spine and sacroiliac zone disorders:** spondylolysis, spondylolisthesis, sacroiliitis, occult and stress fractures of spinal bones as a result of osteoporosis, facet joint (FJ) arthritis, bone tumors, osteomyelitis, recurrent pain syndrome after surgical interferences [31, 32 – 39].

The specific scintigraphic pattern for different pathologic spine changes is described [32, 40]: in the cases of degenerative changes of discs – the areas of the radiopharmaceutical hyperfixation on the level of anterior-lateral edges of vertebrae bodies («hot» osteophytes); in the cases of facet joint lesions (degenerative or osteoarthritic) – the rounded areas on the level of the intervertebral disc behind the spinal canal; in the cases of the vertebral arch diseases (spondylolysis, pedicle, apophyseal or vertebra spines fractures) – the triangular areas of the radiopharmaceutical hyperfixation behind the spinal canal on the level of vertebra body; in the cases of compression fracture – a linear horizontal area with sharp contours in vertebra body; in the cases of metastatic affection – the solitary areas in vertebrae bodies spreading to pedicles.

**The lumbar spine pain syndrome** is common among both young sportsmen and old people, however its etiopathogenesis varies significantly.

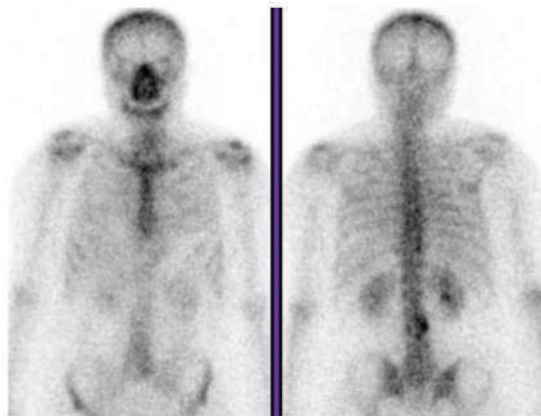
Sportsmen often receive chronic microtraumatic injuries as a result of flexion, extension and rotation which leads to degenerative changes and stress-induced injuries of vertebral arches (spondylolysis) and their misplacement (spondylolisthesis, that is vertebra «sliding» down anterior to the one located under it) [40]. This is the most common reason of pain syndrome among young athletes with underlying minimal structural problems, which can be detected only on modern high-field MRT images. The literature data indicate about OSG efficacy in the cases of suspicion of spondylolysis, and SPECT application increases image contrast, sensitivity and accuracy of anatomical localization without additional radiation exposure. In addition, it makes correlation between other tomographic modalities possible [41].

Combined SPECT/CT technology permits the vertebral arch pathology to be classified the following way: a stress reaction (the radiopharmaceutical hyperfixation on SPECT without the sclerotic fracture line on CT), in particular spondylolysis (increased fixation of radiopharmaceutical and fracture line on CT) and old non-consolidated but metabolically inactive injuries (normal fixation of radiopharmaceutical and fracture line with sclerotic edges on CT) [42]. Normal fixation of radiopharmaceutical excludes spondylolysis as a cause of pain syndrome.

In the cases of pathology on the level of intervertebral discs a clear relationship between pain syndrome intensity and metabolic activity in the vertebral endplates with underlying degenerative changes was noticed.

у кінцевих пластинках хребців при дегенеративних процесах, виявлених на МРТ: підвищена фіксація РФП відмічалась у 96,1%, 56% та 77,8% випадків (залежно від МРТ-ознак) [34, 43].

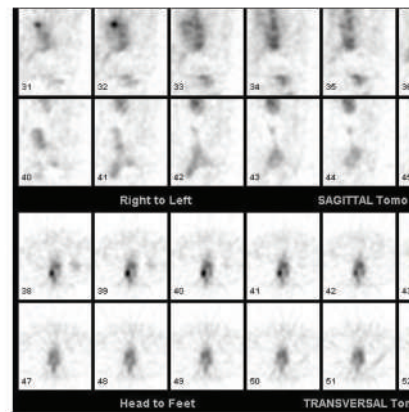
Фасет-синдром (остеоартрит дуговідросткових суглобів) виникає у людей старшого віку на тлі дегенеративних змін дисків (рис. 2). Це хронічний процес з мінімальними структурними порушеннями, у фазі активних метаболічних змін виявляється на ОФЕКТ [40, 44] і точно локалізується на ОФЕКТ/КТ [45]. Хоча ступінь вираженості дегенеративного процесу (за КТ) не корелює з інтенсивністю фіксації РФП [34], однак гіперфіксація РФП є надійним критерієм відбору пацієнтів для ін'єкцій суглобів з діагностичною або лікувальною метою [39].



a/a

These changes were detected on MRT: the increased fixation of radiopharmaceutical was observed in 96,1%, 56%, and 77,8% of the cases (depending on MRT-symptoms) [34,43].

Facet syndrome (osteoarthritis of zygapophysial joints) occurs in the older people on the background of degenerative changes of the discs. It is a chronic process with minimal structural problems that can be detected on SPECT in the active metabolic changes phase [40, 44] and is precisely localized on SPECT/CT [45]. Although manifestation degree of the degenerative process (on CT) doesn't correlate with the radiopharmaceutical fixation intensity [34], the hyperfixation of radiopharmaceutical is a reliable selection criteria of patients for joint injections with the diagnostic or treatment purpose [39].



б/б

**Рис. 2.** Фасет-синдром: а – планарне дослідження (передня і задня проекція); б – ОФЕКТ (сагітальні і аксіальні зрізи відповідної ділянки)  
**Fig. 2.** Facet syndrome: a – planar examination (anterior and posterior projections); б – SPECT (sagittal and axial sections of respective area)

Серед структур верхньої кінцівки потреба у сцинтиграфічному обстеженні виникає при патологічних станах кісток і суглобів зап'ястка [3, 46, 47]. Ця частина кисті сформована своєрідним склепінням із 8 дрібних кісток, з'єднаних складними суглобовими сполученнями і зв'язковим апаратом. Патологію структурних елементів кистей та променево-зап'ясткових ділянок важко візуалізувати конвенційними методами, натомість при ОСГ виявляються, а при ОФЕКТ та ОФЕКТ/КТ точно локалізуються ділянки підвищеної метаболічної активності.

**Показання до ОСГ при патологічних станах кісток і суглобів зап'ястка:** больовий синдром, хронічні запальні артрити, травматичні ушкодження.

Переломи човноподібної кістки (ЧК) мають неспецифічні клінічні ознаки (чутливість у проекції анатомічної табакерки), які можуть проявлятися при переломах шилоподібного відростку променевої кістки, трапецієподібної кістки та інших п'ясткових кісток [48]. Хоча переломи ЧК становлять 50–90% переломів кісток зап'ястка, ініціальна КР не виявляє їх у 35–75% випадків, що веде до неправильного лікування (надлишкова іммобілізація або відсутність лікування), як наслідок – незрощення, тривалий больовий синдром і значні порушення функції кисті. ОСГ (у двофазовому режимі) є надійним методом для підтвердження або виключення переломів ЧК, дистального відділу променевої кістки та інших кісток зап'ястка при негативному результаті ініціальної КР [46].

Among upper limbs structures osteoscintigraphic examination is needed in the cases of bone and wrist joints pathology. [3, 46, 47]. This part of hand is formed by a peculiar dome that consists of 8 ossicles, connected with complex joint formations and ligamentous apparatus. The pathology of structural elements of hands and radiocarpal areas is hard to visualize using conventional methods, but metabolic activity areas can be detected on OSG and can be precisely localized on SPECT/CT.

**Contraindications for OSG in the cases of bone and wrist joints pathology:** pain syndrome, chronic inflammatory arthritis, traumatic injuries.

Navicular bone fractures have nonspecific clinical features (sensitivity in the anatomical snuffbox projection) that can manifest in the cases of radial styloid fractures, as well as the fractures of the trapezoid bone and other metacarpal bones [48]. Although carpal bone fractures comprise 50 – 90% of the cases of navicular bone fractures, they can't be detected on CR in 35 – 75% of the cases resulting in wrong treatment (excessive immobilization or lack of treatment). Consequently, it can cause nonunion, lengthy pain syndrome and severe hand dysfunction. 2-phase OSG is a reliable method for either confirming or excluding the fractures of navicular bone, distal radius and other carpal bones in the cases of negative result of the initial CR [46].



**Захворювання суглобів нижніх кінцівок** характеризуються больовим синдромом, деформаціями та порушенням локомоторної функції. Деякі автори виділяють їх в окрему групу патологічних станів з невизначеною симптоматикою [2], що спонукає до множинного неефективного застосування променевих обстежень і відтермінування початку лікування. Сучасні технології ОСГ розглядаються як шанс підвищити специфічність діагностики.

Найбільш поширеними є захворювання кульшового суглоба: больовий синдром виникає у 40% людей старше 65 років та 5–10% спортсменів внаслідок перевантажень, травм, патології інших елементів ОРА. У 80% випадків попередній діагноз встановлюють, базуючись на клінічному обстеженні, решта 10–20% – за результатами КР та МРТ [49]; впровадження гібридних технологій дозволяє деталізувати регіональну оцінку та підвищити специфічність діагностики [50].

**Показання до ОСГ при патології кульшових суглобів:** больовий синдром, нез'ясований іншими методами; артрити і артрози; імпіджемент-синдром; стрес-переломи із втягненням елементів суглоба; аваскулярний некроз голівки стегнової кістки (ГСК); системні артропатії; ускладнення при оперативних втручаннях (ендопротезування, встановлення металевих фіксаторів) [2, 23, 51–53].

Поширеною причиною болю і порушення функції суглоба є хронічні дегенеративні зміни ГСК, що рентгенологічно виявляються лише на 2-й стадії. Сцинтиграфічні ознаки: дифузна фіксація препарату в усіх структурах суглоба, переважно у суглобових поверхнях, на рівні максимально навантажених ділянок. Інтенсивність фіксації РФП залежить від активності запалення. Нормальна фіксація РФП у судинну та м'якотканинну фазу підтверджує хронічний дегенеративний процес та виключає гострі запальні зміни і інфікування [2, 4, 6].

Феморо-ацетабулярний конфлікт (імпіджемент-синдром) виникає при порушенні конфігурації (конгруентності) суглобових поверхонь, що призводить до їх затискання та надмірного тертя (рис. 3). Сцинтиграфічно визначається гіперемія (у м'якотканинну фазу) та фокальна підвищення фіксації РФП у верхніх відділах шийки стегна та вертлюгової западини, а також латеральному і інферомедіальному аспекті ГСК у кісткову фазу [6], а зіставлення з КТ дозволяє ідентифікувати структурні зміни, характерні для кам- або пінцер-синдрому [2].

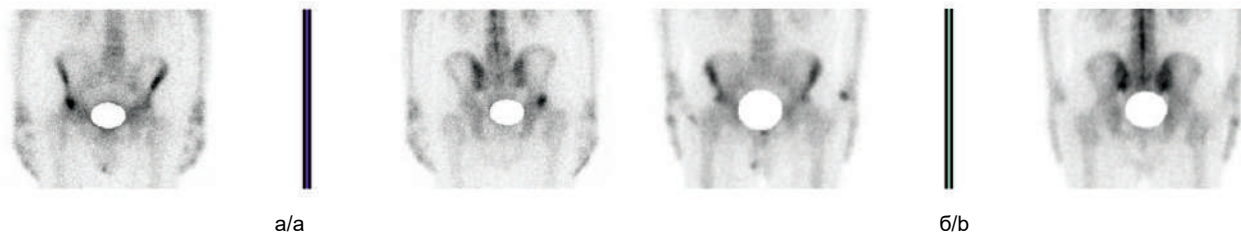
**Lower limbs joint diseases** are characteristic of pain syndrome, deformations and locomotor dysfunction. Some authors place them in a separate group of pathological conditions with indeterminate symptomatology [2] that induces to multiple ineffective use of radiology and the delay of treatment initiation. The modern technologies of OSG are considered as the chance of improving diagnostics specification.

The most common lower limbs joint diseases are the hip joint diseases: 40% of people aged over 65 years and 5–10% of sportsmen develop pain syndrome due to overstrains, injuries or pathologies of other MSS elements. In 80% of the cases the provisional diagnosis is established basing on clinical examination, and in the other 10 – 20% of the cases – basing on CR and MRT results [49]. Hybrid technologies implementation allows regional evaluation to be detailed and diagnostics specification to be improved [50].

**Contraindications for osteoscintigraphy in the cases of hip joints pathology:** pain syndrome that is undetected on other methods; arthritis and arthrosis; femoroacetabular impingement; stress fractures with involvement of joint elements; avascular necrosis of whirlbone; systematic arthropathies; complications after surgeries (endoprosthesis replacement, attachment of metallic fixatives) [2, 23, 51 – 53].

Chronic degenerative changes of whirlbone which can be detected on X-ray at the second stage only can often cause pain and joint dysfunction. Scintigraphic symptoms: diffuse fixation of the radiopharmaceutical in all joint structures, predominantly in articular surfaces located on the level of the most loaded areas. The intensity of the fixation of radiopharmaceutical depends on inflammation activity. Normal fixation of radiopharmaceutical during the flow and the blood pool phases confirms chronic degenerative process, moreover it excludes acute inflammatory changes and contamination [2, 4, 6].

Femoroacetabular impingement occurs with the disorder of articular surfaces congruency which results in their jamming and excessive friction (fig. 3). Osteoscintigraphy is used for detecting hyperemia (during the blood pool phase) and focal increase in the fixation of radiopharmaceutical in upper parts of femoral neck and acetabulum, and also in lateral and inferomedial aspects of whirlbone during the delayed phase [6]. Comparison to CT permits structural changes which are characteristic of cam- or pincer-syndrome to be identified [2].



а/а б/б  
Рис. 3. Феморо-ацетабулярний конфлікт: а – правобічний; б – двобічний  
Fig. 3. Femoroacetabular conflict: a – dextral; b – bilateral

**Аваскулярний некроз (АВН) ГСК** – ішемічне ураження з некрозом остеоцитів – швидко провокує значну деструкцію ГСК; рання діагностика надає більше шансів для ефективного консервативного лікування та збереження функції суглоба. Чутливість КР на

**Avascular necrosis of whirlbone** is an ischemic injury with necrosis of osteocytes which precipitates severe whirlbone destruction. There is a better chance of effective non-surgical treatment and preserving joint function if the disease is detected early. The sensitivity of CR at the

ранніх стадіях (преклінічній, прерадіологічній та ранній резорбтивній) не перевищує 41% [54]. Сцинтиграфічно дефект фіксації РФП у проекції аваскулярного фокуса є ранньою високоспецифічною ознакою АВН, що не виявляється на МРТ без контрастування. В подальшому навкруги фотопенічної ділянки формується зона гіперфіксації РФП у м'якотканинну і кісткову фази (періінфарктне реактивне запалення) так званий «doughnut sign» [6]. Чутливість ОФЕКТ та ОФЕКТ/КТ при АВН становить 85–97% [54, 55].

**Колінні суглоби** мають комплексну регіональну анатомію – вони складаються з трисуглобового комплексу (тибіофemorального, тибіофібулярного та пателофemorального елементів) і внутрішньосуглобових хрящових вставок (менісків), укомплектованих складним зв'язковим апаратом. Больовий синдром часто виникає у людей похилого віку внаслідок вікових дегенеративних змін та у спортсменів відповідно до специфічних навантажень.

При оцінці колінних суглобів перевага надається МРТ [56, 57], а ОФЕКТ/КТ є методом другої ланки, коли МРТ протипоказане або неінформативне. Обидва методи надають незалежну діагностичну інформацію і не є взаємозамінними, хоча сцинтиграфічні ознаки порушень метаболізму (наприклад, при механічному перевантаженні суглобів) виявляються раніше набряку кісткового мозку, видимого при МРТ [18], а точна локалізація і оцінка кортикальних елементів досягається виконанням КТ-складової ОФЕКТ/КТ у повному діагностичному обсязі [2].

**Показання до ОСГ при патології колінних суглобів:** хронічний біль в колінах; перевантаження суглоба; хрящові та остеохондральні ураження (розсікаючий остеохондрит, спонтанний остеонекроз); патологія менісків; больовий синдром після оперативних втручань [21, 51, 56, 58–60].

Джерело больового синдрому виявляється (рис. 4) на ОСГ у 91,4%, а ОФЕКТ/КТ достовірно виявляє 100% не пов'язаних з артропатією уражень (травматичні ушкодження, інфекції, синусити, бурсити, тендинози, остеоїд остеоми, доброякісні та злоякісні пухлини) [61].

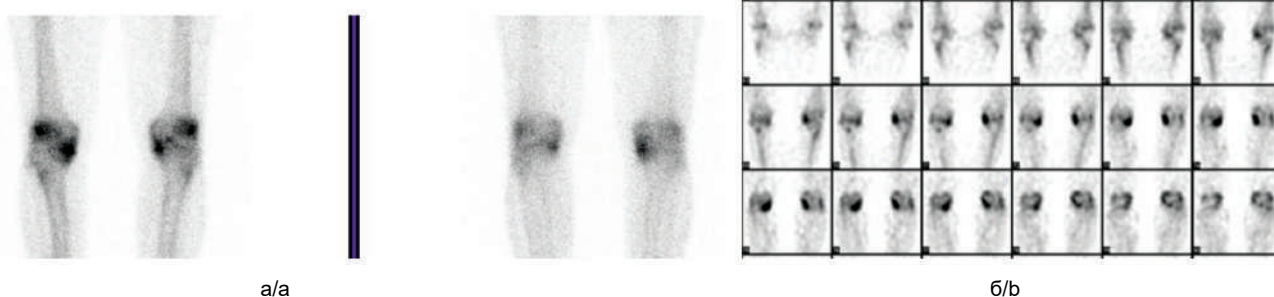
early stages (preclinical, preradiographic and resorptive) doesn't go beyond 41% [54]. The radiopharmaceutical fixation defect in the projection of avascular focus on osteoscintigraphy is an early highly specific symptom of avascular necrosis which can't be detected on unenhanced MRT. Later the zone of radiopharmaceutical hyperfixation develops around the photopenic area during the blood pool and the delayed phases (peri-infarction reactive inflammation), the so-called «doughnut sign» [6]. The sensitivity of SPECT and SPECT/CT in the cases of avascular necrosis is 85–97% [54, 55].

**Knee joints have complex regional anatomy** – they consist of the three-joint complex (tibiofemoral, tibiofibular and patellofemoral elements) and infra-articular cartilaginous inserts (menisci), complemented with a complicated ligamentous apparatus. Pain syndrome often emerges among old people due to degenerative age-related changes and also among sportsmen because of specific loads.

MRT is used preferably for the knee joints investigations [56, 57], and SPECT/CT is a second-line method which is applied when MRT is either contraindicated or nondiagnostic. Both methods give independent diagnostics information and are not interchangeable although scintigraphic symptoms of the metabolic disorder (for instance, in the case of mechanical joint overload) are detected earlier than bone marrow oedema which is visible on MRT [18], and with the help of the CT-part of SPECT/CT done in full diagnostic extent cortical elements can be precisely localized and analyzed [2].

**Contraindications for osteoscintigraphy in the cases of knee joints pathology:** chronic knee pain; joint overload; cartilaginous and osteochondral diseases (osteochondritis dissecans, spontaneous osteonecrosis); menisci pathology; pain syndrome after surgeries [21, 51, 56, 58–60].

The source of pain syndrome is detected on osteoscintigraphy in 91,4% of the cases and 100% of the diseases that are not connected with arthropathy (traumatic injuries, infections, sinusitis, bursitis, tendinosis, osteoid osteoma, benign and malignant tumors) are clearly visible on SPECT/CT [61].



**Рис. 4.** Дегенеративні зміни, синовіїт колінних суглобів: а – планарне дослідження (передня і задня проекції); б – ОФЕКТ  
**Fig. 4.** Degenerative changes, knee joints synovitis: a – planar examination (anterior and posterior projections); б – SPECT

Розсікаючий остеохондрит виявляється у молодих людей і рентгенологічно проявляється іррегулярною зміною щільності субхондральної КТк на тлі незміненого або потоншеного хряща. Сцинтиграфічні ознаки: помірне підвищення фіксації РФП у проекції відділеного хряща у судинну та м'якотканинну фази і значне підвищення – в кісткову фазу, чітке відмежування його від оточуючої КТк на ОФЕКТ/КТ [2].

Osteochondritis dissecans is common among young people. It radiologically manifests as an irregular change of subchondral BT density on the background of normal or attenuated cartilage. Scintigraphic symptoms: mild increase in radiopharmaceutical fixation in the projection of separated cartilage during the flow and the blood pool phases and significant increase during the delayed phase, its clear separation from the surrounding BT on SPECT/CT [2].

Спонтанний остеонекроз виникає раптово у медіальному феморальному виростку унілатерально (у жінок після 60 років) або білатерально (у молодих людей). Рентгенологічні ознаки деструкції хряща та субхондральної КТк, а також зміни на МРТ виявляються починаючи з 2-ї стадії [62]. Сцинтиграфічно – інтенсивна фіксація РФП у м'якотканинну та кісткову фази, починаючи з 1 стадії, протягом 6 місяців, з поступовим її зниженням у подальшому; у кісткову фазу підвищена фіксація РФП зберігається до 2 років після початку процесу [9].

Частою причиною больового синдрому є ушкодження менісків (частіше медіального) внаслідок порушення біомеханіки та зміщення природного вектора навантаження. При дегенеративних змінах/розриві меніска та його екструзії (згідно з МРТ) визначали достовірне підвищення фіксації РФП ( $p=0,045$  та  $p<0,02$ , відповідно) порівняно з інтактним у медіальному феморо-тибіальному компартменті [57], що підтверджувало ефективність ОФЕКТ/КТ для виявлення перевантаження та ранніх проявів остеоартриту у колінному суглобі.

**Патологія гомілковостопної зони (ГСЗ)** становить 10–20% від захворювань нижніх кінцівок і є важливою проблемою у спортивній медицині. Злагоджена робота усіх елементів цього комплексного анатомічного регіону (26 кісток та 137 суглобів, пов'язаних складними сполученнями) необхідна для утримання рівноваги тіла у вертикальному положенні і забезпечення його руху. Больовий синдром у ГСЗ виникає при механічних навантаженнях (надлишкова вага), посттравматичних змінах та системних захворюваннях (РА).

На сьогодні ОSG позиціонується як модальність 2–3 лінії діагностики патології ГСЗ при м'якотканинних (після УЗД, МРТ) та кісткових (після КР, МРТ) ураженнях ГСЗ; чутливість ОФЕКТ/КТ майже рівноцінна МРТ [2, 63], однак відзначається вища специфічність ОФЕКТ/КТ для симптоматичних кісткових, зв'язково-сухожилкових та суглобових патологій [64–66]. 3-ф ОSG дозволяє оцінити хронічні процеси з тривалим больовим синдромом у ГСЗ та диференціювати кісткові та м'якотканинні зміни, а томографічні режими уточнюють зону для структурного променевого дослідження, допомагають в клінічній інтерпретації радіологічних знахідок [22, 67, 68].

**Показання до ОSG при патології ГСЗ:** остеоартрити; остеохондральні ураження таранної кістки; тарзальні коаліції (аномальне зрощення декількох кісток передплюсни); додаткові та сесамовидні кістки; тендинопатії; плантарні фасціїти; імпіджемент-синдроми гомілковостопного суглоба; плоскостопість (рис. 5) [69, 70].

Успішність дослідження ГСЗ обумовлена правильним позиціонуванням та іммобілізацією пацієнта в анатомічній позиції без больового синдрому; оптимальна візуалізація досягається в різних позиціях залежно від ураженого регіону: плантарна (передній відділ стопи), передня (середній відділ стопи), медіальна і латеральна (задній відділ стопи) і задня (гомілковостопний суглоб) [20, 71]. При ураженнях зв'язкового апарату без втягнення кісткових елементів рекомендується виконувати м'якотканинну фазу в режимі ОФЕКТ (8 сек/крок, 72 кроки, 360°) або ОФЕКТ/КТ (з низькодозовою КТ 80 kV, 20 mAs) [2].

Остеоартрити (ОА) – найбільш поширена патологія стоп, що виникає внаслідок травм, переважно у

Spontaneous osteonecrosis emerges abruptly in medial femoral process unilaterally (in women aged 60 years or older) or bilaterally (in young people). Radiological symptoms of cartilage and subchondral BT destruction and also changes on MRT are detected beginning from the 2nd stage [62], whereas on osteoscintigraphy the intensive fixation of radiopharmaceutical during the blood pool and the delayed phases is visible at the 1st stage for 6 months with gradual decrease later on. The increased fixation of radiopharmaceutical during the delayed phase lasts up to 2 years after the beginning of the process [9].

Meniscus (most often medial) injury is a common cause of pain syndrome because of the biomechanical abnormality and displacement of the natural vector load. In the cases of degenerative changes of meniscus or meniscal tear and its extrusion (according to MRT) the firm increase of radiopharmaceutical fixation was observed ( $p=0,045$  and  $p<0,02$ , respectively) in comparison with the intact one in the medial femorotibial compartment [57], which proved SPECT/CT efficacy for detecting overload and early signs of osteoarthritis in the knee joint.

**Pathology of talocrural region** makes up 10–20% of lower limbs diseases and is an important problem in sports medicine. Well-coordinated work of all elements of this complex anatomy region (26 bones and 137 joints connected with complicated compounds) is crucial for maintaining upright body sway and movement. Pain syndrome in talocrural region emerges due to mechanical loads (excess weight), posttraumatic changes and systematic diseases (rheumatoid arthritis).

As of today osteoscintigraphy is positioned as the modality of the 2–3 line of diagnostics of talocrural region pathology with underlying soft tissue (after USI, MRT) and bone (after CR, MRT) diseases of talocrural region. The SPECT/CT sensitivity is almost equal to MRT [2, 63], but higher SPECT/CT specificity has been observed for symptomatic bone, ligamento-tendinous and joint pathological conditions [64–66]. 3-phase osteoscintigraphy enables chronic processes with long-lasting pain syndrome in talocrural region to be analyzed and changes in bones and soft tissues to be differentiated whereas tomographic modes are used for specifying the area for structural radiology and help with clinical interpretation of radiologic findings [22, 67, 68].

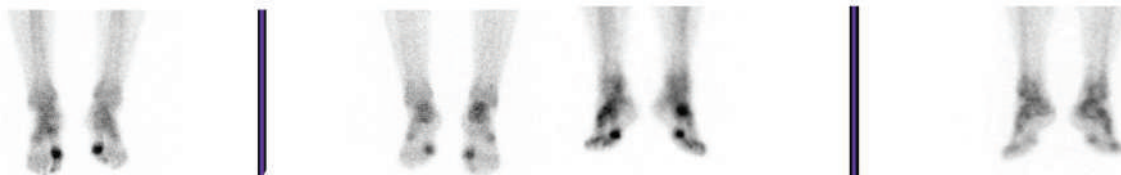
**Contraindications for osteoscintigraphy in the cases of talocrural region pathology:** osteoarthritis; osteochondral diseases of the talus; tarsal coalitions (abnormal fusion of several tarsal bones); accessory and sesamoid bones; tendinopathy; plantar fasciosis; impingement-syndromes of the talocrural joint; flatfoot (Fig. 5) [69, 70].

The success of the talocrural region examination is dependent on right positioning and immobilization of a patient in anatomical position without pain syndrome; optimal visualization is achieved in different positions depending on the affected area: plantar (forefoot), anterior (midfoot), medial and lateral (hindfoot), posterior (talocrural joint) [20, 71]. In the cases of ligamentous apparatus diseases without involvement of bone elements, it is recommended that the blood pool phase is done in SPECT (8s/step, 72 steps, 360°) or SPECT/CT mode (with low-dose CT 80 kV, 20 mAs) [2].

Osteoarthritis is the most common foot pathology which occurs due to injuries, predominantly affecting young people. In the cases of osteoarthritis osteoscin-

молодих людей. ОСГ при ОА застосовують у планарному, томографічному і суміщеному режимі. Виконання ОФЕКТ та ОФЕКТ/КТ дозволяє виявляти додаткові патологічні ділянки (72–81% випадків), точно локалізувати патологічні вогнища (у 64–76% випадків), змінювати план лікування (у 53–78% пацієнтів) [70]. ОФЕКТ/КТ достовірно ефективніша для локалізації активних ОА в комплексних суглобах середньої стопи (навікулокунеїформного та тарсометатарзального) порівняно з традиційними окремо проведеними КТ та ОФЕКТ (каппа 0,86, 95% CI 0,81–0,88) [72].

Ефективність ОФЕКТ/КТ доведена при плануванні специфічного лікування: локальних внутрішньосуглобових ін'єкцій анестетиків та стероїдів (при ін'єкції у місці максимальної фіксації РФП безпосередньо в суглобову порожнину анальгетичний і протизапальний ефект досягався у 90–96% пацієнтів) [73], селективної радіосиновектомії, оперативного втручання (артропластики або артродезу) [63, 74], а також при рецидивуючих болях після лікування [75].



**Рис. 5.** Артрити суглобів стоп  
**Fig. 5.** Arthritis of joints of the foot

При термінальному остеоартриті гомілковостопного суглоба виявлена кореляція гістопатологічної картини і сцинтиграфічних даних: підвищення клітинності за рахунок активних остеобластів, кількості неорганізованих волокон та остеобласт-опосередкованої кісткової формації в губчатій тканині (мозкових тканинах) у кінцевих пластинах субхондральної КТк строго корелювала із зонами підвищеного накопичення РФП, виявленими при ОФЕКТ/КТ [76]. Остеохондральні ураження таранної кістки є частою причиною болю і складають близько 4% усіх кістково-хрящових уражень ГСЗ. Діагностичні складнощі при цій патології обумовлені анатомічними і біомеханічними особливостями таранної кістки: велика хрящова суглобова поверхня (60–70%) та механічне навантаження при замиканні суглоба призводить до погіршення живлення і вразливості суглобових елементів. КР виявляє патологічні зміни цієї ділянки лише у 50% випадків, тому виконують МРТ для оцінки цілісності і стабільності хряща. У дослідженні Meftah з колегами [77] довели, що ОФЕКТ/КТ точніше визначає поширеність і глибину ураження КТк при масивних та мультиураженнях порівняно з МРТ: зміна плану лікування відбувалась у 48% випадків після виконання ОФЕКТ/КТ та у 52% – після поєднаної оцінки ОФЕКТ/КТ та МРТ.

При тарзальних коаліціях ОСГ допомагає визначити їх локалізацію, тип (кістковий, хрящовий або фіброзний) та наявність ускладнень (ОА) [6]. Підвищена фіксація РФП у додаткових та сесамовидних кістках відбувається при нетипових анатомічних варіантах, коли вони стають джерелом больового синдрому при втягненні в дегенеративні і запальні артропатії [78, 79].

Імпіджемент-синдроми ГСЗ внаслідок гіперфлексії в суглобах є джерелом больового синдрому та обмеження руху у спортсменів. Рівень фіксації РФП

igraphy is applied in planar, tomographic and combined modes. SPECT and SPECT/CT allow additional pathological areas to be detected (in 72 – 81% of the cases), abnormal focuses to be precisely localized (in 64 – 76% of the cases), treatment planning to be changed (for 53–78% of patients) [70]. SPECT/CT is conclusively more effective for the localization of active osteoarthritis in complex midfoot (naviculocuneiform and tarsometatarsal) joints compared with traditional separately done CT and SPECT (kappa 0.86, 95% CI 0.81–0.88) [72].

SPECT/CT efficacy has been proved in planning the specific treatment of: local intraarticular injections of anesthetics and steroids (injection into the place of maximum fixation of radiopharmaceutical directly in articular cavity caused analgesic and anti-inflammatory effect to be reached in 90–96% of patients) [73], selective radiosynovectomy, surgery (arthroplasty or arthrodesis) [63, 74], and also in the cases of recurrent pains after the treatment [75].

In the cases of terminal osteoarthritis of the ankle joint the correlation of histopathological picture and scintigraphic data was detected: cellularity augmentation owing to active osteoblasts, amount of unorganized fibers and osteoblast-mediated bone formation in spongy tissue (brain tissues) in the end plates of subchondral BT strictly correlated with areas of increased assembly of radiopharmaceutical that were detected on SPECT/CT [76].

Osteochondral lesions of the talus are often a common cause of pain and make out about 4% of all osteoarthralaginous lesions of talocrural region. Diagnostic complications of this pathology are due to anatomical and biomechanical characteristics of the talus: large cartilaginous articular surface (60–70%) and mechanical load on the background of block of the joint leads to nutrition worsening and fragility of the joint elements. CR detects pathological changes of this area only in 50% of all cases, therefore MRT is used for estimating cartilage integrity and stability. During the research Meftah and his colleagues [77] proved that SPECT/CT determines lesion site and depth in the cases of massive and multi-lesions more accurately compared with MRT: the treatment planning was changed in 48% of the cases after SPECT/CT examination and in 52% – after the combined analysis of SPECT/CT and MRT.

Speaking of tarsal coalitions, osteoscintigraphy helps to determine their localization, type (bony, cartilaginous and fibrous) and presence of complications (osteoarthritis) [6]. The increased fixation of radiopharmaceutical in accessory and sesamoid bones occurs in uncommon anatomical variants when they become the source of pain syndrome with involvement in degenerative and inflammatory arthropathies [78, 79].

Hyperflexion in joints causes impingement syndromes of talocrural region which are the sources of pain syndrome and movement limitation among sportsmen. The fixation level of radiopharmaceutical correlated with the types

корелював з типом імпіджемент-синдрому (передній, задній, двобічний) та інтенсивністю болю [80].

Проведений аналіз літератури свідчить про високу ефективність ОСГ у таких клінічних ситуаціях: виражений больовий синдром при відсутності морфологічних змін на інших променевих обстеженнях (структурні порушення ще «не встигають» розвинути); ушкодження дрібних кістково-суглобових структур, важких для візуалізації (міжхребцеві суглоби, остисті та поперекові відростки хребців, дрібні кістки та суглоби кистей і стоп). Підвищення фіксації РФП відбувається при мінімальних змінах метаболічної активності на клітинному рівні, а дослідження в динаміці дозволяє контролювати активність процесу та ефективність лікування.

Дослідження можливостей новітніх технологій ОСГ при патологіях ОРА не припиняються і сьогодні. Про це свідчить велика кількість наукових робіт, датованих 2015–2021 роками і присвячених застосуванню ОФЕКТ та ОФЕКТ/КТ у царині діагностики і лікуванні патології кістково-суглобових структур. Сучасний стан ядерної медицини у світі дозволяє отримувати якісну переконливу інформацію протягом короткого часу, зменшувати кількість невизначених результатів та скорочувати діагностичний пошук для швидкого встановлення діагнозу та своєчасного призначення адекватного лікування.

of impingement syndrome (anterior, posterior, bilateral) and pain intensity [80].

Conducted analysis of literature shows high efficacy of osteoscintigraphy in such clinical situations: severe pain syndrome with absence of morphological changes on other radiological examinations (structural lesions are «yet to develop»); the injuries of small articular structures that are difficult to visualize (intervertebral joints, spinous and lumbar processes of vertebrae, small bones and joints of hands and feet). The increase in the fixation of radiopharmaceutical occurs with underlying changes of metabolic activity on cellular level, and dynamic examination permits process activity and treatment efficiency to be controlled.

The researches of possibilities of modern osteoscintigraphic technologies in the cases of the MSS pathology are still being done to this date. It is indicated by a large amount of the studies dated 2015–2021 years which were dedicated to SPECT and SPECT/CT application in sphere of diagnostics and treatment of pathology of articular structures. The current state of nuclear medicine in the world allows convincing qualitative information to be received within short period of time, the amount of inconclusive results to be decreased and diagnostic search time to be reduced for a quicker diagnosis establishment and well-timed adequate treatment order.

## ВИСНОВКИ

Результати аналізу сучасних літературних даних свідчать про перспективи широкого застосування ОСГ для діагностики, визначення активності, стадії і поширеності патології суглобів, а також для моніторингу результатів їх лікування. ОСГ вважається методом другої лінії діагностики при захворюваннях суглобів, але суміщення ОФЕКТ із структурно-морфологічними променевими методиками значно підвищує його діагностичну ефективність.

Трифазовий режим ОСГ має високу чутливість для виявлення активних метаболічних процесів у м'якотканних суглобових структурах та КТк на ранній стадії, до початку їх рентгенологічної маніфестації. Метод дозволяє оцінити метаболічні зміни у різні фази (судинну, м'якотканну, кісткову) та визначити стан суглобів усього тіла без додаткового променевого навантаження.

## CONCLUSIONS

The results of modern literature data analysis indicate about the possibilities of wide applicability of osteoscintigraphy for the diagnostics, determination of process activity, staging and prevalence of joint pathology, as well as for monitoring the treatment results. Osteoscintigraphy is considered to be a method of second-line diagnostics in the cases of joint diseases but combining SPECT with structural-morphological radial methods significantly increases its diagnostic efficacy.

3-phase osteoscintigraphy is highly sensitive for detecting active metabolic processes in soft tissue joint structures and subchondral BT at an early stage, before the radiologic manifestation. The method enables metabolic changes during different phases (flow, blood pool, delayed) to be estimated and the condition of the joint of the whole body without additional radiation exposure to be determined.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. World Health Organization: Musculoskeletal conditions. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
2. Mohan H.K., Strobel K., Van Der Bruggen W. et al. The role of hybrid bone SPECT/CT imaging in the work-up of the limping patient: a symptom-based and joint-oriented review. *European journal of hybrid imaging*. 2018. Vol. 2(1). 8 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41824-018-0026-2>
3. Shirley R.A., Dhawan R.T., Rodrigues J.N., Evans D.M. Bone SPECT–CT: An additional diagnostic tool for undiagnosed wrist pain. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery*. 2016. Vol. 69(10). P. 1424–1429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2016.04.011>
4. Van den Wyngaert T., Strobel K., Kampen W. U. et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2016. Vol. 43(9). P. 1723–1738. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>
5. Vijayanathan S., Butt S., Gnanasegaran G., Groves A. M. Advantages and Limitations of Imaging the Musculoskeletal System by Conventional Radiological, Radionuclide, and Hybrid Modalities. *Seminars in nuclear medicine*. 2009. Vol. 39(6). P. 357–368. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.07.001>

## REFERENCES

1. World Health Organization: Musculoskeletal conditions. (In English). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
2. Mohan HK, Strobel K, Van Der Bruggen W et al. The role of hybrid bone SPECT/CT imaging in the work-up of the limping patient: a symptom-based and joint-oriented review. *European journal of hybrid imaging*. 2018;2(1):8. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s41824-018-0026-2>
3. Shirley RA, Dhawan RT, Rodrigues JN, Evans DM. Bone SPECT–CT: An additional diagnostic tool for undiagnosed wrist pain. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery*. 2016;69(10):1424–9. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2016.04.011>
4. Van den Wyngaert T, Strobel K, Kampen WU. et al. The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2016;43(9):1723–38. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>
5. Vijayanathan S, Butt S, Gnanasegaran G, Groves AM. Advantages and Limitations of Imaging the Musculoskeletal System by Conventional Radiological, Radionuclide, and Hybrid Modalities. *Seminars in nuclear medicine*. 2009;39(6):357–68. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.07.001>

6. Fogelman I, Gnanasegaran G, Van der Wall H. Radionuclide and hybrid bone imaging. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012. P. 1–1046. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02400-9>
7. Sudol-Szopńska I, Cwikła JB. Current imaging techniques in rheumatology: MRI, scintigraphy and PET. *Polish journal of radiology*. 2013. Vol. 78, № 3. P. 48–56. DOI: <https://doi.org/10.12659/PJR.889138>
8. Mauch F, Drews B. Magnetresonanztomographie: Indikationsstellung in Orthopädie und Unfallchirurgie. *Unfallchirurg*. 2016. Vol. 119, № 10. P. 790–802. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00113-016-0232-y>
9. Elgazzar A.H. Orthopedic nuclear medicine: Second edition. *Springer International Publishing*. 2017. P. 1–431. URL: <https://am-medicine.com/orthopedic-nuclear-medicine-second-edition/>
10. Ziessman H.A., O'Malley J.P., Thrall J.H. Nuclear medicine: the requisites. Fourth edition. Elsevier. Copyright 2014 by Saunders, an imprint of Elsevier Inc. P. 1–452.
11. Castellucci P, Deandreis D., Krizsán A.K., Mirzaei S., Prior J., Sattler B. A joint publication by EANM and UEMS/EBNM. Radiolabelled bisphosphonates. *European Nuclear Medicine Guide*. URL: <https://www.nucmed-guide.app/#!/chapter/9164>
12. Even-Sapir E., Flusser G., Lerman H., Liovshitz G., Metser U. SPECT/multislice low-dose CT: A clinically relevant constituent in the imaging algorithm of nononcologic patients referred for bone scintigraphy. *Journal of nuclear medicine*. 2007. Vol. 48, № 2. P. 319–324.
13. Hirsh V. Skeletal disease contributes substantially to morbidity and mortality in patients with lung cancer. *Clinical lung cancer*. 2009. Vol. 10, № 4. P. 223–229. DOI: <https://doi.org/10.3816/CLC.2009.n.030>
14. Ben-Haim S., Israel O. Breast Cancer: Role of SPECT and PET in Imaging Bone Metastases. *Seminars in nuclear medicine*. 2009. Vol. 39, № 6. P. 408–415. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.05.002>
15. Langsteger W., Rezaee A., Pirich C., Beheshtii M. 18F-NaF-PET/CT and 99mTc-MDP bone scintigraphy in the detection of bone metastases in prostate cancer. *Seminars in nuclear medicine*. 2016. Vol. 46, № 6. P. 491–501. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2016.07.003>
16. Montilla-Soler J. L., Makanji R. Skeletal Scintigraphy. *Cancer Control*. 2017. Vol. 24, № 2. P. 137–146. DOI: <https://doi.org/10.1177/107327481702400206>
17. An Y.S., Park D.Y., Min B.H. et al. Comparison of bone single-photon emission computed tomography (SPECT)/CT and bone scintigraphy in assessing knee joints. *BMC medical imaging*. 2021. Vol. 21(60). P. 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00590-8>
18. Buck A.K., Nekolla S., Ziegler S., Beer A., Krause B.J., Herrmann K. et al. SPECT/CT. *Journal of nuclear medicine*. 2008. Vol. 49, № 8. P. 1305–1319. DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.107.050195>
19. Scharf S. SPECT/CT Imaging in general orthopedic practice. *Seminars in nuclear medicine*. 2009. Vol. 39, № 5. P. 293–307. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.06.002>
20. Baqer M.M., Loutfi I. Optimal imaging positions for 3-phase bone scanning of patients with bony pathology of the feet. *Journal of nuclear medicine technology*. 2010. Vol. 38, № 2. P. 69–75. DOI: <https://doi.org/10.2967/jnmt.109.070771>
21. Suter B., Testa E., Stämpfli P., Konala P., Rasch H., Friederich N.F. et al. A novel standardized algorithm using SPECT/CT evaluating unhappy patients after unicorndylar knee arthroplasty: a combined analysis of tracer uptake distribution and component position. *BMC Medical Imaging*. 2015. Vol. 15. 11 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-015-0053-4>
22. Abdelhafez Y.G., Hagge R.J., Badawi R.D., Raychaudhuri S.P., Chaudhari A.J. Early and delayed <sup>99m</sup>Tc-MDP SPECT/CT findings in rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Clinical nuclear medicine*. 2017. Vol. 42, № 11. P. e480–e481. DOI: <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000001839>
23. Barthassat E., Affi F., Konala P., Rasch H., Hirschmann M.T. Evaluation of patients with painful total hip arthroplasty using combined single photon emission tomography and conventional computerized tomography (SPECT/CT) – a comparison of semi-quantitative versus 3D volumetric quantitative measurements. *BMC Medical Imaging*. 2017. Vol. 17. № 1. 31 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-017-0204-x>
24. Delcroix O., Robin P., Gouillou M., Le Duc-Pennec A., Alavi Z., Le Roux P.Y. et al. A new SPECT/CT reconstruction algorithm: reliability and accuracy in clinical routine for non-oncologic bone diseases. *EJNMMI Research*. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13550-018-0367-7>
25. Lima T.V.M., Bhure U., Pérez Lago M. de S., Thali Y., Matijasevic S., Roos J. et al. Impact of metal implants on xSPECT/CT Bone reconstruction: the “shining” metal artefact. *European journal of hybrid imaging*. 2020. Vol. 4, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41824-020-00087-7>
26. Zeman M.N., Scott P.J. Current imaging strategies in rheumatoid arthritis. *American journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2012. Vol. 2, № 2. P. 174–220.
27. Verdoorn J. T., Lehman V. T., Diehn F. E., Maus T. P. Increased <sup>99m</sup>Tc MDP activity in the costovertebral and costotransverse joints on SPECT-CT: is it predictive of associated back pain or response to percutaneous treatment? *Diagnostic and interventional radiology*. 2015. Vol. 21. P. 342–347. DOI: <https://doi.org/10.5152/dir.2015.14400>
6. Fogelman I, Gnanasegaran G, Van der Wall H. Radionuclide and hybrid bone imaging. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012;1–1046. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02400-9>
7. Sudol-Szopńska I, Cwikła JB. Current imaging techniques in rheumatology: MRI, scintigraphy and PET. *Polish journal of radiology*. 2013;78(3):48–56. (In English). DOI: <https://doi.org/10.12659/PJR.889138>
8. Mauch F, Drews B. Magnetic resonance imaging and computed tomography: What is important in orthopedics and traumatology. *Unfallchirurg*. 2016;119(10):790–802. (In German). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00113-016-0232-y>
9. Elgazzar AH. Orthopedic nuclear medicine: Second edition. *Springer International Publishing*. 2017;1–431. (In English). URL: <https://am-medicine.com/orthopedic-nuclear-medicine-second-edition/>
10. Ziessman HA, O'Malley JP, Thrall JH. Nuclear medicine: the requisites. Fourth edition. Elsevier. Copyright 2014 by Saunders, an imprint of Elsevier Inc. P. 1–452. (In English).
11. Castellucci P, Deandreis D, Krizsán AK, Mirzaei S, Prior J, Sattler B. A joint publication by EANM and UEMS/EBNM. Radiolabelled bisphosphonates. *European Nuclear Medicine Guide*. (In English). URL: <https://www.nucmed-guide.app/#!/chapter/9164>
12. Even-Sapir E, Flusser G, Lerman H, Liovshitz G, Metser U. SPECT/multislice low-dose CT: A clinically relevant constituent in the imaging algorithm of nononcologic patients referred for bone scintigraphy. *Journal of nuclear medicine*. 2007;48(2):319–24. (In English).
13. Hirsh V. Skeletal disease contributes substantially to morbidity and mortality in patients with lung cancer. *Clinical lung cancer*. 2009;10(4):223–9. (In English). DOI: <https://doi.org/10.3816/CLC.2009.n.030>
14. Ben-Haim S, Israel O. Breast Cancer: Role of SPECT and PET in Imaging Bone Metastases. *Seminars in nuclear medicine*. 2009;39(6):408–15. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.05.002>
15. Langsteger W, Rezaee A, Pirich C, Beheshtii M. 18F-NaF-PET/CT and <sup>99m</sup>Tc-MDP bone scintigraphy in the detection of bone metastases in prostate cancer. *Seminars in nuclear medicine*. 2016;46(6):491–501. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2016.07.003>
16. Montilla-Soler JL, Makanji R. Skeletal Scintigraphy. *Cancer Control*. 2017;24(2):137–46. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1177/107327481702400206>
17. An YS, Park DY, Min BH et al. Comparison of bone single-photon emission computed tomography (SPECT)/CT and bone scintigraphy in assessing knee joints. *BMC medical imaging*. 2021;21(60):1–16. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00590-8>
18. Buck AK, Nekolla S, Ziegler S, Beer A, Krause BJ, Herrmann K et al. SPECT/CT. *Journal of nuclear medicine*. 2008;49(8):1305–19. (In English). DOI: <https://doi.org/10.2967/jnumed.107.050195>
19. Scharf S. SPECT/CT Imaging in general orthopedic practice. *Seminars in nuclear medicine*. 2009;39(5):293–307. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.06.002>
20. Baqer MM, Loutfi I. Optimal imaging positions for 3-phase bone scanning of patients with bony pathology of the feet. *Journal of nuclear medicine technology*. 2010;38(2):69–75. (In English). DOI: <https://doi.org/10.2967/jnmt.109.070771>
21. Suter B, Testa E, Stämpfli P, Konala P, Rasch H, Friederich NF et al. A novel standardized algorithm using SPECT/CT evaluating unhappy patients after unicorndylar knee arthroplasty: a combined analysis of tracer uptake distribution and component position. *BMC Medical Imaging*. 2015;15:11. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-015-0053-4>
22. Abdelhafez YG, Hagge RJ, Badawi RD, Raychaudhuri SP, Chaudhari AJ. Early and delayed <sup>99m</sup>Tc-MDP SPECT/CT findings in rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Clinical nuclear medicine*. 2017;42(11):e480–1. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000001839>
23. Barthassat E, Affi F, Konala P, Rasch H, Hirschmann MT. Evaluation of patients with painful total hip arthroplasty using combined single photon emission tomography and conventional computerized tomography (SPECT/CT) – a comparison of semi-quantitative versus 3D volumetric quantitative measurements. *BMC Medical Imaging*. 2017;17(1):31. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-017-0204-x>
24. Delcroix O, Robin P, Gouillou M, Le Duc-Pennec A, Alavi Z, Le Roux PY et al. A new SPECT/CT reconstruction algorithm: reliability and accuracy in clinical routine for non-oncologic bone diseases. *EJNMMI Research*. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13550-018-0367-7>
25. Lima TVM, Bhure U, Pérez Lago M de S, Thali Y, Matijasevic S, Roos J et al. Impact of metal implants on xSPECT/CT Bone reconstruction: the “shining” metal artefact. *European journal of hybrid imaging*. 2020;4(1). (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s41824-020-00087-7>
26. Zeman MN, Scott PJ. Current imaging strategies in rheumatoid arthritis. *American journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2012;2(2):174–220. (In English).
27. Verdoorn JT, Lehman VT, Diehn FE, Maus TP. Increased <sup>99m</sup>Tc MDP activity in the costovertebral and costotransverse joints on SPECT-CT: is it predictive of associated back pain or response to percutaneous treatment? *Diagnostic and interventional radiology*. 2015;21:342–7. (In English). DOI: <https://doi.org/10.5152/dir.2015.14400>

28. Rosado-de-Castro P.H., deSouza S.A.L., Alexandre D., da Fonseca L.M.B., Gutfilen B. Rheumatoid arthritis: Nuclear medicine state-of-the-art imaging. *World journal of orthopedics*. 2014. Vol. 5, № 3. P. 312–318. DOI: <https://doi.org/10.5312/wjo.v5.i3.312>
29. Buchbender C., Ostendorf B., Mattes-György K., Miese F., Wittsack H.J., Quentin M. et al. Synovitis and bone inflammation in early rheumatoid arthritis: high-resolution multi-pinhole SPECT versus MRI. *Diagnostic and interventional radiology*. 2013. Vol. 19, № 1. P. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.4261/1305-3825.DIR.5922-12.1>
30. Ostendorf B., Mattes-György K., Reichelt D. C., Blondin D., Wirrwar A., Lanzman R. et al. Early detection of bony alterations in rheumatoid and erosive arthritis of finger joints with high-resolution single photon emission computed tomography, and differentiation between them. *Skeletal radiology*. 2010. Vol. 39, № 1. P. 55–61. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00256-009-0761-3>
31. Noriega-Álvarez E., Domínguez Gadea L., Sanz Viedma S., del Prado Orduña Diez M., Minoves Font M., Peiró Valgañón V. et al. Nuclear Medicine in the diagnosis of pathologies of the spine: role of hybrid imaging. *Revista española de medicina nuclear e imagen molecular*. 2021. Vol. 40, № 1. P. 37–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rem.2020.08.011>
32. De Maeseneer M., Lenchik L., Everaert H., Marcellis S., Bossuyt A., Osteaux M. et al. Evaluation of lower back pain with bone scintigraphy and SPECT. *Radiographics*. 1999. Vol. 19, № 4. P. 901–912. DOI: <https://doi.org/10.1148/radiographics.19.4.g99j03901>
33. Lehman V.T., Murphy R.C., Maus T.P. 99mTc-MDP SPECT/CT of the spine and sacrum at a multispecialty institution: Clinical use, findings, and impact on patient management. *Nuclear medicine communications*. 2013. Vol. 34, № 11. P. 1097–1106. DOI: <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328364bfa6>
34. Russo V.M., Dhawan R.T., Baudracco I., Dharmarajah N., Lazzarino A.I., Casey A.T. Hybrid Bone SPECT/CT Imaging in Evaluation of Chronic Low Back Pain: Correlation with Facet Joint Arthropathy. *World neurosurgery*. 2017. Vol. 107. P. 732–738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.08.092>
35. Al-Riyami K., Gnanasegaran G., Van den Wyngaert T., Bomanji J. Bone SPECT/CT in the postoperative spine: a focus on spinal fusion. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2017. Vol. 44, № 12. P. 2094–2104. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3765-6>
36. Tryniszewski W., Radek M., Radek A., Rysz J., Maziarz Z., Gadzicki M. Clinical research Radioisotopic assessment of bone metabolism of the operated vertebra after inter-process stabilizer implantation in the lumbar segment of the spine. *Archives of medical science*. 2017. Vol. 13. P. 174–182. DOI: <https://doi.org/10.5114/aoms.2017.64718>
37. Gnanasegaran G., Paycha F., Strobel K., Van der Bruggen W., Kampen W.U., Kuwert T. et al. Bone SPECT/CT in Postoperative Spine. *Seminars in nuclear medicine*. 2018. Vol. 48, № 5. P. 410–424. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.06.003>
38. Al-Riyami K., Vöö S., Gnanasegaran G., Pressney I., Meir A., Casey A. et al. The role of bone SPECT/CT in patients with persistent or recurrent lumbar pain following lumbar spine stabilization surgery. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2019. Vol. 46, № 4. P. 989–998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-018-4141-x>
39. Kato S., Demura S., Matsubara H., Inaki A., Shinmura K., Yokogawa N. et al. Utility of bone SPECT/CT to identify the primary cause of pain in elderly patients with degenerative lumbar spine disease. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2019. Vol. 14, № 1. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1236-4>
40. Van der Wall H., Magee M., Reiter L., Frater C.J., Qurashi S., Loneragan R. Degenerative spondylolysis: A concise report of scintigraphic observations. *Rheumatology*. 2006. Vol. 45, № 2. P. 209–211. DOI: <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kei134>
41. Zukotynski K., Curtis C., Grant F.D., Micheli L., Treves S.T. The value of SPECT in the detection of stress injury to the pars interarticularis in patients with low back pain. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2010. Vol. 5, № 1. 13 p. DOI: <https://doi.org/10.1186/1749-799X-5-13>
42. Matesan M., Behnia F., Bermo M., Vesselle H. SPECT/CT bone scintigraphy to evaluate low back pain in young athletes: Common and uncommon etiologies. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2016. Vol. 11, № 1. P. 1–9. DOI: <http://doi.org/10.1186/s13018-016-0402-1>
43. Mattei T.A. The specificity of SPECT-CT for the diagnosis of discogenic pain: implications for the future of the lumbar fusion outcome score (LUFOS). *The spine journal*. 2018. Vol. 18, № 9. P. 1722–1724. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.04.020>
44. Makki D., Khazim R., Zaidan A.A., Ravi K., Toma T. Single photon emission computerized tomography (SPECT) scan-positive facet joints and other spinal structures in a hospital-wide population with spinal pain. *The spine journal*. 2010. Vol. 10, № 1. P. 58–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2009.06.004>
45. Perez-Roman R.J., Brusko G.D., Burks S.S., Serafini A.N., Wang M.Y. Use of Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging for Hypermetabolic Facet Identification in Diagnosis of Cervical and Axial Back Pain. *World Neurosurgery*. 2020. Vol. 137. P. e487–e492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.02.016>
46. Akdemir Ü.Ö., Atasever T., Sipahioğlu S., Türkölmez Ş., Kazımoğlu C., Şener E. Value of bone scintigraphy in patients with carpal trauma.
28. Rosado-de-Castro PH, de Souza SAL, Alexandre D, da Fonseca LMB, Gutfilen B. Rheumatoid arthritis: Nuclear medicine state-of-the-art imaging. *World journal of orthopedics*. 2014;5(3):312–8. (In English). DOI: <https://doi.org/10.5312/wjo.v5.i3.312>
29. Buchbender C, Ostendorf B, Mattes-György K, Miese F, Wittsack HJ, Quentin M et al. Synovitis and bone inflammation in early rheumatoid arthritis: high-resolution multi-pinhole SPECT versus MRI. *Diagnostic and interventional radiology*. 2013;19(1):20–4. (In English). DOI: <https://doi.org/10.4261/1305-3825.DIR.5922-12.1>
30. Ostendorf B, Mattes-György K, Reichelt DC, Blondin D, Wirrwar A, Lanzman R et al. Early detection of bony alterations in rheumatoid and erosive arthritis of finger joints with high-resolution single photon emission computed tomography, and differentiation between them. *Skeletal radiology*. 2010;39(1):55–61. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00256-009-0761-3>
31. Noriega-Álvarez E, Domínguez Gadea L, Sanz Viedma S, del Prado Orduña Diez M, Minoves Font M, Peiró Valgañón V et al. Nuclear Medicine in the diagnosis of pathologies of the spine: role of hybrid imaging. *Revista española de medicina nuclear e imagen molecular*. 2021;40(1):37–49. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rem.2020.08.011>
32. De Maeseneer M, Lenchik L, Everaert H, Marcellis S, Bossuyt A, Osteaux M et al. Evaluation of lower back pain with bone scintigraphy and SPECT. *Radiographics*. 1999;19(4):901–12. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1148/radiographics.19.4.g99j03901>
33. Lehman VT, Murphy RC, Maus TP. 99mTc-MDP SPECT/CT of the spine and sacrum at a multispecialty institution: Clinical use, findings, and impact on patient management. *Nuclear medicine communications*. 2013;34(11):1097–106. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e328364bfa6>
34. Russo VM, Dhawan RT, Baudracco I, Dharmarajah N, Lazzarino AI, Casey AT. Hybrid Bone SPECT/CT Imaging in Evaluation of Chronic Low Back Pain: Correlation with Facet Joint Arthropathy. *World neurosurgery*. 2017;107:732–8. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.08.092>
35. Al-Riyami K, Gnanasegaran G, Van den Wyngaert T, Bomanji J. Bone SPECT/CT in the postoperative spine: a focus on spinal fusion. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2017;44(12):2094–104. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-017-3765-6>
36. Tryniszewski W, Radek M, Radek A, Rysz J, Maziarz Z, Gadzicki M. Clinical research Radioisotopic assessment of bone metabolism of the operated vertebra after inter-process stabilizer implantation in the lumbar segment of the spine. *Archives of medical science*. 2017;13:174–82. (In English). DOI: <https://doi.org/10.5114/aoms.2017.64718>
37. Gnanasegaran G, Paycha F, Strobel K, van der Bruggen W, Kampen WU, Kuwert T et al. Bone SPECT/CT in Postoperative Spine. *Seminars in nuclear medicine*. 2018;48(5):410–24. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.06.003>
38. Al-Riyami K, Vöö S, Gnanasegaran G, Pressney I, Meir A, Casey A et al. The role of bone SPECT/CT in patients with persistent or recurrent lumbar pain following lumbar spine stabilization surgery. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2019;46(4):989–98. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-018-4141-x>
39. Kato S, Demura S, Matsubara H, Inaki A, Shinmura K, Yokogawa N et al. Utility of bone SPECT/CT to identify the primary cause of pain in elderly patients with degenerative lumbar spine disease. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2019;14(1). (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1236-4>
40. Van der Wall H, Magee M, Reiter L, Frater CJ, Qurashi S, Loneragan R. Degenerative spondylolysis: A concise report of scintigraphic observations. *Rheumatology*. 2006;45(2):209–11. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kei134>
41. Zukotynski K, Curtis C, Grant FD, Micheli L, Treves ST. The value of SPECT in the detection of stress injury to the pars interarticularis in patients with low back pain. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2010;5(1):13. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/1749-799X-5-13>
42. Matesan M, Behnia F, Bermo M, Vesselle H. SPECT/CT bone scintigraphy to evaluate low back pain in young athletes: Common and uncommon etiologies. *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2016;11(1):1–9. (In English). DOI: <http://doi.org/10.1186/s13018-016-0402-1>
43. Mattei TA. The specificity of SPECT-CT for the diagnosis of discogenic pain: implications for the future of the lumbar fusion outcome score (LUFOS). *The spine journal*. 2018;18(9):1722–4. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2018.04.020>
44. Makki D, Khazim R, Zaidan AA, Ravi K, Toma T. Single photon emission computerized tomography (SPECT) scan-positive facet joints and other spinal structures in a hospital-wide population with spinal pain. *The spine journal*. 2010;10(1):58–62. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2009.06.004>
45. Perez-Roman RJ, Brusko GD, Burks SS, Serafini AN, Wang MY. Use of Single-Photon Emission Computed Tomography Imaging for Hypermetabolic Facet Identification in Diagnosis of Cervical and Axial

- Annals of nuclear medicine*. 2004. Vol. 18, № 6. P. 495–499. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02984566>
47. Strobel K., Van der Bruggen W., Hug U., Gnanasegaran G., Kampen W.U., Kuwert T. et al. SPECT/CT in Postoperative Hand and Wrist Pain. *Seminars in nuclear medicine*. 2018. Vol. 48, № 5. P. 396–409. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02984566>
48. Bäcker H.C., Wu C.H., Strauch R.J. Systematic Review of Diagnosis of Clinically Suspected Scaphoid Fractures. *Journal of wrist surgery*. 2020. Vol. 09, № 01. P. 81–89. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0039-1693147>
49. Mintz D. N., Roberts C. C., Bencardino J. T., Baccei S. J., Caird M. S., Cassidy R. C. et al. ACR Appropriateness Criteria® Chronic Hip Pain. *Journal of the American College of Radiology*. 2017. Vol. 14, № 5. P. S90–S102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.01.035>
50. Dobrindt O., Amthauer H., Krueger A., Ruf J., Wissel H., Grosser O. S. et al. Hybrid SPECT/CT for the assessment of a painful hip after uncemented total hip arthroplasty. *BMC medical imaging*. 2015. Vol. 15, № 1. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-015-0056-1>
51. Vaz S., Ferreira T. C., Salgado L., Paycha F. Bone scan usefulness in patients with painful hip or knee prosthesis: 10 situations that can cause pain, other than loosening and infection. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology*. 2017. Vol. 27, № 2. P. 147–156. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00590-016-1884-6>
52. Van den Wyngaert T., Paycha F., Strobel K., Kampen W.U., Kuwert T., Van der Bruggen W. et al. SPECT/CT in Postoperative Painful Hip Arthroplasty. *Seminars in nuclear medicine*. 2018. Vol. 48, № 5. P. 425–438. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.05.002>
53. Mushtaq N., To K., Gooding C., Khan W. Radiological imaging evaluation of the failing total hip replacement. *Frontiers in surgery*. 2019. Vol. 6. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsurg.2019.00035>
54. Stoica Z., Dumitrescu D., Popescu M., Gheonea I., Gabor M., Bogdan N. Imaging of avascular necrosis of femoral head: familiar methods and newer trends. *Current health sciences journal*. 2009. Vol. 35, № 1. P. 23–28.
55. Luk W.H., Au-Yeung A.W.S., Yang M.K.W. Diagnostic value of SPECT versus SPECT/CT in femoral avascular necrosis: Preliminary results. *Nuclear medicine communications*. 2010. Vol. 31, № 11. P. 958–961. DOI: <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e32833e7732>
56. Hirschmann M.T., Mathis D., Afifi F.K., Rasch H., Henckel J., Amsler F. et al. Single photon emission computerized tomography and conventional computerized tomography (SPECT/CT) for evaluation of patients after anterior cruciate ligament reconstruction: A novel standardized algorithm combining mechanical and metabolic information. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2013. Vol. 21, № 4. P. 965–974. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2083-6>
57. Rechsteiner J., Hirschmann M.T., Dordevic M., Falkowski A.L., Testa E.A., Amsler F. et al. Meniscal pathologies on MRI correlate with increased bone tracer uptake in SPECT/CT. *European radiology*. 2018. Vol. 28, № 11. P. 4696–4704. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5466-3>
58. Awengren R., Rasch H., Amsler F., Hirschmann M.T. Symptomatic versus asymptomatic knees after bilateral total knee arthroplasty: what is the difference in SPECT/CT? *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2016. Vol. 43, № 4. P. 762–772. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3278-0>
59. Van der Bruggen W., Hirschmann M. T., Strobel K., Kampen W. U., Kuwert T., Gnanasegaran G. et al. SPECT/CT in the postoperative painful knee. *Seminars in nuclear medicine*. 2018. Vol. 48, № 5. P. 439–453. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.05.003>
60. Mathis D.T., Büel L., Rasch H., Amsler F., Hirschmann M.T., Hügli R.W. Distribution of bone tracer uptake in symptomatic knees after ACL reconstruction compared to asymptomatic non-operated knees: a method for better differentiating patient-specific from disease-specific bone tracer uptake in SPECT/CT. *Annals of nuclear medicine*. 2019. Vol. 33(3), P. 201–210. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12149-018-01324-7>
61. Lu S.J., Hassan U.L., Vijayanathan S., Gnanasegaran G. Radionuclide bone SPECT/CT in the evaluation of knee pain: Comparing two-phase bone scintigraphy, SPECT and SPECT/CT. *The British journal of radiology*. 2018. Vol. 91, № 1090. DOI: <https://doi.org/10.1259/bjr.20180168>
62. Verschueren J., Albert A., Carp L., Ceyssens S., Huyghe I., Stroobants S. et al. Bloodpool SPECT as part of bone SPECT/CT in n painful total knee arthroplasty (TKA): validation and potential biomarker of prosthesis biomechanics. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2019. Vol. 46, № 4. P. 1009–1018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-018-4244-4>
63. Claassen L., Yao D., Ettinger S., Lerch M., Daniilidis K., Stukenborg-Colsman C. et al. Relevance of SPECT-CT in Complex Cases of Foot and Ankle Surgery: A Comparison With MRI. *Foot & ankle specialist*. 2020. Vol. 13, № 6. P. 451–462. DOI: <https://doi.org/10.1177/1938640019890987>
64. Ha S., Hong S.H., Paeng J.C., Lee D.Y., Cheon G.J., Arya A. et al. Comparison of SPECT/CT and MRI in diagnosing symptomatic lesions in ankle and foot pain patients: Diagnostic performance and relation to lesion type. *PLoS One*. 2015. Vol. 10, № 2. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117583>
65. Mandegaran R., Dhillon S., Jen H. Beyond the bones and joints: a review of ligamentous injuries of the foot and ankle on Back Pain. *World Neurosurgery*. 2020;137:e487–92. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.02.016>
46. Akdemir ÜÖ, Atasever T, Sipahioğlu S, Türkölmez Ş, Kazimoğlu C, Şener E. Value of bone scintigraphy in patients with carpal trauma. *Annals of nuclear medicine*. 2004;18(6):495–9. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02984566>
47. Strobel K, van der Bruggen W, Hug U, Gnanasegaran G, Kampen WU, Kuwert T et al. SPECT/CT in Postoperative Hand and Wrist Pain. *Seminars in nuclear medicine*. 2018;48(5):396–409. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02984566>
48. Bäcker HC, Wu CH, Strauch RJ. Systematic Review of Diagnosis of Clinically Suspected Scaphoid Fractures. *Journal of wrist surgery*. 2020;09(01):81–9. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0039-1693147>
49. Mintz DN, Roberts CC, Bencardino JT, Baccei SJ, Caird MS, Cassidy RC et al. ACR Appropriateness Criteria® Chronic Hip Pain. *Journal of the American College of Radiology*. 2017;14(5):S90–102. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.01.035>
50. Dobrindt O, Amthauer H, Krueger A, Ruf J, Wissel H, Grosser OS et al. Hybrid SPECT/CT for the assessment of a painful hip after uncemented total hip arthroplasty. *BMC medical imaging*. 2015;15(1):1–10. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1186/s12880-015-0056-1>
51. Vaz S, Ferreira TC, Salgado L, Paycha F. Bone scan usefulness in patients with painful hip or knee prosthesis: 10 situations that can cause pain, other than loosening and infection. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology*. 2017;27(2):147–56. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00590-016-1884-6>
52. Van den Wyngaert T, Paycha F, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, van der Bruggen W et al. SPECT/CT in Postoperative Painful Hip Arthroplasty. *Seminars in nuclear medicine*. 2018;48(5):425–38. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.05.002>
53. Mushtaq N, To K, Gooding C, Khan W. Radiological imaging evaluation of the failing total hip replacement. *Frontiers in surgery*. 2019;6:1–13. (In English). DOI: <https://doi.org/10.3389/fsurg.2019.00035>
54. Stoica Z, Dumitrescu D, Popescu M, Gheonea I, Gabor M, Bogdan N. Imaging of avascular necrosis of femoral head: familiar methods and newer trends. *Current health sciences journal*. 2009;35(1):23–8. (In English).
55. Luk WH, Au-Yeung AWS, Yang MKW. Diagnostic value of SPECT versus SPECT/CT in femoral avascular necrosis: Preliminary results. *Nuclear medicine communications*. 2010;31(11):958–61. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1097/MNM.0b013e32833e7732>
56. Hirschmann MT, Mathis D, Afifi FK, Rasch H, Henckel J, Amsler F et al. Single photon emission computerized tomography and conventional computerized tomography (SPECT/CT) for evaluation of patients after anterior cruciate ligament reconstruction: A novel standardized algorithm combining mechanical and metabolic information. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy*. 2013;21(4):965–74. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2083-6>
57. Rechsteiner J, Hirschmann MT, Dordevic M, Falkowski AL, Testa EA, Amsler F et al. Meniscal pathologies on MRI correlate with increased bone tracer uptake in SPECT/CT. *European radiology*. 2018;28(11):4696–704. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00330-018-5466-3>
58. Awengren R, Rasch H, Amsler F, Hirschmann MT. Symptomatic versus asymptomatic knees after bilateral total knee arthroplasty: what is the difference in SPECT/CT? *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2016;43(4):762–72. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-015-3278-0>
59. van der Bruggen W, Hirschmann MT, Strobel K, Kampen WU, Kuwert T, Gnanasegaran G et al. SPECT/CT in the postoperative painful knee. *Seminars in nuclear medicine*. 2018;48(5):439–53. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2018.05.003>
60. Mathis DT, Büel L, Rasch H, Amsler F, Hirschmann MT, Hügli RW. Distribution of bone tracer uptake in symptomatic knees after ACL reconstruction compared to asymptomatic non-operated knees: a method for better differentiating patient-specific from disease-specific bone tracer uptake in SPECT/CT. *Annals of nuclear medicine*. 2019;33(3):201–10. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12149-018-01324-7>
61. Lu SJ, Hassan UL, Vijayanathan S, Gnanasegaran G. Radionuclide bone SPECT/CT in the evaluation of knee pain: Comparing two-phase bone scintigraphy, SPECT and SPECT/CT. *The British journal of radiology*. 2018;91(1090). (In English). DOI: <https://doi.org/10.1259/bjr.20180168>
62. Verschueren J, Albert A, Carp L, Ceyssens S, Huyghe I, Stroobants S et al. Bloodpool SPECT as part of bone SPECT/CT in painful total knee arthroplasty (TKA): validation and potential biomarker of prosthesis biomechanics. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*. 2019;46(4):1009–18. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-018-4244-4>
63. Claassen L, Yao D, Ettinger S, Lerch M, Daniilidis K, Stukenborg-Colsman C et al. Relevance of SPECT-CT in Complex Cases of Foot and Ankle Surgery: A Comparison With MRI. *Foot & ankle specialist*. 2020;13(6):451–62. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1177/1938640019890987>



- <sup>99m</sup>Tc-MDP-SPECT/CT. *The British journal of radiology*. 2019. Vol. 92, № 1104. DOI: <https://doi.org/10.1259/bjr.20190506>
66. Eelsing R., Hemke R., Schepers T. The added value of SPECT/CT in the painful foot and ankle: A review of the literature. *Foot and Ankle Surgery*. 2020. S 1268–7731(20)30203–4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.09.009>
67. Williams T., Cullen N., Goldberg A., Singh D. SPECT-CT imaging of obscure foot and ankle pain. *Foot and Ankle Surgery*. 2012. Vol. 18, № 1. P. 30–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2011.01.009>
68. Yoo I.R. Bone SPECT/CT of the foot and ankle: potential clinical application for chronic foot pain. *Nuclear medicine and molecular imaging*. 2020. Vol. 54, № 1. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13139-019-00627-5>
69. Knupp M., Pagenstert G.I., Barg A., Bolliger L., Easley M.E., Hintermann B. SPECT-CT compared with conventional imaging modalities for the assessment of the varus and valgus malaligned hindfoot. *Journal of orthopaedic research*. 2009. Vol. 27, № 11. P. 1461–1466. DOI: <https://doi.org/10.1002/jor.20922>
70. Upadhyay B., Mo J., Beadsmoore C., Marshall T., Toms A., Buscombe J. Technetium-99m methylene diphosphonate single-photon emission computed tomography/computed tomography of the foot and ankle. *World journal of nuclear medicine*. 2017. Vol. 16, № 2. P. 88–100. DOI: <https://doi.org/10.4103/1450-1147.203077>
71. Wall H., Van Der, Storey G., Frater C., Murray P. Importance of positioning and technical factors in anatomic localization of sporting injuries in scintigraphic imaging. *Seminars in nuclear medicine*. 2001. Vol. 31, № 1. P. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.1053/snuc.2001.18740>
72. Pagenstert G.I., Barg A., Leumann A.G., Rasch H., Müller-Brand J., Hintermann B. et al. SPECT-CT imaging in degenerative joint disease of the foot and ankle. *The Journal of bone and joint surgery*. 2009. Vol. 91(9). P. 1191–1196. DOI: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.91B9.22570>
73. Parthipun A., Moser J., Mok W., Paramithas A., Hamilton P., Sott A.H. <sup>99m</sup>Tc-HDP SPECT-CT aids localization of joint injections in degenerative joint disease of the foot and ankle. *Foot & ankle international*. 2015. Vol. 36, № 8. P. 928–935. DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100715579263>
74. Waldman L.E., Scharf S.C. Bone SPECT/CT of the Spine, Foot, and Ankle: Evaluation of Surgical Patients. *Seminars in nuclear medicine*. 2017. Vol. 47. P. 639–646. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2017.07.007>
75. Mason L.W., Wyatt J., Butcher C., Wieshmann H., Molloy A.P. Single-photon-emission computed tomography in painful total ankle replacements. *Foot & ankle international*. 2015. Vol. 36, № 6. P. 635–640. DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100715573050>
76. Paul J., Barg A., Kretzschmar M., Pagenstert G., Studler U., Hügler T. et al. Increased osseous (<sup>99m</sup>Tc-DPD uptake in end-stage ankle osteoarthritis: correlation between SPECT-CT imaging and histologic findings. *Foot & ankle international*. 2015. Vol. 36, № 12. P. 1438–1447. DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100715596745>
77. Meftah M., Katchis S.D., Scharf S.C., Mintz D.N., Klein D.A., Weiner L.S. SPECT/CT in the management of osteochondral lesions of the talus. *Foot & ankle international*. 2011. Vol. 32, № 3. P. 233–238. DOI: <https://doi.org/10.3113/FAI.2011.0233>
78. Usmani S., Muzaffar S., Al Kandari F., Ahmed N., Rehman U. Talocalcaneal coalition with os sustentaculum: rare cause for foot pain demonstrated on <sup>99m</sup>Tc-HDP SPECT/CT. *Clinical nuclear medicine*. 2020. Vol. 45, № 12. P. E518–E520. DOI: <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000003217>
79. Bae S., Kang Y., Song Y. S., Lee W. W. Maximum standardized uptake value of foot SPECT/CT using Tc-99m HDP in patients with accessory navicular bone as a predictor of surgical treatment. *Medicine (Baltimore)*. 2019. Vol. 98, № 2. e14022 p. DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014022>
80. Zhang X.Y., Sun Z.K., Wei W.J., Qiu Z.L., Shen C.T., Song H.J. et al. A preliminary study of ankle single photon emission computed tomography/computed tomography in patients with bony impingement syndrome: association with the visual analogue scale pain score. *The Journal of foot and ankle surgery*. 2019. Vol. 58, № 3. P. 434–440. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.fas.2018.09.010>
64. Ha S, Hong SH, Paeng JC, Lee DY, Cheon GJ, Arya A et al. Comparison of SPECT/CT and MRI in diagnosing symptomatic lesions in ankle and foot pain patients: Diagnostic performance and relation to lesion type. *PLoS One*. 2015;10(2). (In English). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117583>
65. Mandegaran R, Dhillon S, Jen H. Beyond the bones and joints: a review of ligamentous injuries of the foot and ankle on <sup>99m</sup>Tc-MDP-SPECT/CT. *The British journal of radiology*. 2019;92(1104). (In English). DOI: <https://doi.org/10.1259/bjr.20190506>
66. Eelsing R, Hemke R, Schepers T. The added value of SPECT/CT in the painful foot and ankle: A review of the literature. *Foot and Ankle Surgery*. 2020. S 1268–7731(20)30203–4. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2020.09.009>
67. Williams T, Cullen N, Goldberg A, Singh D. SPECT-CT imaging of obscure foot and ankle pain. *Foot and Ankle Surgery*. 2012;18(1):30–3. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fas.2011.01.009>
68. Yoo IR. Bone SPECT/CT of the foot and ankle: potential clinical application for chronic foot pain. *Nuclear medicine and molecular imaging*. 2020;54(1):1–8. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13139-019-00627-5>
69. Knupp M, Pagenstert GI, Barg A, Bolliger L, Easley ME, Hintermann B. SPECT-CT compared with conventional imaging modalities for the assessment of the varus and valgus malaligned hindfoot. *Journal of orthopaedic research*. 2009;27(11):1461–6. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1002/jor.20922>
70. Upadhyay B, Mo J, Beadsmoore C, Marshall T, Toms A, Buscombe J. Technetium-99m methylene diphosphonate single-photon emission computed tomography/computed tomography of the foot and ankle. *World journal of nuclear medicine*. 2017;16(2):88–100. (In English). DOI: <https://doi.org/10.4103/1450-1147.203077>
71. Wall H, Van Der, Storey G, Frater C, Murray P. Importance of positioning and technical factors in anatomic localization of sporting injuries in scintigraphic imaging. *Seminars in nuclear medicine*. 2001;31(1):17–27. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/snuc.2001.18740>
72. Pagenstert GI, Barg A, Leumann AG, Rasch H, Müller-Brand J, Hintermann B et al. SPECT-CT imaging in degenerative joint disease of the foot and ankle. *The Journal of bone and joint surgery*. 2009;91(9):1191–6. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.91B9.22570>
73. Parthipun A, Moser J, Mok W, Paramithas A, Hamilton P, Sott AH. <sup>99m</sup>Tc-HDP SPECT-CT aids localization of joint injections in degenerative joint disease of the foot and ankle. *Foot & ankle international*. 2015;36(8):928–35. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100715579263>
74. Waldman LE, Scharf SC. Bone SPECT/CT of the Spine, Foot, and Ankle: Evaluation of Surgical Patients. *Seminars in nuclear medicine*. 2017;47:639–46. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2017.07.007>
75. Mason LW, Wyatt J, Butcher C, Wieshmann H, Molloy AP. Single-photon-emission computed tomography in painful total ankle replacements. *Foot & ankle international*. 2015;36(6):635–40. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100715573050>
76. Paul J, Barg A, Kretzschmar M, Pagenstert G, Studler U, Hügler T et al. Increased osseous (<sup>99m</sup>Tc-DPD uptake in end-stage ankle osteoarthritis: correlation between SPECT-CT imaging and histologic findings. *Foot & ankle international*. 2015;36(12):1438–47. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1177/1071100715596745>
77. Meftah M, Katchis SD, Scharf SC, Mintz DN, Klein DA, Weiner LS. SPECT/CT in the management of osteochondral lesions of the talus. *Foot & ankle international*. 2011;32(3):233–8. (In English). DOI: <https://doi.org/10.3113/FAI.2011.0233>
78. Usmani S, Muzaffar S, Al Kandari F, Ahmed N., Rehman U. Talocalcaneal coalition with os sustentaculum: rare cause for foot pain demonstrated on <sup>99m</sup>Tc-HDP SPECT/CT. *Clinical nuclear medicine*. 2020;45(12):E518–20. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000003217>
79. Bae S, Kang Y, Song YS, Lee WW. Maximum standardized uptake value of foot SPECT/CT using Tc-99m HDP in patients with accessory navicular bone as a predictor of surgical treatment. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(2):e14022. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014022>
80. Zhang XY, Sun ZK, Wei WJ, Qiu ZL, Shen CT, Song HJ et al. A preliminary study of ankle single photon emission computed tomography/computed tomography in patients with bony impingement syndrome: association with the visual analogue scale pain score. *The Journal of foot and ankle surgery*. 2019;58(3):434–40. (In English). DOI: <https://doi.org/10.1053/j.fas.2018.09.010>

#### Перспективи подальших досліджень

Можливості сучасних технологій ОСГ на сьогодні недооцінені клініцистами в таких ситуаціях: при нез'ясованому больовому синдромі для виявлення ділянок активної ремоделювання КТК з подальшою верифікацією структурними методами, при переважній суглобів та ускладненнях ендопротезування.

#### Prospects for further research

The potential of modern OSG (osteoscintigraphy) techniques are currently underestimated by clinicians in the following scenarios: in case of unexplained pain syndrome to identify areas of active osseous tissue remodeling with subsequent verification by structural methods, in case of joint overload and endoprosthesis complications.

Рекомендується продовжувати впровадження у клінічну практику трифазової ОСГ, ОФЕКТ та ОФЕКТ/КТ, а також сучасних алгоритмів обробки сцинтиграфічної інформації для оптимізації ранньої діагностики, визначення активності метаболічних процесів і ступеня ураження структур опорно-рухового апарату, підвищення ефективності лікування та покращення прогнозу захворювань.

It is recommended to continue introducing 3-phase OSG, SPECT and SPECT/CT into clinical experience along with up-to-date algorithms for processing scintigraphic information in order to optimize early diagnosis, to assess the activity of metabolic processes and the degree of musculoskeletal structures damage, to increase treatment efficiency and to improve disease prognosis.

#### Конфлікт інтересів

#### Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

The authors state no conflict of interest.

#### Інформація про фінансування

#### Funding information

Робота фінансується видатками Державного бюджету України.

Financed by the state budget of Ukraine.

#### Подяка

#### Acknowledgments

Особиста подяка Сатир Анастасії Вікторівні за консультацію з приводу роботи з наукометричними базами та створення ілюстративного матеріалу.

The authors are grateful to Anastasia V. Satyr for consulting on scientometric databases and creating illustrations.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Сатир Марина Володимирівна** – кандидат медичних наук, лікар відділення радіонуклідної діагностики Державної установи «Інститут серця Міністерства охорони здоров'я України»; вул. Братиславська, буд. 5, корп. А, м. Київ, Україна, 02660;

e-mail: marina-nmhc@ukr.net

моб.: +38 (066) 296-14-68

**Внесок автора:** робота з наукометричними базами, збір та обробка літератури, аналіз інформації, написання тексту статті, редагування тексту.

**Солодяннікова Оксана Іванівна** – доктор медичних наук, професор, завідувачка науково-дослідного відділення ядерної медицини Національного інституту раку Міністерства охорони здоров'я України; вул. Ломоносова, буд. 33/43, м. Київ, Україна, 03022;

e-mail: oik2000@ukr.net

моб.: +38 (050) 961-46-72

**Внесок автора:** систематизація отриманих даних, загальне керівництво проведенням дослідження.

**НOVERKO Ірина Василівна** – завідувачка відділення радіонуклідної діагностики Державної установи «Інститут серця Міністерства охорони здоров'я України»; вул. Братиславська, буд. 5, корп. А, м. Київ, Україна, 02660;

e-mail: irina.noverko@gmail.com

моб.: +38 (063) 859-54-44

**Внесок автора:** збір та обробка інформації, написання тексту статті.

**Гальченко Олександр Юрійович** – асистент кафедри радіології та радіаційної медицини Національного медичного університету України ім. О.О. Богомольця Міністерства охорони здоров'я України; бульвар Тараса Шевченка, буд. 13, м. Київ, Україна, 03057;

e-mail: oleksiy.galchenko@gmail.com

моб.: +38 (050) 382-09-29

**Внесок автора:** збір та обробка інформації, написання тексту статті.

**Satyr Maryna Volodymyrivna** – Candidate of Medical Science, physician of Nuclear Medicine Department of State Organization «Institute Heart Ministry of Health of Ukraine»; 5-A, Bratyslavska Str., Kyiv, Ukraine, 02660;

e-mail: marina-nmhc@ukr.net

tel.: +38 (066) 296-14-68

**Author contributions:** work with scientific databases, collecting and processing literature, analyzing information, writing and editing the article.

**Solodiannikova Oksana Ivanivna** – Doctor of Medical Science, Professor, Head of Nuclear Medicine Research Unit of National Cancer Institute of the Ministry of Health of Ukraine; 33/43, Lomonosova Str., Kyiv, Ukraine, 03022;

e-mail: oik2000@ukr.net

tel.: +38 (050) 961-46-72

**Author contributions:** data systematization, general management of the study.

**Noverko Iryna Vasylivna** – Head of Nuclear Medicine Department of State Organization «Institute Heart Ministry of Health of Ukraine»; 5-A, Bratyslavska Str., Kyiv, Ukraine, 02660;

e-mail: irina.noverko@gmail.com

tel.: +38 (063) 859-54-44

**Author contributions:** collecting and processing information, writing the article.

**Galchenko Oleksii Yuriiovych** – assistant of Department of Radiology and Radiation Medicine O.O. Bogomolets Ukrainian National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 13, Taras Shevchenko boul., Kyiv, Ukraine, 03057;

e-mail: oleksiy.galchenko@gmail.com

tel.: +38 (050) 382-09-29

**Author contributions:** collecting and processing information, writing the article.

Рукопис надійшов  
Manuscript was received  
22.06.2021

Отримано після рецензування  
Received after review  
25.08.2021

Прийнято до друку  
Accepted for printing  
07.09.2021

Опубліковано  
Published  
29.09.2021