

Új korszak a DEXA technikában: digitalis flash beam denzitometria

Gergely Mária dr. és Forgács Sándor dr.

Fővárosi Önkormányzat Uzsoki utcai Kórház,
Röntgenosztály

Abból az alkalomból, hogy végre hazánkban is megjelent a legfejlettebb DEXA technikát reprezentáló digitalis flash beam denzitometer (sőt egyszerre kettő!) az alábbiakban áttekintjük a denzitometria fejlődését és ismertetjük a forradalmian új módszert.

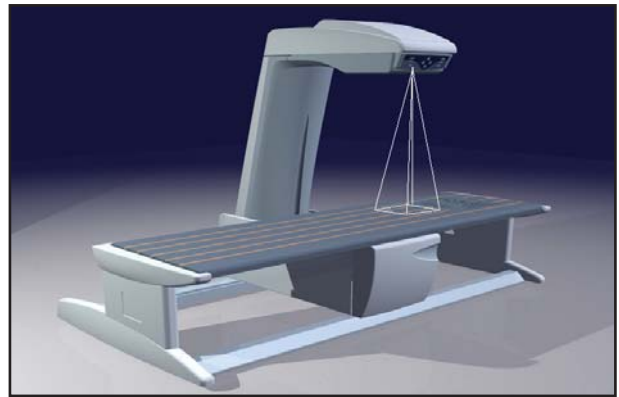
MORFOMETRIÁS MÉRÉSEK



A XX. század 50-60-as éveiben jelent meg és terjedt el a csontok ásványi anyag tartalmának morфомetriás mérése. Ez minőségi ugrást jelentett hiszen számszerű adatokhoz jutottunk, míg korábban a „csontok áttűnősége” jelentette az osteoporosis röntgen diagnózisát.

Legegyszerűbb volt a csöves csontok corticalisának vastagságát meghatározni. Porosisra jellemző a corticalis elvékonyodása és annak mértéke arányos a mérszám csökkenésével Corticalis indexeket mértek amely azt fejezte ki,

1.kép. A csöves csontok osteoporosisának tünete a corticalis elvékonyodása. Mérés nélkül is megállapítható, hogy a metacarpus index kb. 25, azaz a teljes csontátmérő egynegyede a corticalis vastagság.

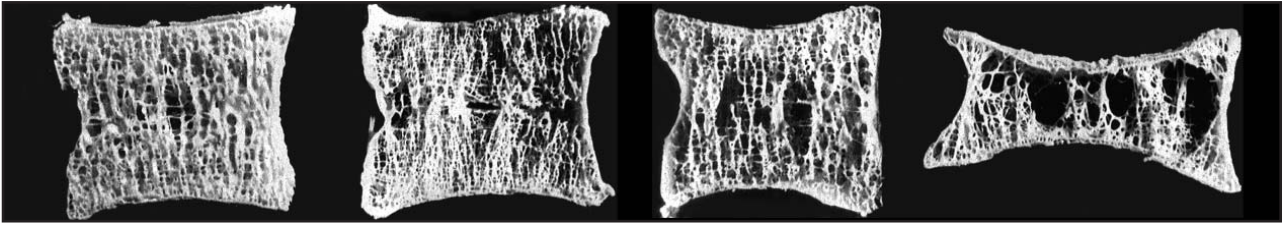


hogy a teljes csontátmérő hány százalékát alkotja a kéregállomány. A 60-as években azt számos csonton meghatározták. Legjobban a II. kézközépcsont mérése terjedt el („metacarpus index”). Ha a csont hosszát is megmérjük, kiszámítható a corticalis tömege és egyéb indexek. Kiderült azonban, hogy ezek a munkaiányes mérések nem adnak több adatot mint a corticalis vastagságának egyszerű lemérése. Hazánkban az egészséges populáció metacarpus indexét *Forgács* határozta meg. Munkáival azt is bizonyította, hogy a mérés használható a klinikai gyakorlatban. Nagyszámú cukorbetegét vizsgált meg. Azt találta, hogy insulin hiányos (I. típusú) cukorbetegekben a corticalis vastagság, azaz a csontok ásványi anyag tartalma csökkent, míg II. típusú diabetesben az nem változott, sőt esetleg magasabb volt. Az utóbbi évtizedben ezeket az észleléseket korszerű mérésekkel is megerősítették. Hazánkban *Gyarmati* különböző morфомetriás méréseket alkalmazott csontanyagcsere betegségek vizsgálatában.

A corticalis indexek mérésének legfőbb tanulsága, hogy megtanultuk: a csöves csontok osteoporosisának tünete a corticalis elvékonyodása, anélkül, hogy a teljes csontátmérő megváltozna. A röntgenfelvételeken ezt mérés nélkül is jól meg lehet figyelni és ezt kell leírni a leletekben is. (1. kép)

A femurnyakban az egyes gerendacsoportok jellegzetes alakba rendeződtek és az osteoporotikus folyamat progressziója során ezek meghatározott sorrendben fogyatkoznak meg. Ez számszerűen is meghatározható (Singh index) A korszerű diagnosztikában ma már ezt nem mérjük, de a napi rutin munkában felhasználjuk eredményeit: a medence röntgenfelvételen megfigyeljük és leírjuk combfej és -nyak szerkezetének változását.

A morфомetroa legfontosabb eredményei a gerinc elváltozásaira vonatkoznak. A porotikus folyamat progressziója során a háti és ágyéki csigolyák jellegzetes mó-

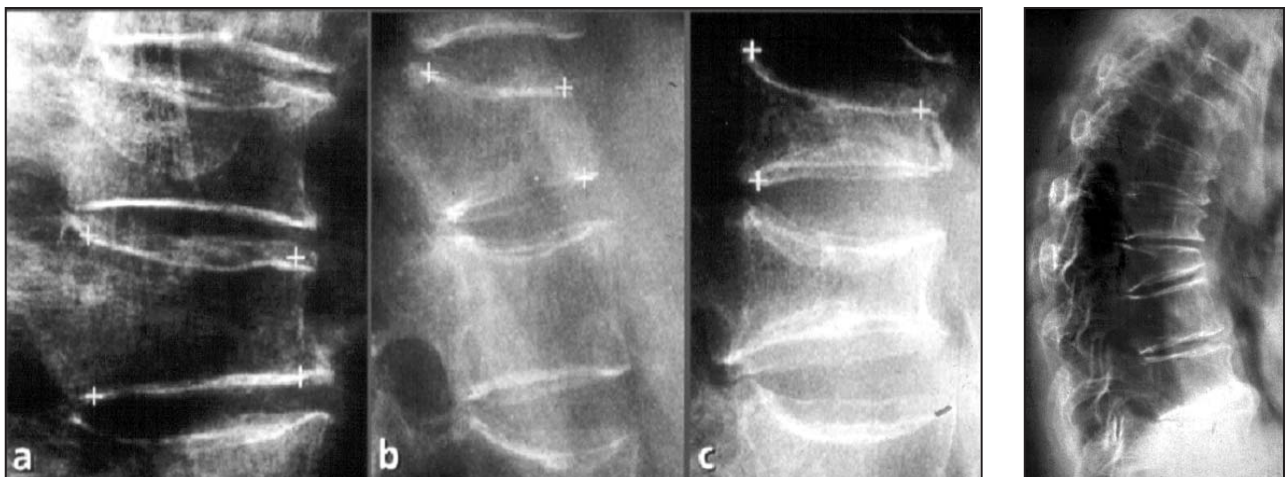
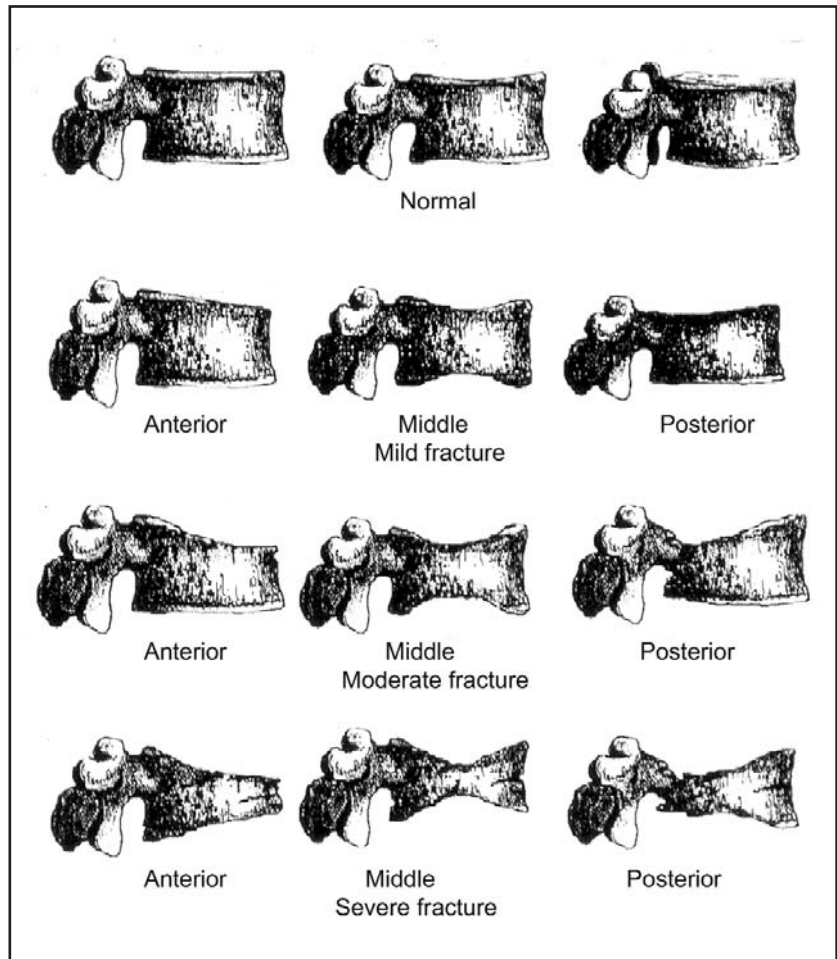


2. kép. Az osteoporotikus folyamat progressziója során a csigolyatestek deformálódnak.

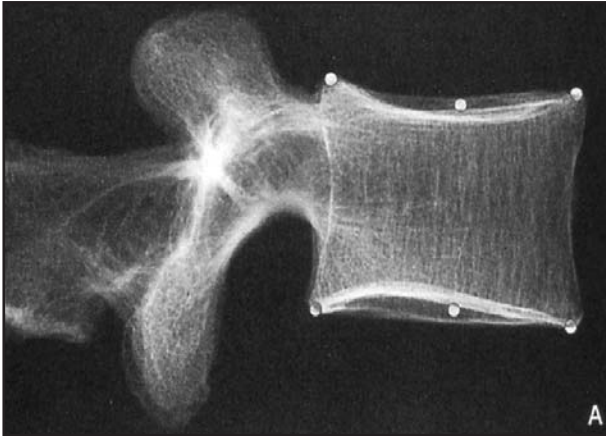
don deformálódnak, összeroppannak. (2. kép) A menopausa utáni csigolya összeroppanások röntgenképét először a magyar *Polgár* írta le, még az 1930-as években. A csigolya összeroppanás súlyossága mérhető, a csigolya indexek azt fejezik ki, hogy az ép csigolyához képest hány százalékban keskenyedett el a csigolyatest. Ezen aprólékos méréseket igénylő módszer helyett világszerte elterjedt *Genant* szemikvantitatív módszere (3. kép). Eszerint a csigolya összeroppanásnak 3 formája, és mindhárom formának 3 fokozata van. Mindez az oldalirányú gerinc röntgen felvételen jól megfigyelhető. Leletezés során tehát ne a csigolyatestek „áttűnőségére” hanem alakváltozására koncentráljunk (4a, 4b kép).

A csigolyatestek jellegzetes pontjait kijelölve, azoknak egymástól való távolsága meghatározza a csigolya alakváltozását, az összeroppanás típusát és mértékét. Ez a digitalis radiographia felhasználásával mérhető (5a, 5b kép). A korszerű denzitometerek a BMD-n kívül ezt is meghatározzák.

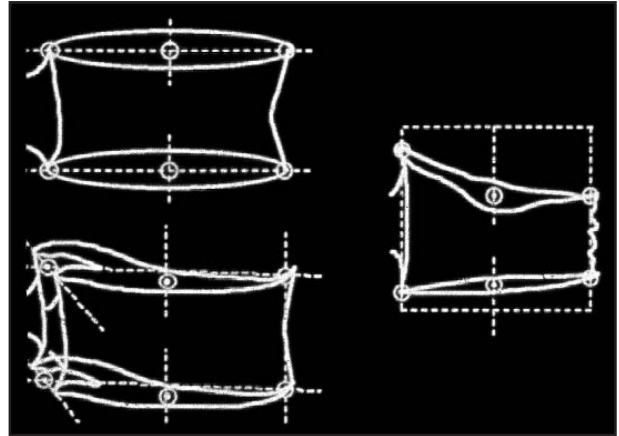
3. kép. A csigolya kompresszió szemikvantitatív mérése *Genant* szerint



4a és 4b kép. Különböző mértékű csigolya összeroppanások.



5.a és 5b kép. A összeroppanás mérése digitális módszerrel



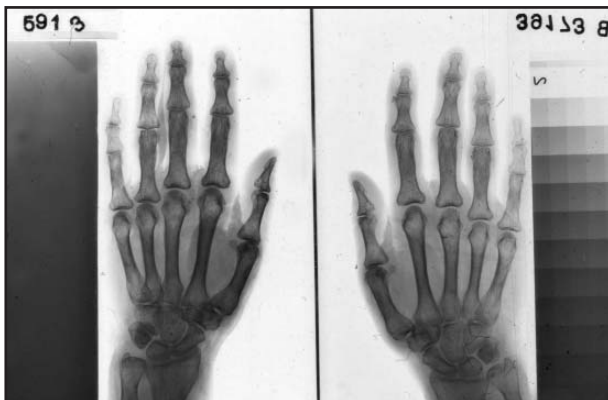
HAGYOMÁNYOS DENZITOMETRIA

A morfometria minden előnye ellenére nem tudta teljesíteni az elvárásokat. Kisebb változások kimutatására, kezelés nyomon követésére nem alkalmas. A fejlődés következő lépése a *hagyományos denzitometria* megjelenése volt. Ennek lényege, hogy a csontok abszorpcióját ismert sugárnyelős anyaggal hasonlítjuk össze. Hazánkban Forgács készített alumínium éket ill. lépcsőt, amelyet a kéz csontjaival együtt exponálva mérhető egy adott csontszelvény sugárnyelődése (6. kép). Ennek továbbfejlesztett computerizált változat a *radiogrammetria*. Az USA-ban terjedt el. A kéz csontjaival az Al éket együtt exponálják és a felvételeket centrumokban értékelik. Irodalmi adatok szerint az eredmények jól összevethetők a DEXA mérésekkel.

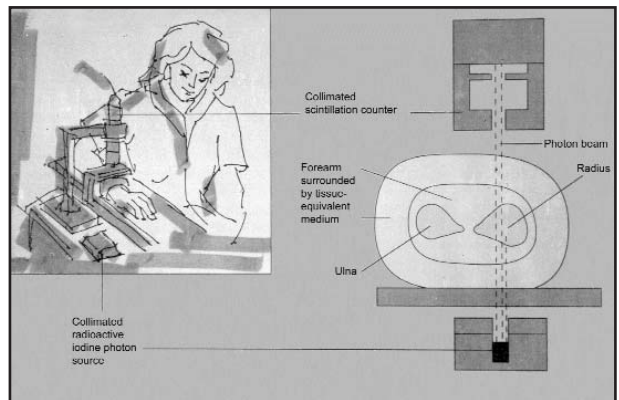
FOTON ABSZORPCIOMETRIA

A csont ásványi anyag tartalom kvantitatív mérésében nagy áttörés volt amikor 1963-ban *Cameron és Sorensen* bevezették a single-foton- abszorpciometriát (SPA). Mono-

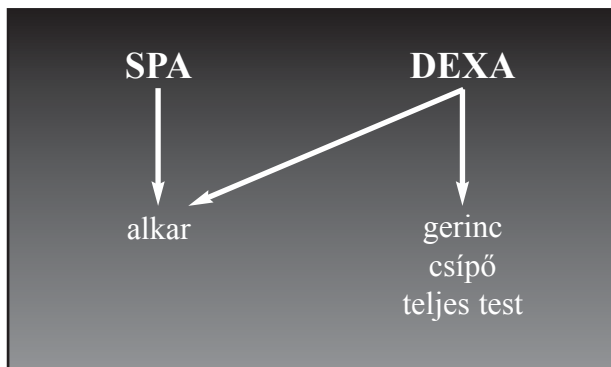
chromatikus izotóp sugárforrás alá helyezték az alkart. A csontokban elnyelt sugárzás arányos az ásványi anyag tartalommal (7. kép). A csontot fedő lágyrészek zavaró hatásának korrekciója érdekében vízfürdőbe kell helyezni a vizsgált testtáját. A sok lágyrésszel fedett csigolyák vagy csípő esetén a vízfürdő nem megoldható, bár erre is történt kísérlet a 70-es években, kádakban helyezték el a beteget. Ez a módszer érthető okokból nem tudott elterjedni, de nem is volt rá szükség mert kidolgozták a kettős energiaszintű abszorpciometriát az axiális csontok (lumbális csigolyák és proximális femurszakasz) vizsgálatára. A kettős fotonforrásból (DPA) egy lágyabb sugárzás a lágyrészekben, keményebb a csontokban nyelődik el, számítógép az elnyelődést egységnyi területre eső ásványi anyag tartalomra számítja át. Mindezek az eljárások izotópforrásból nyerik a fotonokat. Az izotópforrás azonban folyamatosan bomlik míg nem cserére szorul és a lassú fotonáram miatt hosszadalmas volt (15-30 percig tartott) a szkennelés. Emiatt fennállott a veszélye, hogy a beteg megmozdul a vizsgálat ideje alatt és a képminőség is viszonylag gyenge volt. Mindezek következtében korlátozott volt ezen eljárások reprodukálhatósága – ám ennek ellenére nagy mennyiségű értékes klinikai adatot gyűjtöttek alkalmazásukkal.



6. kép. Forgács-féle alumíniumlépcső és -ék, hagyományos denzitometria céljára



7. kép. Single-foton-abszorpciometria

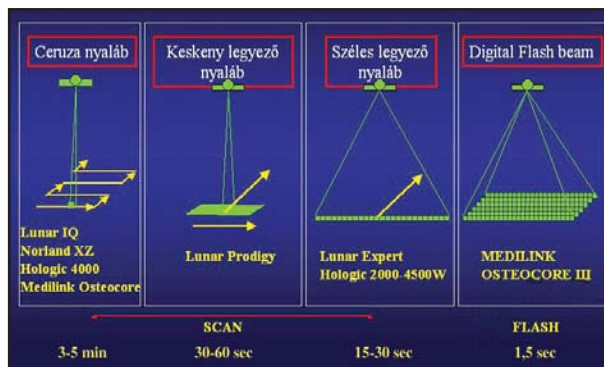


8. kép SPA-val a perifériás csontok, DEXA val bármelyik csont mérhető

KETTŐS ENERGIASZINTŰ RÖNTGENDENZITOMETRIA (DEXA)

A nyolcvanas évek közepén az izotópforrást alacsony sugárdózisú röntgensőre cserélték. Ezek a speciális csövek a biztonság-technikából (lásd repülőtéri csomagátvitel) kerültek át az egészségügybe. Nagyobb fotonáramot biztosítottak gyorsabb (10-15 perces) szkennelést tettek lehetővé és a térbeli felbontást (képminőséget) is javították. A korszerű *dual energy absorptiometry (DEXA)* eredmények jól reprodukálhatóak lettek. A módszer a perifériás, illetve axiális csontok vizsgálatára egyaránt alkalmas (8. kép). Ez a módszer az osteodenzitometria legelterjedtebb és legkönnyebben hozzáférhető módjává vált. A kettős energiaszintű röntgensugár-nyalábot a különböző gyártók különféle módszerekkel, többek között energiaváltással, speciális (ritkaföldfém) szűrővel állítják elő. Az energiaszintet a leképezendő csontvázrégió mineralizálódott csont és lágyszövetösszetevőinek optimális megkülönböztetését eredményező módon állítják be. A Hologic gyártmányú készülékekben alkalmazott energiaváltó rendszer gyors ütemben (60/mp frekvenciával) 40/140 kVp szintek között váltogatja a röntgenső feszültségét. Ennek a módszernek a hátulütője (kvantitatív vizsgálatok esetében) a sugárnyaláb keményedése, valamint az, hogy a röntgenső polychromasiás sugárnyalábot bocsát ki. Mindezeket szimultán kalibrálással és helyesbítéssel – a pulzáló energiaszint-váltással szinkron forgatott csont/lágyszövet-ekvivalens referencia-korong segítségével – küszöbölik ki. Más készülékek (például Lunar, Norland) berendezések állandó röntgenső-feszültséget és az összetevők atomos szerkezetének energiaszint-függő elnyelési tulajdonságokkal rendelkező szűrőt alkalmaznak. Ez a speciális szűrő két komponensre, „magas”, illetve „alacsony” energiaszintű fotonokra bontja a röntgensugár-nyaláb spektrumát.

Az első DEXA-szkennerek keskeny röntgensugárnyalábal és egyetlen detektorral működtek; az utóbbit meghatározott vonalban mozgatták végig a vizsgálandó anatómiai régió felett. Ennek megfelelően egy-egy régió szkennelése 10-15 percet vett igénybe; a teljes csontvázé

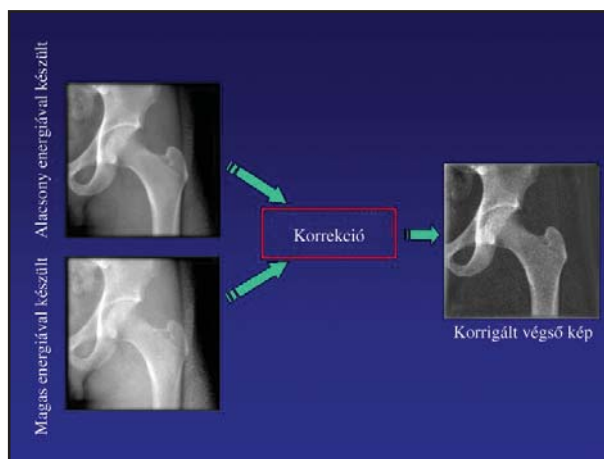


9. kép. A DEXA technika fejlődése

pedig akár 30-40 percig is tartott. Fejlődést jelentett a legyező alakú sugárnyaláb és detektor-csoportok alkalmazása. Ennek köszönhetően az egyes régiók és a teljes csontváz szkennelési idő csökkent, a képminőség és a térbeli felbontás is javult. A legyező alakú sugárnyaláb kissé torzítja a képet. Ez a sajátosság a csípőcsontok geometriai jellemzőinek vizsgálatokor számottevő eltérésekhez vezet. Egyes készülékekbe „C-kart” építettek a laterális BMD-szken elvégzéséhez – ennek köszönhetően a beteg mindvégig hanyatt fekvő helyzetben maradhat. Az utóbbit a klinikai gyakorlatban gyakran mellőzik.

FLASH-BEAM DENZITOMETRIA

A klinikai igények meghatározták a fejlesztés útját.: szkennelés nélkül működő gyors denzitometer az igény, amely nemcsak nagyszámú beteg gyors vizsgálatát valósítja meg, hanem torzulásmentes képeket, még nagyobb pontosságot tesz lehetővé. A digitális radiographia módszereinek alkalmazásával röntgenképpel azonos minőségű képeket kellett nyerni, amelyen a morphometriás mérések is automatikusan kerülnek kiértékelésre. Mindez bravúros technikai megoldásokat követelt például a szórt



10. kép. Alacsony és magas energiájú sugárral készült felvételtől áll össze az digitális röntgenfelvétel



11. kép. Mérhető az összeroppanás fokozata (kvantitatív és semikvantitatív módon)

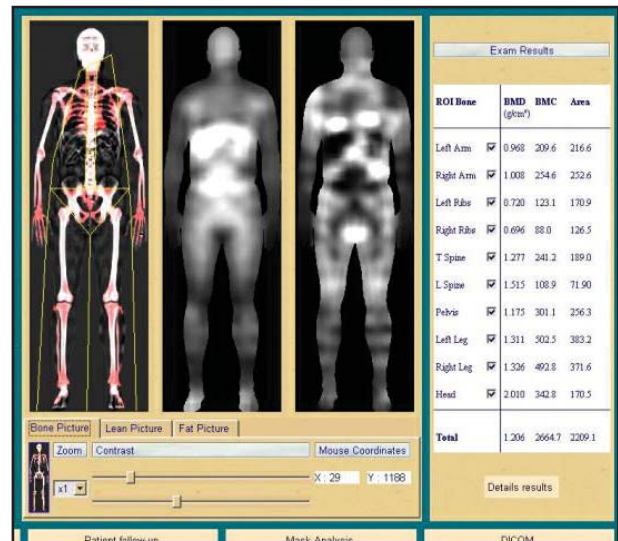
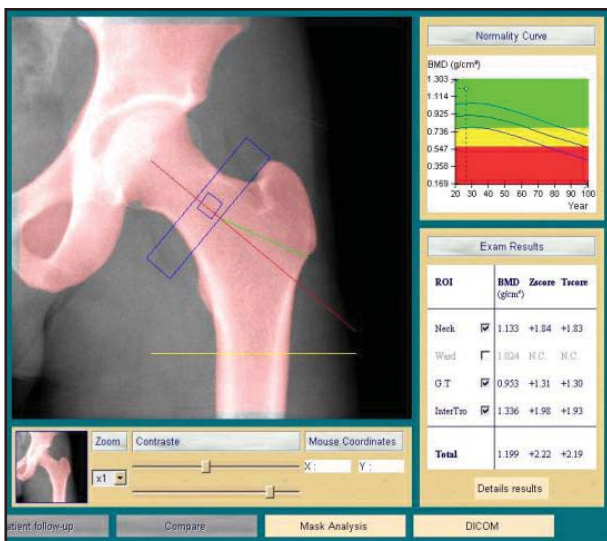
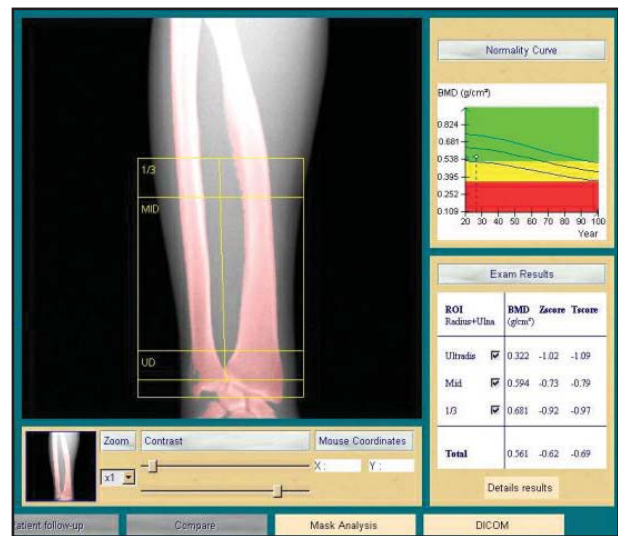
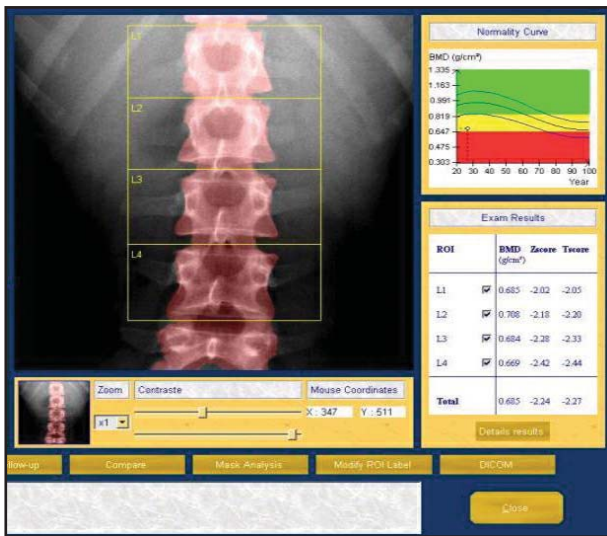
sugárzás zavaró hatásának kiküszöbölésére. Francia fejlesztőknek sikerült megoldaniuk a feladatot és kidolgozták az ún. *flash-beam osteodensitometriát*. Ez kúp alakú sugárnyalábbal dolgozik (9. kép) Módszerük elméleti, fizikai alapjait az Osteologiai Közlemények már 2002-ben közölte: *Dinten, J-M és mtsai: Kétdimenziós, digitális sugárdetektorral végzett kettősenergiás-intű röntgen-abszorpciometria osteodenzitometriás alkalmazása címmel (Osteol. Közl. 2002. 10. 81-87).*

Kúpos sugárnyaláb és kétdimenziós detektor alkalmazása esetén nincs szükség szkennelésre, elegendő mindössze két, villanásszerű (alacsony- és magas energiaszintű) besugárzás – ezáltal a vizsgálat is gyorsabbá, illetve kényelmesebbé válik. A csonton átbocsátott kúpos röntgensugárnyaláb elnyelődését 2D detektor érzékeli. Ez a

megoldás a kétdimenziós koordináta-rendszer mindkét tengelye mentén azonos felbontást és gyors képalkotást biztosít. Csökkenti továbbá a vizsgált testrész elmozdulása okozta műtermékek keletkezésének esélyét

A képalkotó rendszer a hagyományos radiológiai berendezésekéhez hasonló; az egyedüli kivétel a kétdimenziós, digitális síkdetektor. Ez az eszköz amorf szilícium-fotódiódákhoz csatolt Gd₂O₂S szcintilláló anyagot tartalmaz. A képmező nagysága 512×512 képpont; a pixelméret 0,4×0,4 mm. A nagy sugárforrás-detektor távolságnak köszönhetően elhanyagolható a sugárnyaláb kúposágából eredő torzítás.

A kapcsolt röntgenső egymás után kétszer, 70, illetve 140 keV energiaszintű röntgensugarat bocsát ki villanásszerűen (10. kép). A DEXA képalkotás érdekében különleges szűrők biztosítják, hogy az alacsony, illetve a magas energia szintű sugárzással készített felvételek a fotoelektromos, illetve a Compton-tartománynak feleljenek meg. A választott szűrő megfelelően szétválasztja az alacsony és a magas energiátartományokat.



Fontos különbség a flash-beam, illetve a hengeres vagy legyezőszerű sugárnyalábbal működő készülékek között a sugárszóródás mértéke. A hengeres vagy legyező alakú sugárnyalábbal működő rendszerekben *ad hoc* kollimálással korlátozzák a szórt sugárzás mérési eredményeket befolyásoló hatását.

A lumbális gerincről készült kétdimenziós röntgenfelvételen a szórt fotonáram a primerhez képest több mint háromszor annyi jelet generál. A flash-beam berendezéssel végzett osteodenzitometria egyik legnagyobb problémája a sugárintenzitás és a képegometria szórt fotonáram okozta torzulásainak helyesbítése. Ezt szem előtt tartva a szóródás analitikai modellén alapuló kompenzációs eljárást dolgoztak ki.

Az elméleti alapok kidolgozását és fantom kísérleteket követte a megvalósítás: diagnosztikai célra megfelelő, kétdimenziós szenzor alkalmazásával olyan berendezés jött létre, mely a csontsűrűség nagy pontosságú mérése közben kiváló minőségű képet eredményez (10. kép). Matematikai modellek és újszerű algoritmusok alkalmazásával kidolgozták a sugárszóródás kiküszöbölésének módját.

A kétdimenziós technológiának köszönhetően a *betegvizsgálat csupán 1,5 másodpercet* vesz igénybe: egyidejűleg történik a csípő, a csigolyák és az alkarcsontok adatainak rögzítése. Ez a sebesség nem csak beteg kényelmét szolgálja, hanem a különböző alkatú betegeken végzett vizsgálatok eredményeinek reprodukálhatóságát is fokozza. Eleve kizárja továbbá, hogy a beteg „bemozdulása” miatt műtermékek keletkezzenek.

A korábbi denzitometerekkel ellentétben ebben a technikában a röntgenső magasán a beteg felett, a beteg alatt elhelyezett detektortól elegendően nagy távolságra található. Ez az elrendezés megfelel a röntgen felvételi technika követelményeinek, kiküszöböli a nagyítás okozta problémákat. Középmézős digitális szenzort alkalmaznak. A készülékkel a hagyományos röntgenképhez hasonló felvételek készíthetők a csontokról. Ez nem csupán a szokványos radiológiai gyakorlathoz hasonló körismézést tesz lehetővé, hanem egy sor új adatot is szolgáltat (11. kép). A digitális síkdetektort kifejezetten az osteodenzitometria sajátos körülményeit szem előtt tartva ter-

vezték. Felépítését tekintve amorf szilíciumba ágyazott fotodióda-mátrix. Rendkívül érzékeny, reagálása nagymértékben lineáris. A berendezés ezáltal – az osteodenzitometrián kívül – a csigolyatörés pontos körismézését is lehetővé teszi. A vizsgálatot oldalán fekvő betegen végzik; a berendezés a gerincoszlop alsó szakaszáról (L₄-Th₄ csigolyákról) készít kvalitatív képet. Az utóbbi elemzése közvetlenül a személyi számítógép nagyfelbontású monitorán történik és ráadásul, a kép DICOM szabványú rendszerekre továbbítható. A kétdimenziós rendszer kiválóan alkalmas a két femur pontos összehasonlítására is.

Beépített doziméterrel folyamatosan ellenőrizhető a beteget ért sugárdózis, sőt az utóbbi a beteg morfológiai sajátosságainak megfelelően módosítható. A dózisterhelés igen alacsony, más készülékekkel összevetve a legkisebb. A berendezés új típusú beépített minőségellenőrző és kalibráló rendszert is tartalmaz. Ez egyszerűen használható, önműködő, digitális rendszer.

Nem egészen 3 perc alatt elvégezhető a teljes csontváz vizsgálata. Először a csontváz paraméteres képe készül el a C-kar folyamatos, egyenes vonalú elmozdulása közben készített kétdimenziós képek sorozata alapján. A rövid vizsgálati idő és az alacsony sugárterhelés a gyermekgyógyászatban is nagy előny.

A vizsgálati eredmény reprodukálhatóságának fontos tényezője a beteg megfelelő – és minden alkalommal azonos pozícióban történő – elhelyezése a vizsgálóasztalon. A készülék ennek érdekében új, módszert alkalmaz: csekély sugárdózissal, 2 másodperces röntgenátvilágítással határozza meg a beteg helyzetét. Ezt követően a kép alapján, a C-kar beállításának helyesbítésével optimalizálja a beteg és a detektor egymáshoz viszonyított helyzetét. További újítás, hogy a berendezés a beteg egyedi, morfológiai sajátosságaihoz igazítja a sugárdózist. Az átvilágítási adatok alapján történik a blendézés is; az optimális „célzásnak” köszönhetően a lehető legkisebb sugárterheléssel végezhető a vizsgálat.

Hazánkban a közelmúltban az egyik privatizált diagnosztikus intézet egyszerre két ilyen készüléket vásárolt. Jól döntöttek. A korábbiaknál lényegesen több beteget, sokkal magasabb színvonalon tudnak ellátni.