

## Képpalkotó módszerek a musculoskeletalis diagnosztikában

*A Skeletal Radiology 2024 augusztusi számában kitűnő cikksorozat jelent meg az MSK diagnosztika módszereiről. A téma legkiválóbb szakemberei foglalták össze a hagyományos röntgendiagnosztika, ultrahang, CT és MRI szerepét, helyét a csont-ízületi rendszer elváltozásainak felismerésében. Mondanivalójukat szép esetekkel dokumentálják. Képeiket sajnos nem közölhetjük, de értékes mondanivalójukról az alábbiakban referátumokat közlünk.*

# A csont-röntgenfelvételek még mindig nagyon fontosak

Julia Crim. *Skeletal Radiology* 2024. 53. 1687-1698.

A diagnosztikai képpalkotásban van egy gyors, olcsó, könnyen elérhető és megbízható teszt: a röntgenfelvétel. A röntgenfelvételek értelmezése kiterjedt orvosi ismereteket és kifinomult vizuális elemzést igényel, beleértve a 3 dimenziós struktúrák megértésének képességét egy 2 dimenziós képen.

A képzett radiológus által leolvasott röntgenfelvételek óriási mennyiségű információt szolgáltathatnak, de egyes orvosok szerint ez elavult készség. Ez igaz? Miért van szükségünk még mindig röntgenfelvételekre egy olyan időszakban, amikor a fejlett képpalkotás könnyen elérhető? Ez a cikk azzal érvel, hogy a röntgenfelvételek továbbra is számítanak, és ezek jó leolvasása elengedhetetlen készség.

Mivel a röntgenfelvételek könnyen hozzáférhetőek, gyorsan elkészíthetők és viszonylag olcsók, ez az első képpalkotó vizsgálat, amelyet a legtöbb gyanús csont- és ízületi rendellenesség értékelésére végeznek. Első szintű képpalkotásnak tekinthetők. A röntgenfelvételek utáni további képpalkotás másodfokú vizsgálatokkal végezhető: ultrahang, CT, MRI vagy nukleáris medicina. Második szintű vizsgálatok rendelhetők el a röntgenfelvételeken látható rendellenességek további vizsgálatára, vagy azért, mert a röntgenfelvételeket normálnak tekintik, de nagy a klinikai rendellenesség gyanúja, vagy olyan rendellenességek, például porckorongsérv keresésére, amelyek nem láthatók a röntgenfelvételeken. A második szintű vizsgálatok lényegesen drágábbak. Ha egy radiológus a röntgenfelvételek alapján tud diagnózist felállítani, jelentős összegeket takaríthat meg a beteg és az egészségügyi rendszer számára. Pénzügyi szempontból tönkre tenné a rendszert például, ha mindenkinél MRI-t végeznének, aki láb- és kéz-ízülettel küzd. Az is igaz, hogy a fejlett képpalkotó vizsgálatok néha figyelmen kívül hagyják vagy félreértelmezhetik a röntgenfelvételeken diagnosztizálható klinikailag jelentős leleteket. E jelenség egyik példája az MRI-n elmaradt törés vagy lágyrész csontosodás, mivel a képi csont ugyanolyan intenzitású, mint a szalagok és inak. Egy másik példa a heterotop csontosodás, amely MRI-n a neoplazmát utánozza. A röntgenfelvételek hamis negatív értelmezése káros hatással lehet a betegellátásra. Ha a radiológus figyelmen kívül hagy radiológiai leleteket, a beutaló orvosok feltételezhetik, hogy a csontok normálisak, és nem folytatnak további vizsgálatokat. Ez jelentősen késleltetheti a diagnózist

## A mesterséges intelligencia szerepe

A mesterséges intelligencia (AI) elképesztő képességekkel rendelkezik. Lehetséges, hogy inkább a radiológusokat fenyegeti a kihalás veszélye, mint a röntgenfelvételeket? A számítógépes algoritmus nem csupán az emberi megfigyelő által előírt kritériumokat értékeli, hanem önállóan is talál értelmes mintákat az adathalmazban. Ez a képesség lehetővé teszi, hogy a mesterséges intelligencia olyan mintákat fedezzen fel, amelyeket radiológusként nem látunk, vagy nem vettünk figyelembe. Jogos az a kérdés, hogy ez a képesség képes-e elavulttá tenni a radiológusokat?

Az MSK radiológiájában a mesterséges intelligencia eddig gondosan megválasztott, bináris kérdéseket tanulmányozott, mint például, hogy van-e törés, vagy csontsűrűség. Egyelőre nem tudjuk, hogy a AI meddig tudja kiterjeszteni képességeit a való világban. A röntgenfelvételek értelmezése többlépcsős folyamat, amely távolról sem bináris. Az MSK radiológus első feladata annak eldöntése, hogy van-e rendellenesség. Utána eldöntik, hogy a rendellenesség a csontban, az ízületben vagy a lágy szövetekben összpontosul-e. Ezután a radiológus megpróbálja meghatározni, hogy a rendellenesség milyen kategóriába sorolható: traumás, neoplasztikus, fertőző, gyulladásos, fejlődési, veleszületett, normál változat, degeneratív vagy iatrogén. E lépések elvégzése után a radiológus meghatározza a konkrét diagnózist. Ez a többlépcsős és többlépcsős elemzés meghaladja az AI-val eddig elért eredményeket.

Az AI az interneten talált információk pontosságától függ. Az internetről szerzett félretájékoztató aggodalomra ad okot a radiológiában, különösen tekintettel a nyílt hozzáférésű publikáción keresztül elérhető, rosszul ellenőrzött cikkek nagy és egyre növekvő száma miatt. Fontos annak tudatában lenni, hogy a mesterséges intelligencia képes információkat gyártani.

A mesterséges intelligencia a jövőben jelentősen megváltoztathatja a radiológia gyakorlatát. A radiológus számára jelenleg is fontos a röntgenfelvételek olvasásának képessége. Amikor egy radiológus értékeli egy filmet, tudja, hogy a film számos különböző állapotra utalhat. A képpalkotó vizsgálat adott indikációja gyakran a „traumára” vagy a „fájdalomra” korlátozódik. A radiológus értékeli a röntgenfelvételeket a csekély kórelőzmény, az

érintett testrész, a beteg életkora, valamint az elektronikus kórlappal vagy a beutaló orvossal folytatott konzultáció alapján. Klinikailag gyakran nem gyanakodnak a daganatokra, és gyakran a röntgenfelvételek jelzik jelenlétét.

### Röntgenfelvételek a végtag traumák értékelésére

Nem lehet véglegesen meghatározni a csontröntgenfelvételek érzékenységet és specifitását traumákra. A pontosság nagymértékben változhat a radiológus szakértelmétől, a képek műszaki minőségétől függően. Kis avulziós törések súlyos inszalagsérülést jelezhetnek.

Egy dániai tanulmányban azt vizsgálták, hogy a kezdeti röntgenfelvételeken kimutathatók-e az elmulasztott proximális sípcsonttörések. Megállapították, hogy az elmulasztott esetek 60%-ában proximális sípcsonttörés látható volt.

A törések felismerése a normál anatómia ismeretétől és a sérülési mechanizmusok ismeretétől függ. Az anatómiai ismeretek abban is segítik a radiológust, hogy elkerülje a veleszületett változatok traumatikus sérülésként való téves diagnózisát.

Könyök röntgenfelvételén radiális fej veleszületett diszlokációjának diagnosztizálása klinikailag gyakran elmarad, mert a fogyatékoság szerény, és a betegek csak trauma miatt jelentkezhetnek. Oldalirányú röntgenfelvétel a radiális fej elülső elmozdulását mutatja. A képzett radiológus észre fogja venni, hogy a radiális fej domború, ahelyett, hogy a normál homorú kontúr mutatna, amely gyermekkorban alakul ki. Ennek a homorú körvonalnak elmaradása veleszületett vagy fejlődési rendellenességre utal.

A talus töréseit gyakran tévesen bokaficamként diagnosztizálják, ami késleltetett diagnózishoz vezet. A töréseket nem könnyű felismerni. Az észlelés javítható, ha az oldalirányú röntgenfelvételeken gondosan megfigyeljük a talus kontúrját a hátsó subtalaris ízületnél. Ha ezt a törést nem észlelik, az osteoarthritis és krónikus fájdalom gyors kialakulásához vezethet.

A Lisfranc-szalagszakadás egy másik sérülés, amely könnyen elnézhető a röntgenfelvételeken. Ha nem észlelik, a beteg gyorsan kialakul a pes planus és lábközépi osteoarthritisben szenved. A röntgenfelvételeken a legmegbízhatóbb megállapítás a második lábközépcsont tövének oldalirányban történő elmozdulása AP röntgenfelvételeken.

Sok felső végtagi sérülés könnyen elnézhető a röntgenfelvételeken, ideértve a sternoclavicularis diszlokációkat, a váll hátulsó diszlokációit, a radius fej töréseit.

### Röntgenfelvételek a gerinc traumájának értékelésére

A CT-vizsgálatok általában az első képalkotó vizsgálatok, amelyeket a gerincsérülés értékelésére végeznek. Röntgenfelvételek készíthetők elsődleges képalkotó módszerként, ha a klinikai gyanú csekély, például elesés után idős betegnél. Az idős betegek alacsony szintű traumái jelentős sérülésekkel járhatnak, például odontoid

törésekkel. Az időseknél az odontoid törések általában oldalsó nézetben láthatók a legjobban. A sagittális CT megerősíti az odontoid nyúlvány ferde, hátul elmozdult törését. Az idős betegek osteopeniája megnehezíti a törések felismerését.

### Röntgenfelvételek a csontdaganatok kimutatására

A csontdaganatok fájdalmasak vagy tünetmentesek lehetnek. A röntgenfelvétel a leggyakoribb képalkotó módszer, amellyel először észlelik a csontdaganatokat. A röntgenfelvételek kevésbé érzékenyek az axiális csontvázban. A csípőszárny talán a legnehezebb terület a lítikus elváltozás kimutatására a röntgenfelvételeken. Nemcsak a csont vékony ebben a régióban, de a széklet elfedheti vagy utánozhatja a csontsérüléseket.

A röntgenfelvétel kiváló módszer a csontsérülés agresszivitásának meghatározására, és gyakran lehetővé teszi a szövettípus végleges diagnózisát. Az MRI-vizsgálat zavaró vagy félrevezető lehet. Emiatt, ha az MRI-n először észlelnek csontelváltozást, a további értékeléshez röntgenfelvételek készítése javasolt. A patológiás törés a rosszindulatú daganat első jele lehet. Diagnózisa gyakran nyilvánvalóbb a röntgenfelvételeken, mint az MRI-n, mivel az MRI-n a traumából eredő abnormális csontvelői jel elfedheti a daganatos elváltozást.

### Röntgenfelvételek az ízületi fájdalom értékelésére

A röntgenfelvétel a leggyakoribb képalkotó módszer az osteoarthritis diagnosztizálására. Jól megkülönböztetik az osteoarthritis és a gyulladós ízületi gyulladást. Bár a röntgenfelvételek kevésbé érzékenyek, mint az ultrahang, a csonterózió a betegek 43-60%-áig válik láthatóvá a kéz vagy a láb röntgenfelvételein a tünetekkel járó rheumatoid arthritis megjelenésétől számított 1 éven belül. A korábbi röntgenfelvételekkel való összehasonlítás gyakran hasznos a korai eróziók és az ízületi rés beszűkülésének kimutatására.

Az ízületi rés beszűkülése, a juxta-artikuláris osteopenia és az ízületi eróziók a szzeptikus arthritis tünetei lehetnek. A CPPD arthropathia klinikai megjelenése utánozhatja a szzeptikus arthritisét. Szerencsére a CPPD radiográfiai leletei jellegzetesek.

### Röntgenfelvételek az atraumás végtag csontfájdalmának értékelésére

A csontdaganatok mellett a röntgenfelvételek számos atraumás végtagfájdalmat mutató entitást diagnosztizálhatnak. Például az osteomyelitis jellemzően mély fájdalommal jár, de előfordulhat, hogy a szisztémás tünetek hiányoznak, és a klinikusok nem gyanakodhatnak a diagnózisra. A röntgenfelvételek hasznosak az angolkór és az osteomalacia diagnosztizálásában is, amelyek fájdalmat és patológiás töréseket okoznak. Ismert vesebetegség, D-vitamin-hiány vagy felszívódási zavar szindróma hiányában kialakuló osteomalacia arra készíti a képzett radiológust, hogy felve-

ti a ritka mesenchymalis daganat gyanúját. A SAPHO-szindróma egy másik ritka, fájdalmas entitás, amely klinikailag gyakran nem gyanítható, de a röntgenfelvételeken nyilvánvaló. Fontos tudni, hogy a radiográfiai eltérések nem feltétlenül láthatók minden nézetben.

### Röntgenfelvételek az atraumás hát- és medencefájdalmak értékelésére

Az atraumás hátfájdalommal járó fiatal betegeknél meglehetősen gyakori és gyakran nem is sejtett lelet a korai spondyloarthropathia. Az atraumás hátfájás egyéb nem sejtett és könnyen figyelmen kívül hagyható okai a discitis-osteomyelitis, a sacroiliacalis ízület szeptikus ízületi gyulladása és a daganat. A spinalis discitis-osteomyelitis diagnózisa jelentősen késhet, de a radiológusok észlelhetik a csigolyatest egy részének denzitásváltozását a test többi részéhez képest. A Paget-kór a fájdalmas entitás példája, amely köny-

nyebben felismerhető a röntgenfelvételeken, mint az MRI-n.

A korai sacroiliitis jellemzően eróziót okoz az ízület csípői oldalán. Ennek oka a csípőoldali vékonyabb porc. Az MRI megerősíti a leleteket.

### Következtetés

A csont-röntgenfelvételek továbbra is fontos diagnosztikai szerepet töltenek be. Sajnos a radiográfias interpretáció már nem kap hangsúlyt sok új tankönyvben vagy folyóiratcikkekben, sőt egyes képzési programokban sem. Emiatt előfordulhat, hogy a radiológusok nem optimális szinten értelmezik a röntgenfelvételeket. Hasznos eszköz a mindennapi gyakorlatban a CT és az MRI használata a röntgenfelvételek értelmezésének javítására. Hasznos visszanezteni a röntgenfelvételre, és eldönteni, hogy utólag módosítja-e a leletet. Ez az önirányított visszacsatolási módszer nagymértékben javíthatja a készség szinteket.

#### Kommentár

*Prof. G. Hermann (1931–2019) a New York-i Mount Sinai Hospital osteologusa kérdésekre sok évvel ezelőtt elmondta, hogy rendszeresen fogad betegeket, akik nagy mennyiségű CT és MRI képet hoznak magukkal. Gyakran előfordul, hogy kiegészítésként kétirányú röntgenfelvételt készít, és ez biztosítja a helyes diagnózist.*

*Forgács Sándor dr.*

## CT a mozgásszervi képalkotásban: még mindig hasznos és mire?

Carrino J. A., Ibad H. Lin Y. és mtsai.: *Skeletal Radiology* 2024.53.1711-1725.

A számítógépes tomográfia (CT) egy röntgen alapú módszer, amely keresztmetszeti képeket hoz létre. A CT világszerte a leggyakrabban használt képalkotó modalitások közé tartozik, becslések szerint 2020-ban 300 millió szkennelést végeztek. A várható éves növekedési ráta 4%. A vizsgálatok 10%-a mozgásszervi (MSK) indikációra történik.

A CT technológia jelentős áttörését a multidetector CT (MDCT) technika jelentette mely a kortikális és trabekuláris csont kiváló képalkotását biztosítja. A CT technológiában elért számos további előrelépés lehetővé tette az MSK indikációk fokozatos elterjedését. A legújabb fejlesztésű fotonzámláló PCCT még nagyobb térbeli felbontást tesz lehetővé. A CT értékesen hozzájárult az MSK diagnosztika fegyvertárához. Ez magában foglalja a traumákban, a műtéti tervezésben, a reumatológiában, a gyulladós betegségekben, a csontok egészségében, a szarkopéniában és az intervenciós radiológiában való felhasználást.

### Sugárvédelmi szempontok

A CT hátránya a sugárdózis. A dózis csökkentése általában zajosabb képeket eredményez. A megnövekedett zaj ellenintézkedései az expozíció (és így a sugárdózis) növelése vagy a térbeli felbontás csökkentése. A perifériás ízületek MDCT felvétele alacsonyabb sugárdózist eredményezhet, mivel a végtagok CT felvétele kevés sugárérzékeny szövetet érint. A mesterséges intelligencia algoritmusainak alkalmazása a CT felvételezésben, valamint a rekonstrukcióban elkerüli a szükségtelen sugárzást. A modern hardver jobb teljesítményt, sugárszűrést és sugárkollimációt kínálva további sugárzás optimalizálást tesz lehetővé.

### Fejlett technikák

Az MDCT-t (többdetektoros CT) általánosan használják appendikuláris és axiális csontváz képalkotásra, törések kimutatására és jellemzésére, valamint műtéti tervezésre.

4DCT (négydimenziós CT) egy olyan technika, amely mozgás közben teszi lehetővé a perifériás ízület felvételét. Hasznos például a kéztő instabilitási értékeléséhez, vagy betekintést nyújt a térd elülső keresztszalag-hiányos kinematikájába.

DECT (kettős energiájú CT) és a PCCT (fotonszámláló CT) javítja a kontrasztfelbontást, és különböző szövetek összetételét határozhatjuk meg. Szerepet játszik a köszvény és a csontvelő-ödéma diagnózisában. Használható a törés- és fémműtermék-csökkentő képalkotásban. A fotonszámláló detektorok megjelenése számos előnnyel jár, mint például a csökkentett sugárzás, a megnövelt térbeli felbontás.

CBCT (cone beam CT) nagy felületű síkképernyős detektorokat és kúp (valójában piramis) alakú röntgensugarat használnak a szervek leképezésére. Ezek a detektorok alacsonyabb sugárzási dózist és alacsonyabb költségű vizsgálatot igényelnek.

Nagy felbontású CT a meglévő MDCT technológia hardverfrissítésén alapul. Segíthet a trabekuláris csont mikroarchitektúrájának jobb megjelenítésében. Hátránya a sugárdózisok észrevehető növekedése.

## Traumás elváltozások

Hagyományosan a mozgásszervi rendszer traumás sérüléseinek kezdeti értékelését radiográfia segítségével végzik. A CT-t okkult sérülések (például lábközépi Lisfranc sérülések, csípőtörés és összetett csuklótörések) esetén alkalmazzák, ha fennáll az intraartikuláris kiterjedésnek gyanúja.

Az instabilitást kiváltó trauma értékelésében a 4DCT szerepe folyamatosan növekszi, például a térdben, a csuklóban és a bokában. A biomechanikai eltérésnek a különböző jellemzői számszerűsíthetők, mint például a térdkalács oldalirányú dőlése, Nagy hatékonysággal mutatták ki a csukló szalagszakadásait. A boka leképezésében, a sternoclaviculáris instabilitás vizsgálatában is igen fontos.

A térd traumás képalkotásában a CBCT-vizsgálatok segíthetnek meghatározni a súlyhordozás hatását a porc és a meniszkusz rendellenességeire. A késleltetett kontraszttal javított CBCT teszi lehetővé a térdporc vastagságának pontos felmérését.

A posztoperatív képalkotásban a DECT számos előnnyel rendelkezik. Lehetővé teszi a csontos gyógyulás jobb értékelését sebészeti beavatkozás után. A poszttraumás vagy posztoperatív ankilozissal összefüggésben a CT tekintendő referencia standardnak.

## Sebészeti tervezés és posztoperatív felmérés

A CT segít mind a műtét előtti műtéti tervezésben, mind a beavatkozás sikerességének utólagos meghatározásában. Az MDCT által kínált többsíkú rekonstrukció a neurovaszkuláris struktúrák (intravénás kontrasztanyag beadását igénylő) kapcsolatát is lehetővé teszi. Például a femoroacetabularis impingement műtét előtti tervezése

során az MDCT képes jellemezni az acetabularis diszpláziát. A CT által kínált többsíkú rekonstrukció különösen hasznos lehet rossz illeszkedés és szögdeformitás esetén, valamint a környező csontszerkezet integritásának felmérésére. A posztoperatív értékelés során az MDCT jó értékelést biztosít a szövetek és csontok felépítéséről fém implantátumok jelenlétében.

## CT artrográfia

A CT-artrográfát leggyakrabban hígított jódozott kontrasztanyag befecskendezésével perkután tüvel végzik. Bármely ízület esetében az intraartikuláris kontraszt felhasználható a szalagok, porcok, szinoviális proliferáció vagy intraartikuláris testek értékelésének elősegítésére. A CT artrográfia keresztmetszeti és többsíkú képalkotást biztosít a patoanatómia ábrázolására.

Számos ízület esetében pontos módszer a felszíni porcléziók és porcvesztés értékelésére. A vállban hasznos részleges szakadások és a rotátor mandzsetta teljes vastagságú szakadásainak kimutatására, valamint a glenohumeralis chondralis defektusokra. A térdben pontos módszer az elülső keresztszalag-szakadások és a kapcsolódó meniszkuszleziók kimutatására, és különösen hasznos a posztoperatív meniszkusz értékelésére. A direkt CT-artrográfia jól bevált módszerré vált a különböző ízületi struktúrák meghatározására, amelyek egyébként gyenge kontrasztot mutatnak a hagyományos CT-vel, és hasznos olyan esetekben, amikor az MRI nem áll rendelkezésre, vagy ellenjavallt.

## Subchondralis csont felépítése

Az MDCT technológia fejlődése a subchondralis régió értékelésében is növekvő szerepet jelez. Képes a csigolyaközi porckorong patológiáinak pontos vizualizálására is, ami a csigolyaközi porckorong gyulladás/fertőzés és a herniációk pontos diagnózisát eredményezi.

## Köszvény

A köszvény és a pszeudogout a kristályos gyulladásos ízületi gyulladás két formája, amelyet a mononátrium-urát vagy kalcium-pirofoszfát kristályok lerakódása okoz az ízületekben és a porcokban. A köszvényes képalkotás első számú CT-alkalmazása a DECT, amely lehetővé teszi a kristályok lerakódásának pontos megjelenítését. Ezek az alkalmazások segíthetnek a köszvény (domináns mononátrium-urát) és a pszeudogout (domináns kalcium-pirofoszfát) megkülönböztetésében. A mononátrium-urát lerakódások DECT általi detektálása azok méretétől és sűrűségétől, valamint a szkennert detektálási paramétereitől függ.

## Fertőzés

A CT szerepe az MSK-fertőzések értékelésében túlnyomórészt sürgősségi körülmények között van, különösen olyan lágszöveti fertőzések esetében, mint a cellulitisz, nekrotizáló fasciitis, myositis és tályogok. Az osteo-



myelitis és a szepikus ízületi gyulladás a későbbi szakaszokban is láthatóvá válik a CT segítségével.

## Tumorok

Neopláziában a CT szerepe gyakran az MRI vagy az ultrahang kiegészítése, bár a CT különösen hasznos lehet a meszesedés kimutatására, ezáltal segítve a lágy szöveti elváltozások, a denzitás és a környező csontos érintettség jellemzését. A CT-vel a mátrix mineralizációjának finom területei észlelhetők, amelyek esetleg nem mutathatók ki MRI-vel vagy radiográfiával. A DECT mind az elsődleges, mind a metasztatikus elváltozások csontvelői érintettségét képes kimutatni. A DECT jobban kimutatja a nem oszteolitikus infiltrációt.

Az MDCT képes kimutatni például a hemangiómát és az osteoid osteómát. A primer csontdaganatok esetében a CT-nek szerepe lehet a mátrix jellemzésében (chondroid versus osteoid, scleroticus versus lítikus), valamint az oszteolitikus tumor széleinek pontos meghatározásában az MR képalkotás kiegészítéseként, ahol a tényleges kiterjedést elfedheti a környező ödéma.

## Csontsűrűség és szarkopénia

A kvantitatív CT lehetővé teszi a csontsűrűség méréseket az osteopenia és az osteoporosis kimutatására axiális csontvázban és a csípőben, bár perifériás kvantitatív CT-vel is végezhető perifériás vizsgálat. A kvantitatív CT mérések pontosabbak lehetnek, mint a DXA, különösen gerincdegeneráció és egyéb scleroticus csontelváltozások összefüggésében.

A DXA-t korábban használták az egyének zsír- és izomtömegének felmérésére, ami a szarkopénia diagnózisához vezet, amely egy életkorral összefüggő izomtömeg-csökkenés. A zsír- és izomeloszlás mérése a CT-vel is végezhető.

## Intervenciós radiológia

Az MSK intervenciós radiológiájában a CT-t elsősorban a biopsziák pontos és költséghatékony irányítására használják. A fő előny a lágy szöveti struktúrák pontos megjelenítése és a keresztmetszeti látómező, amely lehetővé

teszi a túlbiztonságos elhelyezését. A CT fluoroszkópia lehetővé teszi a hagyományos fluoroszkópia valós idejű képességeit, miközben megőrzi a CT valós idejű tüpozíciójának jobb kontrasztfelbontását a képfelvétellel egyidejűleg.

## Összefoglalás

A hagyományos és fejlett felvételi technikákat egyaránt alkalmazó CT-képalkotásnak növekvő szerepe van a mozgásszervi radiológia területén. Gyermekeknél, ahol a sugárterhelés aggodalomra ad okot, a nem ionizáló módszerek, mint az MRI és az ultrahang alkalmazása indokolt. Mindazonáltal a CT az egyik legbetegbarátabb módszer, amely információban gazdag 3D adatkészletet eredményez, amely utólag feldolgozható, lehetővé téve a további szkennelést. A CBCT számos, a végtagoknak szentelt kiviteli alakban gyártható, ami különösen a láb- és boka-ortopéd sebészek számára nyújt képalkotó eszközöket. A CBCT technológia lehetővé teszi az ízületek vizsgálatát teherviselő körülmények között, valamint a csontok gyógyulásának és szerkezetének pontos értékelését. A 4DCT lehetővé teszi az ízületek mozgásának dinamikus értékelését fiziológiás és kóros állapotokban is, és valószínűleg továbbra is speciális eszköz marad olyan alkalmazásokban, mint a csukló instabilitása és a patellofemorális artikulációk. A DECT lehetővé teszi a megnövelt lágyrész-kontraszt felbontást a csontvelő-ödéma kimutatásával, ami hasznos az akut törések képalkotásában, és segítik a köszvény diagnosztizálását és monitorozását. A PCCT benne rejlik spektrális képalkotás és nagyobb térbeli felbontási képessége, valamint előnyös sugárzási adagolása azt jelenti, hogy a CT a jövőben tovább fog terjedni. Gyulladásos artropátiákkal összefüggésben a PCCT elősegítheti a gyors teljes szervi végtagok (pl. kéz, láb) képalkotását, hogy egyidejűleg felmérjék az eróziókat, a csontvelő-ödéma elváltozásokat és a szinovitist. A kvantitatív CT technikák és a mesterséges intelligencia alapú feldolgozás egyaránt hozzájárul a csontok ásványi anyag tartalmának és az izmok értékeléséhez. A CT-nek a belátható jövőben is nagyon fontos szerepe lesz a mozgásszervi radiológiában!