

سلسلة الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة

العدد ١٥ من

قياس امتصاص الأشعة
السينية المزدوجة الطاقة
لتقييم كثافة معادن
العظام وتركيب الجسم

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية



منشورات سلسلة وثائق الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة

تستند ولاية برنامج الصحة البشرية التابع للوكالة إلى نص المادة الثانية من نظامها الأساسي، التي تقضي بأن "تعمل الوكالة على تعجيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع". ويتمثل الهدف الرئيسي لبرنامج الصحة البشرية في تعزيز قدرات الدول الأعضاء في الوكالة على معالجة المسائل المتعلقة بالوقاية من المشاكل الصحية وتشخيصها وعلاجها من خلال تطوير وتطبيق التقنيات النووية، ضمن إطار قائم على ضمان الجودة.

وتهدف منشورات سلسلة وثائق الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة إلى توفير معلومات بشأن المجالات التالية: الطب الإشعاعي، بما في ذلك التصوير الإشعاعي التشخيصي، والطب النووي التشخيصي والعلاجي، والعلاج الإشعاعي؛ وقياس الجرعات والفيزياء الإشعاعية الطبية؛ وتقنيات النظائر المستقرة وغيرها من التطبيقات النووية في ميدان التغذية. وتجذب المنشورات طائفة عريضة من القراء، وهي موجهة إلى العاملين في الميدان الطبي، من ممارسين وباحثين وسواهم من المهنيين. ويساعد خبراء دوليون أمانة الوكالة على صياغة واستعراض هذه المنشورات. كما يجوز لمنظمات دولية وجمعيات مهنية ناشطة في الميادين ذات الصلة أن تقر بعض المنشورات الصادرة ضمن هذه السلسلة أو أن تشارك في رعايتها. وتشتمل هذه السلسلة على فئتين من المنشورات:

سلسلة وثائق الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة

تتضمن هذه الفئة من المنشورات تحليلات أو تُقدّم معلومات ذات طابع استشاري مثل المبادئ الإرشادية، ومدونات ومعايير قواعد الممارسات، وأدلة ضمان الجودة. وتنتشر أيضاً ضمن هذه السلسلة دراسات ومواد تعليمية رفيعة المستوى، مثل النصوص الجامعية.

تقارير الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة

تأتي تقارير الصحة البشرية لتكمّل المعلومات المنشورة في سلسلة وثائق الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة في ميادين الطب الإشعاعي، وقياس الجرعات والفيزياء الإشعاعية الطبية، والتغذية. وتشمل هذه المنشورات التقارير الصادرة عن الاجتماعات التقنية، ونتائج مشاريع الوكالة البحثية المنسّقة، والتقارير المرحلية بشأن مشاريع الوكالة، والمواد التعليمية المجمّعة لاستخدامها فيما تنظمه الوكالة من دورات تدريبية تتناول المواضيع المتصلة بالصحة البشرية. وفي بعض الحالات، قد تتطوي هذه التقارير على مواد داعمة ذات صلة بمنشورات صادرة ضمن سلسلة وثائق الصحة البشرية الخاصة بالوكالة.

ويمكن تنزيل نسخ مجانية لجميع هذه المنشورات من موقع الوكالة الإلكتروني التالي:

<http://www.iaea.org/Publications/index.html>

وللمزيد من المعلومات، يمكن الاتصال بوحدة التسويق والمبيعات على العنوان التالي:

Marketing and Sales Unit
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria

تأدعو القراء إلى إبلاغنا بانطباعاتهم بخصوص هذه المنشورات. ويمكن إرسال المعلومات عبر موقع الوكالة الإلكتروني، أو بالبريد العادي على العنوان المذكور أعلاه، أو بالبريد الإلكتروني على العنوان التالي:

Official.Mail@iaea.org

قياس امتصاص الأشعة
السينية المزدوجة الطاقة
لتقييم كثافة معادن
العظام وتركيب الجسم

الدول الأعضاء في الوكالة الدولية للطاقة الذرية

| | | | |
|--|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| ليبيريا | سوازيلند | بوروندي | الاتحاد الروسي |
| ليتوانيا | السودان | البوسنة والهرسك | إثيوبيا |
| ليسوتو | السويد | بولندا | أذربيجان |
| مالطة | سويسرا | بوليفيا | الأرجنتين |
| مالي | سيراليون | بيرو | الأردن |
| ماليزيا | سيشيل | بيلاروس | أرمينيا |
| مدغشقر | شيلي | تايلند | إريتريا |
| مصر | صربيا | تركيا | إسبانيا |
| المغرب | الصين | ترينيداد وتوباغو | أستراليا |
| المكسيك | طاجيكستان | تشاد | إستونيا |
| ملاوي | العراق | توغو | إسرائيل |
| المملكة العربية السعودية | عمان | تونس | أفغانستان (جمهورية-الإسلامية) |
| المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية | غابون | جامايكا | إكوادور |
| منغوليا | غانا | الجزائر | ألبانيا |
| موريتانيا (جمهورية-الإسلامية) | غواتيمالا | جزر مارشال | ألمانيا |
| موريشيوس | فرنسا | جمهورية أفريقيا الوسطى | الإمارات العربية المتحدة |
| موزامبيق | فنزويلا (جمهورية-البوليفارية) | الجمهورية التشيكية | إندونيسيا |
| موناكو | فنلندا | الجمهورية الدومينيكية | أنغولا |
| ميانمار | فجي | الجمهورية العربية السورية | أوروغواي |
| ناميبيا | فجيت نام | جمهورية الكونغو | أوزبكستان |
| النرويج | قطر | الديمقراطية | أوغندا |
| النمسا | قطر | جمهورية تنزانيا المتحدة | أوكرانيا |
| نيبال | قيرغيزستان | جمهورية لاو الديمقراطية الشعبية | إيران (جمهورية - الإسلامية) |
| النيجر | كازاخستان | جمهورية مقدونيا | آيرلندا |
| نيجيريا | الكاميرون | اليوغوسلافية سابقاً | آيسلندا |
| نيكاراغوا | الكرسي الرسولي | جمهورية مولدوفا | إيطاليا |
| نيوزيلندا | كرواتيا | جنوب أفريقيا | بابوا غينيا الجديدة |
| هايتي | كندا | جورجيا | باراغواي |
| الهند | كوبا | الدانمرك | باكستان |
| هندوراس | كوت ديفوار | دومينيكا | بالاو |
| هنغاريا | كوستاريكا | رواندا | البحرين |
| هولندا | كولومبيا | رومانيا | البرازيل |
| الولايات المتحدة الأمريكية | الكونغو | زامبيا | البرتغال |
| اليابان | الكويت | زمبابوي | بلجيكا |
| اليمن | كينيا | سري لانكا | بلغاريا |
| اليونان | لاتفيا | السلفادور | بليز |
| | لبنان | سلوفاكيا | بنغلاديش |
| | لختنشتاين | سلوفينيا | بنما |
| | لكسمبرغ | سنغافورة | بنن |
| | ليبيا | السنگال | بوتسوانا |
| | | | بوركينافاسو |

وافق المؤتمر الخاص بالنظام الأساسي للوكالة الدولية للطاقة الذرية الذي عقد في المقر الرئيسي للأمم المتحدة بنيويورك في ٢٣ تشرين الأول/أكتوبر ١٩٥٦ على النظام الأساسي للوكالة الذي بدأ نفاذه في ٢٩ تموز/يوليه ١٩٥٧. ويقع المقر الرئيسي للوكالة في فيينا. ويتمثل هدفها الرئيسي في "تعبيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع".

العدد ١٥ من سلسلة الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة

قياس امتصاص الأشعة
السينية المزدوجة الطاقة
لتقييم كثافة معادن
العظام وتركيب الجسم

الوكالة الدولية للطاقة الذرية
فيينا، ٢٠١٣

ملاحظة بشأن حقوق النشر

جميع منشورات الوكالة العلمية والتقنية محمية بموجب أحكام الاتفاقية العالمية لحقوق النشر بشأن الملكية الفكرية بصيغتها المعتمدة في عام ١٩٥٢ (برن) والمنقحة في عام ١٩٧٢ (باريس). وقد تم تمديد حق النشر منذ ذلك الحين بواسطة المنظمة العالمية للملكية الفكرية (جنيف) ليشمل الملكية الفكرية الإلكترونية والفعالية. ويجب الحصول على إذن باستخدام النصوص الواردة في منشورات الوكالة بشكل مطبوع أو إلكتروني، استخداماً كلياً أو جزئياً؛ ويخضع هذا الإذن عادة لاتفاقيات حقوق النشر والإنتاج الأدبي. ويُرحَّب بأية اقتراحات تخص الاستنساخ والترجمة لأغراض غير تجارية، وسيُنظر فيها على أساس كل حالة على حدة. وينبغي توجيه أية استفسارات إلى قسم النشر التابع للوكالة (IAEA Publishing Section) على العنوان التالي:

Sales and Promotion Unit, Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Wagramer Strasse 5
P.O. Box 100
1400 Vienna
Austria

fax: +43 1 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
email: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

© الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ٢٠١٣
طُبِعَ من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية في النمسا
أيار/مايو ٢٠١٣

STI/PUB/1479
ISBN 978-92-0-643210-5
ISSN 2075-3772

تمهيد

تساعد الوكالة الدولية للطاقة الذرية دولها الأعضاء في جهود تطوير تدخلات فعالة قائمة على الأدلة لمكافحة سوء التغذية بكافة صورته باستخدام التقنيات النووية. ونظراً لما تنفرد به التقنيات النووية، وبخاصة تقنيات النظائر الثابتة وقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا)، من خصائص في مجال التغذية، فإن هذه الأساليب تناسب كثيراً تطوير وتقييم تدخلات للتغلب على ما يفرضه سوء التغذية في العالم من عبء مزدوج متمثل في 'نقص التغذية' و'فرط التغذية'.

ويتضمن هذا المنشور معلومات عن الخلفية النظرية والتطبيق العملي لآخر منهجيات قياس كثافة معادن العظام وتقييم تركيب الجسم باستخدام تقنية ديكسا. وساهمت الوكالة في تطوير ونقل الخبرة الفنية في مجال استخدام تقنية ديكسا في الدول الأعضاء عن طريق دعم مشاريع التغذية الوطنية والإقليمية من خلال برنامج التعاون التقني ومشاريع البحوث المنسقة التي تعالج مجالات التغذية ذات الأولوية. وسوف يشكل هذا الكتاب جزءاً مهماً من جهود الوكالة في نقل التكنولوجيا والمساهمة في بناء القدرات في هذا الميدان.

وتولى فريق من الخبراء الدوليين إعداد هذا المنشور الموجه إلى المختصين بالتغذية، والمختصين بالتكنولوجيا الإشعاعية، والباحثين، والمهنيين الصحيين الذين يستخدمون تقنية ديكسا لقياس كثافة معادن العظام وتقييم تركيب الجسم. ونحن ندين بالعرفان على وجه الخصوص للمساهم الرئيسي في هذا الكتاب، J. Shepherd (الولايات المتحدة الأمريكية) الذي لم يضمن علينا بخبراته الفنية ودرايته الواسعة في هذا الميدان.

وموظف الوكالة المسؤول عن هذا المنشور هو L. Davidsson من شعبة الصحة البشرية.

ملاحظة تحريرية

لا يتناول هذا التقرير مسائل المسؤولية، سواء أكانت قانونية أو غير قانونية، عن أفعال أي شخص أو امتناعه عن الأفعال.

وعلى الرغم من الحرص الشديد على الحفاظ على دقة المعلومات الواردة في هذا المنشور، لا تتحمل الوكالة ولا دولها الأعضاء أية مسؤولية عن العواقب التي قد تنشأ عن استخدام تلك المعلومات.

ولا ينطوي استخدام تسميات معينة للبلدان أو الأقاليم على أي حكم من جانب الناشر، وهو الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بشأن الوضع القانوني لهذه البلدان أو الأقاليم، أو سلطاتها ومؤسساتها، أو تعيين حدودها.

ولا ينطوي ذكر أسماء شركات أو منتجات محددة (سواء مع الإشارة إلى أنها مسجلة أو دون تلك الإشارة) على أي نية لانتهاك حقوق الملكية، ولا ينبغي أن يفسر على أنه تأييد أو توصية من جانب الوكالة.

المحتويات

الصفحة

| | | |
|-------|---|----|
| ١ - | مقدمة | ١ |
| ١-١ | الخلفية | ١ |
| ٢-١ | الهدف | ١ |
| ٣-١ | النطاق | ١ |
| ٤-١ | الهيكل | ١ |
| ٢ - | مقدمة عن قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا) | ٢ |
| ١-٢ | ما هو قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة؟ | ٢ |
| ٢-٢ | قياس كثافة العظام باستخدام تقنية ديكسا | ٣ |
| ٣-٢ | النموذج الثلاثي لمكونات الجسم | ٣ |
| ٤-٢ | قياسات ديكسا | ٤ |
| ٥-٢ | مواضع القياس في نظام ديكسا | ٥ |
| ٣ - | معلومات أساسية، بما فيها اعتبارات الأمان والاعتبارات الأخلاقية | ٦ |
| ١-٣ | الأساليب التاريخية لقياس كثافة العظام | ٦ |
| ٢-٣ | لماذا تستخدم تقنية ديكسا بدلاً من الأساليب الأخرى | |
| | لتقييم تركيب الجسم؟ | ٨ |
| ٣-٣ | قيود قياسات ديكسا | ٨ |
| ٤-٣ | مسؤوليات استخدام ديكسا بموجب لوائح الحماية من الإشعاع | ١٠ |
| ١-٤-٣ | اعتبارات الأمان | ١٠ |
| ٥-٣ | الجرعة | ١٠ |
| ١-٥-٣ | الجرعات النمطية التي يتلقاها المريض في أثناء | |
| ١١ | قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة | |
| ٦-٣ | الاعتبارات الأخلاقية | ١٢ |
| ١-٦-٣ | وقاية المريض من الإشعاع | ١٢ |
| ٢-٦-٣ | وقاية الأطفال من الإشعاع | ١٤ |
| ٣-٦-٣ | وقاية النساء الحوامل من الإشعاع | ١٥ |
| ٤-٦-٣ | وقاية العاملين من الإشعاع | ١٦ |
| ٥-٦-٣ | وقاية الجمهور من الإشعاع | ١٧ |
| ٤ - | استخدام تقنية ديكسا في تحديد كثافة العظام وتركيب الأنسجة الرخوة | ١٧ |
| ١-٤ | فيزياء قياس الامتصاص | ١٧ |
| ٢-٤ | المعايير البيولوجية لمكونات الجسم | ٢٠ |
| ٣-٤ | مبادئ قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا) | ٢٢ |
| ٤-٤ | نظرية تقييم تركيب الجسم باستخدام ديكسا | ٢٦ |
| ٥-٤ | نظم قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة (ديكسا) | ٢٨ |

| | | |
|-------|---|----|
| ٦-٤ | توليد الصور الثنائية الطاقة: تغيير الجهد الكهربائي | ٣٣ |
| | مقابل الترشيح بطريقة الحد - ك | ٣٤ |
| ٥ - | إجراء المسح باستخدام نظام ديكسا | ٣٤ |
| ١-٥ | مناطق الجسم ذات الاهتمام في مسح ديكسا | ٣٤ |
| ١-١-٥ | العمود الفقري | ٣٤ |
| ٢-١-٥ | عظم الفخذ القريب | ٣٦ |
| ٣-١-٥ | الساعد | ٣٧ |
| ٤-١-٥ | الجسم بكامله | ٣٨ |
| ٥-١-٥ | تقييم كسور العمود الفقري | ٤٠ |
| ٢-٥ | البروتوكول الإكلينيكي للحصول على صور ديكسا | ٤٠ |
| ١-٢-٥ | تهيئة المريض للمسح | ٤٠ |
| ٢-٢-٥ | مسح المريض | ٤٢ |
| ٦ - | تحليل مسح ديكسا | ٤٦ |
| ١-٦ | التحليل الآلي | ٤٦ |
| ٢-٦ | المناطق الخاصة والنتائج المشتقة | ٤٨ |
| ١-٢-٦ | العضلة الهيكلية | ٤٨ |
| ٢-٢-٦ | النسيج الدهني | ٤٩ |
| ٣-٢-٦ | النسيج الدهني داخل تجويف البطن وقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة | ٥١ |
| ٤-٢-٦ | النسيج الدهني تحت الجلدي | ٥٣ |
| ٥-٢-٦ | الكثافة المعيارية لمعادن العظام | ٥٥ |
| ٦-٢-٦ | الكثافة الظاهرية لمعادن العظام | ٥٦ |
| ٣-٦ | المرضى البدناء | ٥٦ |
| ٤-٦ | الأطفال | ٦٠ |
| ٥-٦ | مراقبة الجودة | ٦٢ |
| ١-٥-٦ | مسح فانتوم العمود الفقري | ٦٢ |
| ٢-٥-٦ | إجراء المسح الهوائي (تجانس التصوير الإشعاعي لسطح الطاولة) | ٦٣ |
| ٣-٥-٦ | مراقبة جودة ديكسا للجسم بكامله | ٦٥ |
| ٤-٥-٦ | فانتوم الأطفال | ٦٧ |
| ٥-٥-٦ | الدراسات البحثية | ٦٧ |
| ٦-٥-٦ | تدريب العاملين | ٦٧ |
| ٧-٥-٦ | الدقة وإمكانية التكرار | ٧١ |
| ٨-٥-٦ | صحة القياس والمعايرة المقارنة في نظم ديكسا | ٧٣ |
| ٩-٥-٦ | رصد ثبات نظام ديكسا | ٧٧ |
| ٦-٦ | الأخطاء | ٧٧ |
| ١-٦-٦ | تركيب النسيج الرخو وقياسات خط الأساس | ٧٧ |

| | | |
|-----|-------|---|
| ٧٨ | ٢-٦-٦ | بدانة المريض وتغيُّر الوزن وحجم العظام |
| ٧٨ | ٣-٦-٦ | عوامل التباين في الإجراءات الأخرى |
| ٨١ | ٤-٦-٦ | أجهزة تنظيم ضربات القلب |
| ٨٢ | ٥-٦-٦ | أقراص الكالسيوم |
| ٨٤ | ٦-٦-٦ | حركة المريض |
| | ٧-٦-٦ | الأجسام المعدنية في حقل المسح: رأب الفخذ |
| ٨٤ | | والركبة بالكامل |
| ٨٥ | ٧ - | الإبلاغ عن النتائج |
| ٨٥ | ١-٧ | المعلومات الديمغرافية المطلوبة |
| ٨٦ | ٢-٧ | البيانات المرجعية والقيم ذات الصلة |
| ٨٨ | ١-٢-٧ | استخدام البيانات المرجعية لتوليد درجات T و Z |
| ٩٠ | ٢-٢-٧ | نماذج مخاطر الكسور |
| ٩٣ | ٣-٢-٧ | استخدام درجات Z في الأطفال |
| ٩٤ | ٤-٢-٧ | النطاقات المرجعية للنسبة المئوية لكتلة الشحوم |
| ٩٥ | ٥-٢-٧ | طريقة جمع البيانات المرجعية المحلية |
| | | الملحق الأول - تقرير مراقبة الجودة عند قياس كثافة العظام باستخدام |
| ٩٩ | | تقنية ديكسا |
| ١٠١ | | الملحق الثاني - استبيان للمرضى الذين يخضعون لفحص بتقنية ديكسا |
| ١٠٦ | | الملحق الثالث - بيانات ديكسا المعيارية في الأطفال |
| ١١٨ | | المراجع |
| ١٣٢ | | المساهمون في الصياغة والاستعراض |

١- مقدمة

١-١ الخلفية

قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا) هو تقنية للتصوير بالأشعة السينية تستخدم أساساً لقياس كتلة مادة ما في وجود مادة أخرى من خلال معرفة درجة توهين الأشعة السينية التي تنفرد بها كل مادة عند مستويات الطاقة المختلفة. وتمثل تقنية ديكسا أسلوباً بالغ الدقة لقياس كثافة معادن العظام وتقييم تركيب كتلة الجسم، وهي تناسب بالتالي تطوير وتقييم تدخلات لمواجهة ما يفرضه سوء التغذية من عبء مزدوج تتمثل في 'نقص التغذية' و'فرط التغذية' في العالم.

٢-١ الهدف

يتضمن هذا المنشور معلومات عن الخلفية النظرية والتطبيق العملي لأحدث منهجيات قياس كثافة معادن العظام وتقييم تركيب الجسم باستخدام ديكسا. وهذا المنشور موجه للمختصين بالتغذية والمختصين بالتكنولوجيا الإشعاعية، والباحثين والفنيين الصحيين الذين يستخدمون تقنية ديكسا في إجراء ذلك التحليل.

٣-١ النطاق

يركز هذا الدليل على إجراء وتحليل المسح باستخدام تقنية ديكسا. ويشمل المسح مختلف مناطق الجسم ذات الاهتمام التي يمكن مسحها، مثل العمود الفقري، وعظم الفخذ القريب، والساعد، والجسم بكامله، فضلاً عن البروتوكول الإكلينيكي المستخدم في إجراء مسح ديكسا. ويتناول الدليل بالتفصيل الإجراءات التحليلية المستخدمة في تفسير صور مسح مختلف أنسجة الجسم وكذلك الاعتبارات الخاصة بالمرضى البدناء والأطفال. ويناقش الدليل أيضاً مراقبة الجودة والعيوب التي تؤثر على نتائج المسح.

٤-١ الهيكل

يلقي القسم ٢ نظرة عامة على تقنية ديكسا. ويتضمن القسم ٣ معلومات أساسية، بما في ذلك اعتبارات الأمان والاعتبارات الأخلاقية. ويتناول القسم ٤ بالوصف تقنية ديكسا المستخدمة في تقييم تركيب العظام والأنسجة الرخوة. ويتناول القسم ٥ كيفية إجراء مسح ديكسا، بينما يغطي القسم ٦ تحليل صور مسح ديكسا. وأما الموضوع الذي يتناوله القسم ٧ فهو إعداد تقرير ديكسا. وترد أخيراً ثلاثة ملاحق تتضمن المعلومات المساعدة ذات الصلة، وهي تشمل على وجه التحديد مثلاً لتقرير مراقبة جودة مقياس كثافة العظام باستخدام الأشعة السينية المزدوجة، واستبياناً للمرضى الذين يخضعون

لفحص باستخدام ديكسا، والبيانات المعيارية المتعلقة بالأطفال الذين تُجرى لهم فحوص باستخدام ديكسا.

٢- مقدمة عن قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا)

١-٢ ما هو قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة؟

قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا) هو تقنية للتصوير بالأشعة السينية، وهو يستخدم أساساً لاستخلاص كتلة مادة في وجود مادة أخرى من خلال معرفة درجة توهين الأشعة السينية التي تنفرد بها كل مادة عند مستويات مختلفة من الطاقة. وتتكون الصور نتيجة لتوهين متوسط الطاقتين المنخفضة والمرتفعة. وقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة هو طريقة خاصة للتصوير لا تتاح في العادة في نُظم الأشعة السينية المستخدمة في الأغراض العامة نظراً للحاجة إلى ترشيح خاص للشعاع وتسجيل مكاني شبه كامل لهذين المستويين من التوهين. وأُتيحت نُظم ديكسا التجارية المتخصصة لأول مرة في أواخر ثمانينات القرن الماضي [١].

وتقنية ديكسا هي امتداد لتقنية مبكرة في التصوير يطلق عليها قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة. والاختلاف الوحيد بين التقنيتين هو أن قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة يستخدم توهين انبعاثات أحادية اللون يطلقها نظير مُشع (الجادولينيوم - ١٥٣) بينما تستخدم تقنية ديكسا أطيفاً من الأشعة السينية المتعددة الألوان بمستويات مختلفة من الطاقة في كل صورة. وأهم تطبيق تجاري لتقنية ديكسا هو قياس كثافة معادن العظام لتقييم مخاطر التعرض لكسور العظام وتشخيص هشاشة العظام؛ ويستخدم المستوى الأمثل من طاقات الأشعة السينية لتقييم كثافة العظام. ويستخدم في تشخيص هشاشة العظام مسح الفقرات القطنية وعظم الورك القريب وأحياناً عظم الساعد البعيد. وتحدد جيداً مناطق الجسم المهمة المستخدمة ومعايير التشخيص. ويمكن أيضاً مسح الجسم بكامله لقياس الكتلة العظمية في الجسم كله وتركيب النسيج الرخو [٢]، [٣]. ويمكن تقييم الدهون والأنسجة الخالية من الدهون [٤] في مناطق الصورة التي لا تحتوي إلا على أنسجة رخوة ويمكن عن طريق ذلك حساب النسبة المئوية لكتلة الدهون، بينما تستخدم نسبة مئوية تقديرية للدهون في الأنسجة المحيطة بالمناطق التي تحتوي على عظام [٥]. وجرى مسح وتحديد المجموعات المرجعية حسب الجنس والأصل العرقي والعمر. ويشخص المرض في العادة عن طريق مقارنة الشخص بمجموعة الأقران أو مجموعة من الأشخاص الأصحاء الشباب. ويقدر حالياً عدد أجهزة ديكسا المستخدمة على نطاق العالم لمسح كامل الجسم بأكثر من ٥٠ ٠٠٠ جهاز.

٢-٢ قياس كثافة العظام باستخدام تقنية ديكسا

يمثل قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة أحد أدق أساليب قياس كثافة معادن العظام وكتلة الجسم الحي. وتشكل كتلة معادن العظام التي تتألف أساساً من هيدروكسي أباتيت المكون المعدني الذي يتبقى في العظام بعد إزالة اللحم عنها واستخلاص دهونها وتحولها إلى رماد. وينتج نظام ديكسا بحكم طبيعته صورة ثنائية (ذات بُعدين) تجمع بين توهين الطاقة المنخفضة وتوهين الطاقة المرتفعة. وعلى الرغم من أن الكثافة تعرف عموماً بأنها كتلة وحدة الحجم فإن نظام ديكسا لا يمكنه أن يقيس كثافة العظم إلا ككتلة في وحدة المساحة لأنه يستخدم صوراً ثنائية الأبعاد ولا يمكنه قياس عمق العظام. وفي المقابل فإن قياس كثافة العظام باستخدام التصوير المقطعي الحاسوبي الذي يعرف بالمسح المقطعي الحاسوبي الكمي، يمكن أن يقيس الحجم الحقيقي والكثافة الحجمية للعظام. ويتفاوت حجم العظام كدالة للعمر. وبالتالي فإن قيم كثافة العظم التي تقاس باستخدام ديكسا تزداد من الميلاد حتى مرحلة البلوغ، ويرجع ذلك أساساً إلى كبر حجم العظام. ويتأثر أيضاً حجم العظام بالفروق العرقية والجنس. ولا بد من توخي الحذر عند مقارنة قيم الكثافة العظمية التي تقاس بنظام ديكسا مع قيم الكثافة العظمية لدى مجموعة مماثلة من الأشخاص وإلا فسوف يساء بسهولة تفسير النتائج. وتنخفض عموماً قيم كثافة العظام لدى الآسيويين مقارنة بأمثالهم القوقازيين من نفس الجنس والعمر، ويرجع ذلك في جانب منه إلى الفروق في حجم العظام [٦].

٣-٢ النموذج الثلاثي لمكونات الجسم

يعرّف قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة مكونات الجسم بأنها ثلاث مواد لها خصائص محددة لتوهين الأشعة السينية، وهي معادن العظام، والدهون (الدهون الثلاثية، وأغشية الدهون الفوسفورية، وغيرها) والأنسجة الرخوة الخالية من الدهون. ويشيع استخدام مصطلح 'الشحوم' للإشارة إلى النسيج الدهني. على أن النسيج الدهني يحتوي على كتلة خالية من الدهون، مثل الماء وكذلك البروتين. وأفضل ما توصف به الشحوم كيميائياً هو أنها دهون موجودة في الجسم وقابلة للذوبان في المذيبات العضوية وليس في الماء، وأكبر فئة من شحوم الجسم هي الدهون الثلاثية التي توجد في الخلايا الدهنية. وكتلة النسيج الرخو غير الدهني هي مجموع الماء والبروتين والجليسيرول وكتلة معادن الأنسجة الرخوة في الجسم. وتقاس هذه المكونات الثلاثة في كل خلية من خلايا صورة الأشعة السينية المزدوجة الطاقة. ومع ذلك لا يعرف توزيع الدهون ومعادن العظام والنسيج الرخو غير الدهني في الحجم المسقط على خلية (بيكسيل) الصورة. ويجمع النموذج كل أنواع الأنسجة في هذه المكونات الثلاثة. مثال ذلك أنه لا يمكن التمييز بين النسيج الدهني الواقع تحت الجلد والنسيج الدهني الحشوي

في قياسات الجذع المسقطة على نفس خلية الصورة. وينطبق ذلك على أنسجة الجلد والأنسجة الحشوية غير الدهنية والعضلات عندما تسقط كلها على نفس خلية الصورة. وينطبق ذلك على معظم النماذج التي لا يمكنها أن تمثل الحجم الحقيقي الثلاثي الأبعاد لمكونات الجسم.

٢-٤ قياسات ديكسا

لا تتيح نظم ديكسا سوى القليل نسبياً من قيم تركيب الجسم التي نردها فيما يلي. قياسات العظم من كل طرق المسح المستخدمة في نظام ديكسا بينما لا تتاح قياسات تركيب الجسم إلا باستخدام طريقة مسح الجسم بكامله.

المحتوى المعدني في العظام (BMC). هو مكون الكتلة المعدنية للعظام ويوجد في شكل هيدروكسي أباتيت، $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. ويقاس المحتوى المعدني في العظام عموماً بالغرام، ويلاحظ أنه لا يشمل كتلة أي من المكونات العضوية في العظام (النخاع والكولاجين، وغيرهما)، وبالتالي لا يمكن تقييم دقة قياس هذا المحتوى إلا باستخدام عينات من رماد العظم.

مساحة العظم (BA). هي مساحة العظم المسقطة في مستوى الصورة وتقاس عادة بالسنتيمتر المربع. ولا يمكن الوثوق في دقة قياسات مساحة العظم، وبخاصة في مسح الجسم بكامله الذي يتعين فيه وضع افتراضات واضحة، لا سيما فيما يتعلق بالجذع العلوي.

الكثافة المساحية لمعادن العظام (aBMD). هي كتلة معادن العظم في وحدة مساحة الصورة بالغرام/سنتيمتر مربع. ونفرق هنا بين الكثافة السطحية والكثافة الحجمية الحقيقية. ولا يمكن قياس الكثافة الحجمية، وهي الكتلة المعدنية الحجمية للعظام قياساً مباشراً باستخدام تقنية ديكسا، وإن كان يمكن قياسها باستخدام التصوير المقطعي الحاسوبي الكمي. وتعرف الكثافة المساحية لمعادن العظام بأنها:

$$\text{الكثافة المساحية لمعادن العظام} = \frac{\text{المحتوى المعدني في العظام/مساحة العظم}}{\text{غرام/سم}^2} \quad (١)$$

وفيما يلي القياسات التي لا يمكن الحصول عليها إلا من مسح الجسم بكامله.

كتلة الشحوم (FM). هي المصطلح الذي يشيع استخدامه في مجال قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة للطاقة للدلالة على كتلة الدهون وهي مجموع كتلة جميع الدهون في الجسم. وتعرف الشحوم كيميائياً على وجه الدقة بأنها دهون ثلاثية. على أن كتلة الشحوم التي تقاس باستخدام نظام ديكسا تعرف في هذا الكتاب بأنها كل الكتلة الدهنية، بما فيها الدهون الفوسفورية، والدهون الموجودة في الأعضاء والنخاع وتحت الجلد. وتقاس كتلة الشحوم بالغرام أو الكيلوغرام.

كتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون (LSTM). هي مجموع كل الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون، وهي تشمل أساساً الماء والبروتين ومعادن النسيج الرخو والجليكوجين (سكر الكبد)، وتقاس بوحدات الغرام أو الكيلوغرام.

الكتلة الخالية من الشحوم (FFM). هي مجموع كل المواد غير الدهنية في الجسم:

الكتلة الخالية من الشحوم = كتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون + المحتوى المعدني في العظام (غرام) (٢)

كتلة الأنسجة الرخوة (STM): هي مجموع الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون والعظام وكتل الشحوم:

كتلة الأنسجة الرخوة = كتلة الشحوم + كتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الشحوم (٣)

مجموع كتلة الجسم (TBM). هو المقياس المكافئ لقياس الوزن ويعبر عنه في العادة بالغرام أو الكيلوغرام. وفي ضوء ما سبق فإن:

مجموع كتلة الجسم = كتلة الشحوم + الكتلة الخالية من الشحوم = كتلة الشحوم + المحتوى المعدني في العظام + كتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون (غرام) (٤)

ويمكن تقييم مدى صحة قياس مجموع كتلة الجسم باستخدام جدول القياس بعد معاييرته. وكشفت الدراسات عن اتفاق كبير بين الكتلة التي تقاس باستخدام جدول القياس ومجموع الكتلة الذي يقاس باستخدام تقنية ديكسا.

النسبة المئوية لكتلة الشحوم (PCTFM). هي كتلة الشحوم في منطقة ما مقسومة على مجموع كتلته ومضروبة في ١٠٠:

النسبة المئوية لكتلة الشحوم = كتلة الشحوم / مجموع كتلة الجسم x ١٠٠ (٥)

٥-٢ مواضع القياس في نظام ديكسا

هناك العديد من مواضع الجسم التي يشيع قياسها عند تقييم كثافة العظام باستخدام تقنية ديكسا لتشخيص هشاشة العظام، بما في ذلك الفقرات القطنية، وعظم الورك القريب، والساعد. والبروتوكول المعياري المستخدم في هذا الصدد هو مسح موضعين،

هما في العادة العمود الفقري والورك. ويستخدم الساعد إذا تعذر مسح أي من هذين الموضوعين. ويمكن الحصول على معايير استخدام ديكسا في تشخيص هشاشة العظام من بيانات المواقف الصادرة عن الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية [٧]. ويستخدم مسح الجسم بكامله أساساً لقياس الكتلة العظمية لدى الأطفال وقياس تركيب الجسم لدى البالغين. ويمكن قياس الكثافة العظمية لتقييم هشاشة العظام باستخدام تكنولوجيات أخرى. وبدائل ديكسا الأكثر شيوعاً هي التصوير المقطعي الحاسوبي الكمي والقياس الكمي باستخدام الموجات فوق الصوتية. وتقاس الكثافة العظمية الحجمية في نظم التصوير الحاسوبي المقطعي المعياري باستخدام بروتوكولات خاصة للمسح. وأما في التصوير بالموجات الكمية فوق الصوتية فتقاس مخاطر التعرض للكسور وتقدر كثافة العظام باستخدام التوهين فوق الصوتي وسرعة الصوت.

ويُقاس تركيب الجسم باستخدام مسح قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة في الجسم بكامله. ويمكن في بعض نظم ديكسا معرفة النسبة المئوية لكتلة الشحوم عن طريق مسح الورك والعمود الفقري، وإن كان من غير الواضح مدى فائدة قياس النسبة المئوية لكتلة الشحوم باستخدام تلك المناطق.

٣- معلومات أساسية، بما فيها اعتبارات الأمان والاعتبارات الأخلاقية

٣-١ الأساليب التاريخية لقياس كثافة العظام

اقترحت أساليب كثيرة أو يجري استخدامها لقياس كثافة ونوعية العظام، ومعظمها ينطوي على إجراء فحص بالأشعة السينية. ويمكن فحص العظام مادياً وقياس خواصها عن طريق استئصال عينة من عظام المريض. والطريقة التي كانت ولا تزال في بعض الظروف شائعة لتقييم نوعية العظام هي سحب عينة من العُرْف الحَرْقِيّ. وهذا الإجراء عدواني رغم أنه بسيط نسبياً. واستخدمت أيضاً صور الأشعة السينية العادية للورك والعمود الفقري في تقييم هشاشة العظام. واستخدمت قياسات مؤشر سنغ (Singh)، وهو تقييم بصري للعتامة الإشعاعية للنسيج التَرْبِيقِيّ في المَدَوْر، وقياسات عرض المَهْمَاز لتقييم هشاشة العظام باستخدام التصوير الإشعاعي العادي للورك [٨]، [٩]. ومع ذلك فقد كان يحدث تغيير بنسبة تقترب من ٣٠ في المائة في كثافة المَدَوْر قبل أن يتسنى اكتشاف التغيير، وكان لا بد أن تكون الأشعة السينية على درجة كبيرة من الدقة المكانية، وبالتالي استخدام جرعة كبيرة منها. ويمثل أيضاً المؤشر السِنْعِيّ تقنية يمكن استخدامها في صور الأشعة السينية [١٠]. ويعرّف المؤشر السِنْعِيّ بأنه نسبة سُمْك القشرة السِنْعِيّة إلى إجمالي القطر السِنْعِيّ. ويمكن قياس تغييرات سُمْك العظمة القِشْرِيّة بدقة ولكن العظمة القشرية لا تدور وتتغير بنفس سرعة تَغْيِير العظم التَرْبِيقِيّ.

وبدأ استخدام تقنيات من قبيل قياس الامتصاص بالتصوير الإشعاعي عندما تسنى تحويل الأفلام إلى بيانات رقمية [١١، ١٢]. وخلافاً للرقم القياسي السيني ومؤشر سنغ، يمثل التصوير الإشعاعي قياساً حقيقياً للامتصاص، وهو في هذه الحالة قياس للكثافة العظمية في السُّلَامِيَّات عن طريق المقارنة بين امتصاص الأشعة السينية فيها وامتصاص الأشعة السينية في سُمْك مختلف من الألومنيوم. وتحتوي السُّلَامِيَّات على مقدار كبير من العظم التَّربِيْقِي الذي يتداخل معه القليل من كتلة الأنسجة الرخوة. ويتيح قياس الأنسجة الغنية بالتَّربِيْق إجراء رصد أدق لفقدان العظام بفضل قلة أخطاء الدقة والمعايرة المطلقة. على أن الأصابع ليست من المناطق الحاملة أو المعرضة لكسور تشكل تهديداً كبيراً للحياة.

ولا تلبى الأساليب المذكورة أعلاه الرغبة في قياس مواضع الكسور التي يمكن أن يرتفع معها معدل الوفاة والتي يمكن أن تكون حساسة بدرجة كبيرة للتغيرات التي تنشأ عن المرض. ويمثل قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة والمسح المقطعي الحاسوبي الكمي أول أساليب قياس الامتصاص في الورك والعمود الفقري في سبعينات القرن الماضي. وكان قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة يتم باستخدام جهاز مسح متخصص يحتوي على نظير الجادولينيوم - ١٥٣ كمصدر إشعاعي لتصوير الورك أو العمود الفقري أو الجسم بكامله [١٣-١٥]. ولم تكن بيانات قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة صحيحة بدرجة كبيرة بسبب تدني جودة الصورة والتشوش الكبير الناجم عن تدفق فيض محدود من أشعة غاما من المصادر العملية للجادولينيوم - ١٥٣. ومن الناحية الأخرى، أتاح المسح المقطعي الحاسوبي الكمي قياس الكثافة الحجمية للعمود الفقري قياساً صحيحاً عن طريق قياس المساحة العظمية في صورة مقطعية معلومة السُمْك [١٦، ١٧]. على أن معظم نُظُم المسح المقطعي تستخدم كثيراً في الحالات التي يحتاج فيها المريض إلى علاج عاجل ورعاية حرجية، ومن المكلف استخدامها في الفحص.

وبدأ في عام ١٩٨٧ استخدام تقنية ديكسا تجارياً كبديل مباشر لتقنية قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة [١٨]. ومن أهم مزايا نظام الأشعة السينية مقارنة بنظام قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة باستخدام النويدات المشعة قصر مدة الفحص نتيجة لزيادة تدفق فوتونات أنبوب الأشعة السينية وتحسن مستوى المطابقة والدقة بفضل ازدياد درجة الوضوح [١٩]. ولم تعد معظم الأساليب الأخرى تلقى أي استحسان منذ ظهور تقنية ديكسا التي باتت تمثل الطريقة المثلى من حيث تكلفتها وفعاليتها وتوفرها [٢٠].

٢-٣ لماذا تستخدم تقنية ديكسا بدلاً من الأساليب الأخرى لتقييم تركيب الجسم؟

هناك الكثير من تقنيات قياس تركيب الجسم، فلماذا إذن يستخدم قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة؟ يستخدم المقياس المعياري لماء الجسم الكلي أسلوب تميع النظائر الثابتة في ماء الجسم للحصول على المجموع الكلي. ويمثل ذلك تقنية رخيصة نسبياً لقياس كتلة ماء البدن الكلي [٢١]. على أن المدة التي يستغرقها قياس ماء الجسم تتراوح بين ٣ و ٨ ساعات، بينما يستغرق قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة أقل من ٥ دقائق. ويربط تحليل المعاوقة الحيوية بين المقاومة الكهربائية وممانعة الماء داخل الخلية وخارجها. وبالنظر إلى أن معظم الماء خارج الخلية يوجد في الأنسجة الخالية من الشحوم والعظام، وبالنظر إلى أن الشحوم في معظمها موجودة خارج الخلية وخالية من الماء، يمكن نمذجة النسبة المئوية لشحوم الجسم عندما يعرف الطول والوزن والعمر والجنس. وتشمل الأساليب الأخرى لقياس الجسم بكامله قياس الكثافة بالوزن تحت الماء، والتنشيط النيوتروني، والقياسات البشرية، وإن كان يتعذر استخدام هذه التقنيات في قياس مناطق معينة من الجسم. ولا يمكن تقييم العظم وتوزيعات الشحوم والأنسجة الرخوة الخالية من الشحوم في مناطق معينة من الجسم إلا باستخدام أساليب التصوير، مثل ديكسا، والمسح المقطعي الحاسوبي، والتصوير بالرنين المغناطيسي. وتخفض الجرعة المستخدمة في تقنية ديكسا مقارنةً بالمسح المقطعي الحاسوبي للجسم بكامله، وتعد رخيصة التكلفة مقارنةً بتكلفة التصوير بالرنين المغناطيسي. وعلاوة على ذلك فإن قياسات النسبة المئوية لكتلة الشحوم باستخدام تقنية ديكسا تتسم بدقة كبيرة حيث تبلغ عموماً نسبة احتمالات تكرار/إعادة الاختبار ٠,٥ في المائة. وأخيراً فإن تقنية ديكسا مربوطة بسهولة بالمعايير المادية التي يمكن التحقق منها عملياً، مثل حمض الشمع (حمض الستريك) والماء، بحيث يمكن التحقق من المعايرة وتجميع البيانات في المراكز العلاجية.

٣-٣ قيود قياسات ديكسا

الحجم العظمي المسقط في خلية الصورة غير معلوم. تقيس نُظم ديكسا كثافة العظام بالغرام في وحدة المساحة حيث لا يمكنها قياس سُكّ النسيج. وبالتالي فإن نُظم ديكسا لا تميّز بين العظام السميكة ذات الكثافة المنخفضة والعظام الرقيقة ذات الكثافة المرتفعة.

تكبير الشعاع المروحي. يُكبّر التصوير بالشعاع المروحي، بحكم طبيعته، المساحة العظمية بمعامل تكبير متناسب مع ارتفاع طاولة الماسح. وبالتالي يمكن أن يتفاوت حجم العظم لمجرد اختلاف قطر الجسم. وهناك عموماً تكبير مرتبط بالكتلة

العظمية بحيث تظل الكثافة المساحية لمعادن العظام ثابتة نسبياً. ويمثل تكبير المحتوى المعدني في العظام مشكلة خاصة في الهياكل التي لا تزال في طور النمو، ويدور نقاش حول ملائمة استخدام التقنيات الإسقاطية في الأطفال والبالغين الصغار الذين لا يزالون في طور النمو [٢٢-٢٥].

مكونان فقط لا غير. يمكن لتقنية ديكسا أن تقيس مادتين فقط في آن واحد. وهذه نظرية أساسية لقياس الامتصاص بالأشعة السينية. نظراً لأن خصائص توهين أي مادة يمكن تمثيلها عن طريق الجمع بين مادتين أخريين معاً بطريقة ملائمة [٢٦]. وبالتالي لا يمكن تقييم تركيب الأنسجة الرخوة إلا في المناطق الخالية من العظام، ولا يمكن تحديد الكتلة العظمية إلا بافتراض تركيب الأنسجة الرخوة التي تعلق العظام. وبالنظر إلى أن العظام تشكل في العادة ٤٠ في المائة أو أكثر من خلايا صورة الجسم فإن ذلك يقتضي تقدير تركيب الأنسجة الرخوة من الأنسجة المحيطة. ولا يمكن في بعض الحالات إجراء تقديرات دقيقة، مثل حالة الرأس واليدين والقدمين والجذع الأعلى، بسبب عدم وجود أنسجة رخوة كافية خارج البروز العظمي، وبالتالي يتجه المصنعون إلى استخدام أساليب خاصة لتقييم الأنسجة الرخوة.

عدم التوحيد المعياري. لا يمكن عموماً مقارنة قيم كثافة معادن العظام بين المصنعين مباشرة ولا يمكن أن تحل محل بعضها البعض لعدة أسباب. السبب الأول هو أن هناك فروقاً معروفة في الصحة النسبية بين تلك النظم من حيث الكثافة المساحية لمعادن العظام، والمحتوى المعدني في العظام، ومساحة العظام. مثال ذلك أن الفروق في الكثافة المساحية لمعادن العظام بين اثنين من أكبر الشركات المصنعة، وهي شركة هولوجيك (Hologic, Inc.)، بدفورد، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية) ومؤسسة لونار جنرال إلكتريك لأنظمة الرعاية الطبية (GE Healthcare)، ماديسون، ويسكنسن، الولايات المتحدة الأمريكية) تبلغ تقريباً ٨ في المائة من حيث كثافة معادن العظام و ٢٠ في المائة من حيث المحتوى المعدني في العظام. ولا يوجد أيضاً توحيد قياسي للمناطق المهمة في الجسم. من ذلك مثلاً الاختلاف في منطقة عنق الفخذ ومناطق الساعد بين نظم هولوجيك ونظم لونار. وكانت هناك بعض المحاولات لإزالة الاختلافات النظامية في الكثافة المساحية لمعادن العظام في العمود الفقري والورك بكامله وعنق الفخذ باستخدام وحدات قياسية لكثافة معادن العظام [٢٧]. ويتناول القسم ٦-٢-٥ التوحيد المقياسي المفقود. على أنه لم تُبذل أي محاولة لتوحيد قياسات المحتوى المعدني في العظام ولم تحسب قيم الكثافة المساحية لمعادن العظام في مناطق الجسم المهمة الأخرى، بما فيها الناحية الجانبية من العمود الفقري، أو الأصابع، أو العقب، أو الجسم بكامله.

التغيرات الانحلالية. يصعب تصور التغيرات الانحلالية [٢٨-٣١] والتكلسات الأَبْهَرِيَّة [٣٢، ٣٣] وكسور الفقرات، ويمكن أن يسفر ذلك عن تحيز كبير في نتائج قياس كثافة معادن العظام. وينشأ عن تآكل القرص الفقري والتكلسات الأَبْهَرِيَّة والكسور

في العادة زيادة في قيم الكثافة المساحية لمعادن العظام. ويقلل تآكل القرص الفقري والكسور من المساحة العظمية، مما يؤدي إلى زيادة الكثافة المساحية لمعادن العظام بينما تؤدي التكلسات الأَبْهَرِيَّة إلى بروز معادن إضافية في منطقة العمود الفقري. وهذه التحيزات منهجية وتوجد في العادة بين المجموعات الأكبر سناً التي يتجاوز عمر أفرادها ٦٥ عاماً، وبالتالي تقل فائدة مسح العمود الفقري في الأشخاص البالغين الأكبر سناً على الرغم من أن الإسقاط الجانبي للعمود الفقري يزيل التكلس الأَبْهَرِيَّ من المساحة العظمية المسقطية وقد يُبرز بالتالي الكتلة العظمية بدقة أكبر في الأشخاص الأكبر سناً.

٤-٣ مسؤوليات استخدام ديكسا بموجب لوائح الحماية من الإشعاع

تقتضي معظم البلدان من الشخص الاعتباري المسؤول عن وحدة مرفق ديكسا التقدم إلى الجهة التنظيمية المعنية بالحماية من الإشعاع للحصول على إذن - إما للتسجيل أو الترخيص. وقد يكفي الإخطار الرسمي في بعض البلدان. ويتعيّن على صاحب الطلب في كل حالة أن يقدّم إلى الهيئة التنظيمية المعلومات ذات الصلة الضرورية لإثبات توفر مقومات الحماية والأمان في الممارسة. ويشمل ذلك في العادة معلومات عن الممارسين الطبيين والمختصين الفنيين المعنيين؛ ومؤهلاتهم الدراسية وتدريبهم على الحماية من الإشعاع؛ وتفاصيل عن أجهزة ديكسا والغرفة التي ستوضع بها؛ وبرنامج المرفق لحماية العاملين والمرضى والجمهور من الإشعاع.

١-٤-٣ اعتبارات الأمان

ترد المتطلبات العامة للوقاية والأمان في "معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤيَّنة ولأمان المصادر الإشعاعية" [٣٤] ، وتتضمن منشورات الوكالة إرشادات أدق للوقاية من التعرض للإشعاعات الطبية المؤيَّنة [٣٥]، واستخدام معايير الأمان الإشعاعي في التصوير الإشعاعي التشخيصي والإجراءات التدخلية التي تستخدم فيها الأشعة السينية [٣٦]. وبمجرد استيفاء تلك المتطلبات تصدر الهيئة التنظيمية إذنها مصحوباً في العادة بشروط أو قيود يتعيّن الامتثال لها.

٥-٣ الجرعة

تولّد نُظْم ديكسا إشعاعاً مؤيَّناً، وبالتالي فإن الأشخاص الذين يتم مسحهم والعاملين الذين يقومون بتشغيل المعدات يتعرضون لجرعة إشعاعية (صغيرة) نتيجة لأي إجراء. وتحدد الجرعة التي يمتصها النسيج بمقدار الطاقة الممتصة في كل كيلوغرام من الأنسجة. ووحدة القياس هي الغراي، حيث كل ١ غراي يكافئ ١ جول/كيلوغرام. وكمية الجرعة المفيدة الأخرى هي 'الجرعة الفعالة' التي تقاس بالسيفرت. وتمثل الجرعة الفعالة ليس فقط مقدار الطاقة الممتصة، بل وكذلك نوع الإشعاع وقابلية النسيج للتعرض

لضرر إشعاعي. والجرعة الفعالة هي مجموع الجرعات الممتصة في الأعضاء الحساسة إشعاعياً مضروباً في معاملاتها الترجيحية، w_R و w_T . وتعرّف معاملات ترجيح الأنسجة ومعاملات ترجيح الإشعاع في المرجع [٣٧]. وبعبارة أخرى فإن الجرعة الفعالة، E ، هي مجموع الجرعات المكافئة المرجحة في كل الأنسجة والأعضاء المحددة في الجسم، ويعبر عنها بالصيغة التالية:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

حيث $D_{T,R}$ هي الجرعة الممتصة، و w_R هو معامل ترجيح الإشعاع الذي يساوي ١ في حالة الأشعة السينية التشخيصية، و w_T هو معامل الترجيح لمختلف الأنسجة (الجدول ١). وتستخدم الجرعة الفعالة لتقييم التعرض المهني وتعرض أفراد الجمهور للإشعاع. وتساعد الجرعة الفعالة أيضاً على توصيف الجرعة التي يتلقاها المريض في العادة نتيجة لإجراء معين تُستخدم فيه الأشعة السينية.

٣-٥-١ الجرعات النمطية التي يتلقاها المريض في أثناء قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة

تتوقف الجرعات الفعالة التي يتلقاها المريض في أثناء قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة على نوع الوحدة (الشعاع القلبي، أو الشعاع المروحي، أو الشعاع المخروطي) وبروتوكول أو طريقة المسح (مساحة المسح وتيار الأنبوب وسرعة المسح) ومنطقة الجسم المستخدمة في المسح.

وتتخفض بدرجة كبيرة الجرعة الإشعاعية في مسح الساعد باستخدام تقنية ديكسا حيث تقل في العادة عن ١ ميكروسيغرت بغض النظر عن نوع الماسح وبروتوكول أو طريقة المسح. ويبلغ مقدار الجرعة الفعالة في وحدة الشعاع القلبي عند مسح الفقرات القطنية أو الورك أو الجسم بكامله ١ ميكروسيغرت، وتبلغ ١٠ ميكروسيغرت تقريباً في وحدة الشعاع المروحي [٣٨-٤٣]. وكانت بعض وحدات ديكسا الأولى التي تعمل بالشعاع المروحي تولّد في البداية جرعات فعالة مرتفعة تصل إلى ٨٠ ميكروسيغرت [٤٣، ٤٠]. ولا يوجد الكثير من البيانات عن الجرعات المتولدة عن وحدات الشعاع المخروطي، وإن كانت تبدو مماثلة للجرعات المتولدة عن وحدات الشعاع المروحي.

ويمكن استخدام طرق مختلفة للمسح في الكثير من وحدات ديكسا وذلك في العادة بتغيير تيار الأنبوب و/أو سرعة المسح. وقد تتفاوت الجرعة التي يتلقاها المريض بما يتراوح بين ١,٥ و ٣ أضعاف [٣٨] أو أكثر بين أعلى وأقل جرعة مستخدمة في نفس الفحص. وكما سيلاحظ لاحقاً (القسم ٦-٣)، قد يلزم في حالة المرضى البدناء اتباع الطرق التي تستخدم فيها أعلى جرعة.

الجدول ١ - معاملات ترجيح الأنسجة استناداً إلى المرجع [٣٧]

| w_T | Σw_T | النسيج |
|-------|--------------|---|
| ٠,٧٢ | ٠,١٢ | نخاع العظام (الأحمر)، والقلولون، والرئـة، والمعدة، والثدي، وسائر الأنسجة |
| ٠,٠٨ | ٠,٠٨ | الغدد التناسلية |
| ٠,١٦ | ٠,٠٤ | المثانة، والمريء، والكبد، والغدة الدرقية |
| ٠,٠٤ | ٠,٠١ | سطح العظام، والمخ، والغدد اللعابية، والجلد |
| ١,٠٠ | | المجموع |

سائر الأنسجة: الغدة الزعترية، والمنطقة الواقعة خارج الصدر، والمرارة، والقلب، والكليتان،
والغدة الليمفاوية، والعضلات، والأغشية المخاطية للفم، والبنكرياس، والبروستات، والأمعاء الدقيقة،
والطحال، والغدة السعترية (الثوتة)، والرحم/عق الرحم.

وأما الجرعات الفعالة في الأطفال باستخدام البروتوكول المناسب لهم فهي تشبه الجرعات المستخدمة مع الكبار البالغين [٣٨، ٣٩، ٤١]. على أن استخدام بروتوكولات الأشخاص البالغين مع الأطفال يمكن أن يفضي إلى جرعات تقترب من ٢٠ ميكروسيغرت [٣٨].

ولكي نوضح الجرعات التي يتلقاها المرضى الذين يفحصون بتقنية ديكسا في منظورها الصحيح فإنه من المفيد النظر في التعرض من المصادر الأخرى. فالبشر يتعرضون باستمرار لإشعاع مؤين من مصادر طبيعية تشمل الأشعة الكونية والمواد المشعة الموجودة بصورة طبيعية في الأغذية والتربة والمياه والهواء التي تشكل معاً ما يُعرف بأشعة الخلفية الطبيعية. ويبلغ متوسط جرعة أشعة الخلفية الطبيعية السنوية التي يتعرض لها البشر على نطاق العالم نحو ٢٤٠٠ ميكروسيفرت، ولكنه يمكن أن يتراوح بين ١٠٠٠ و ١٠٠٠٠ ميكروسيفرت، بل وقد تتلقى بعض المجموعات السكانية ٢٠٠٠٠ ميكروسيفرت سنوياً [٤٤]. وبالمقارنة مع ذلك فإن الجرعات الفعّالة التي يتلقاها المريض في أثناء فحصه بتقنية ديكسا صغيرة ومماثلة لمتوسط الجرعة التي يتلقاها نتيجة لتعرضه لأشعة الخلفية الطبيعية لمدة يوم واحد أو يومين. ويبين الشكل ١ الجرعات الفعّالة في الكبار البالغين، ويعبّر عنها بالميكروسيفرت، في مختلف إجراءات و ظروف التصوير الإشعاعي، بما فيها إجراءات المسح باستخدام تقنية ديكسا.

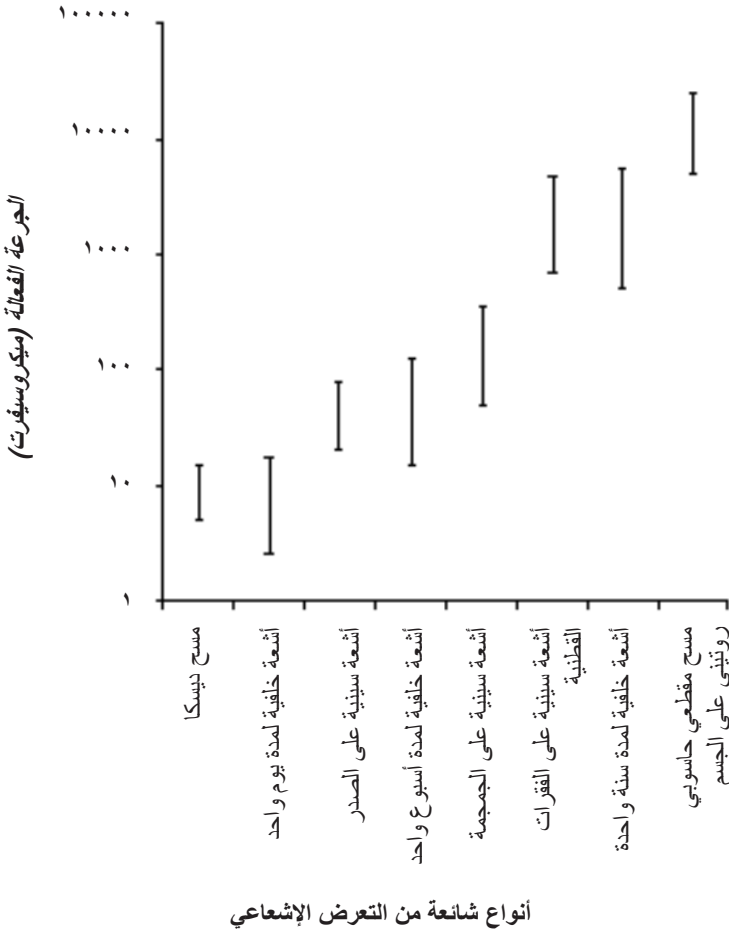
٦-٣ الاعتبارات الأخلاقية

١-٦-٣ وقاية المريض من الإشعاع

تقتضي معايير الأمان الأساسية [٣٤] تبرير كل أنواع التعرض الطبي تبريراً مناسباً. ويجب أن تتجاوز الفائدة التشخيصية التي يحققها قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة ما قد ينجم عنه من ضرر إشعاعي. وتوصي اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاعات [٤٥] باستخدام كل من المبررات العامة والمبررات الفردية. وفيما يتعلق

بالمبررات العامة، تقرر الهيئات المهنية الوطنية بالاشتراك مع السلطات الصحية الوطنية والهيئة التنظيمية للوقاية من الإشعاعات إجراءات ديكسا التي من شأنها أن تحسّن عموماً العلاج أو التشخيص أو التي توفر معلومات ضرورية عن الأشخاص المعرضين. وتتنظر المبررات الفردية فيما إذا كان استخدام إجراء ديكسا المعيّن مع شخص معيّن مبرراً أم غير مبرر.

وقد تستخدم أيضاً إجراءات ديكسا في مشاريع البحوث الطبية الحيوية التي يشكل فيها قياس كثافة العظام أو تركيب الجسم جزءاً من تقييم فعالية علاج قيد البحث. ويُتوقع في هذه الحالة أن يعود استخدام الإشعاع على المجتمع بفوائد، منها على سبيل المثال تحسين خيارات الرعاية الصحية. وأيضاً يجب أن يكون استخدام إجراءات ديكسا على هذا النحو مبرراً من لجنة تُعنى بالأخلاقيات.



الشكل ١: الجرعات الفعالة للكبار البالغين في مختلف الإجراءات وأنواع التعرض

وفي حالة تبرير إجراء معيّن من إجراءات ديكسا فإن معايير الأمان الأساسية [٣٤] تقتضي تحقيق المستوى الأمثل من الأداء. ويعني ذلك ضمان تعرض المريض لأقل جرعة يتطلبها تحديد كثافة العظام أو تركيب الجسم بالمستوى المناسب من التيقن. وتحقيقاً لهذه الغاية يتم اختيار بارامترات من قبيل تيار الأنبوب وسرعة المسح ومساحة المسح ومنطقة الجسم (بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من خلال اختيار بروتوكول المسح و/أو طريقة المسح) بما يناسب الشخص المعيّن المراد فحصه باستخدام هذا الإجراء. وبالإضافة إلى اختبارات مراقبة جودة أداء قياسات الماسح المبيّنة في مواضع أخرى (القسم ٦-٥)، ينبغي إجراء اختبارات دورية لمراقبة جودة أداء الأشعة السينية [٣٤] بما في ذلك اتساق الخرج الإشعاعي، والجرعة التي يتلقاها المريض، وحقل الأشعة السينية، وتشتت الشعاع، وآلية التعرض [٤٦].

٢-٦-٣ وقاية الأطفال من الإشعاع

ينطبق على استخدام ديسكا مع الأطفال نفس مبادئ الوقاية من الإشعاع المتعلقة بالتبرير والتحسين الأمثل. وينبغي النظر بعناية عند الاقتضاء في الأساليب البديلة غير المؤيّنّة (مثل الموجات فوق الصوتية الكمية) التي يمكن استخدامها لتحديد كثافة عظام الأطفال. وبالنظر إلى زيادة الحساسية الإشعاعية عند الأطفال، يتعيّن بذل جهود خاصة لتحقيق الاستخدام الأمثل لإجراءات ديسكا. وينتج الكثير من وحدات ديكسا بروتوكولات للأطفال غالباً ما يقل فيها تيار الأنبوب وقوة المسح، وينبغي استخدام تلك الخصائص عند إجراء مسح للأطفال باستخدام ديكسا. وينبغي الاسترشاد برأي خبير مؤهل في الوسيلة الملائمة لتحقيق المستوى الأمثل لفحوص الأطفال في كل وحدة من وحدات ديكسا في المرفق. ويمكن تخفيض الجرعة تخفيضاً كبيراً بمجرد تعديل المدة الأصلية المحددة لمسح الكبار بما يناسب الطفل المريض [٣٨]. ويتناول القسم ٣-٥-١ أعلاه الجرعات النمطية التي يتعرض لها الأطفال في أثناء فحصهم باستخدام إجراءات ديسكا.

ومن المهم أن يحرص مشغل وحدة ديكسا على بذل ما يلزم من وقت وعناية لكسب الطفل من أجل زيادة تعاونه والمساعدة على الحد قدر المستطاع من الحركة التي قد تنشأ عنها عيوب في صور المسح. وتفضي تلك العيوب إلى إعادة القياس وبالتالي زيادة الجرعة. وقد يُطلب من الوالدين تهدئة الطفل للمساعدة على زيادة تعاونه في أثناء إجراء مسح ديكسا. ويجب في هذه الحالة أن يتلقى الوالدان معلومات عن الوقاية من الإشعاع وينبغي تزويدهما بمآزر واقية.

ويتضمن القسم ٦-٤ معلومات أكثر تحديداً عن مسح الأطفال.

٣-٦-٣ وقاية النساء الحوامل من الإشعاع

ينبغي عند تبرير إجراء قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة في حالة النساء الحوامل النظر أيضاً في مدى الحاجة الملحة إلى هذا الإجراء. ويستصوب إرجاء المسح إن أمكن. على أنه إذا دعت الحاجة إليه فينبغي في هذه الحالة إجراؤه وبنبغي أن يشمل تحقيق المستوى الأمثل من الوقاية من الإشعاع وسائل للحد من تعرض الجنين.

ومن الممارسات المعتادة وضع لافتات على غرف الانتظار والمقصورات والأماكن المناسبة الأخرى في مرافق التشخيص بالأشعة السينية تطلب من المريضة إخطار الطبيب أو فني الأشعة أو الموظفين الآخرين بأنها حامل أو قد تكون حاملاً. ولا يجوز استثناء مرافق ديكسا من استخدام تلك اللافتات. وقد توزع بعض مرافق ديكسا استبياناً تُسأل فيه المريضة عما إذا كانت هناك أي احتمالات لأن تكون حاملاً (انظر الملحق الثاني). ولا تستخدم في العادة إجراءات التحقق من حالة الحمل لدى الأنثى التي تبلغ سن الإنجاب إلا في إجراءات الأشعة السينية التي قد تتسبب في تعريض الجنين لجرعة إشعاعية كبيرة ولا وجه بالتالي لاستخدامها في فحوص ديكسا.

ويحدث أحياناً عن طريق الخطأ إجراء مسح لمريضة حامل حتى بالرغم من اتخاذ تلك الاحتياطات. من ذلك مثلاً أن مريضة أجرت اختبار الحمل في نفس اليوم المحدد لإعادة إجراء فحص ديكسا في إطار إحدى الدراسات. وجاءت نتيجة اختبار الحمل سلبية وأجري للمريضة في ذلك اليوم مسح على الجسم بكامله باستخدام ديكسا. واكتشفت المريضة بعد أسبوعين أنها حامل وأبلغت الطبيب المسؤول عن الدراسة أن يستفسر عما إن كان يثير أي قلق.

وتتخفف بدرجة كبيرة الجرعات التي يتلقاها الجنين من إجراءات ديكسا لدى النساء الحوامل، حتى باستخدام البروتوكولات التي يتعرض فيها الجنين للإشعاع الرئيسي. وبلغت الجرعات التي جرى الإبلاغ عنها بضعاً من الميكروسيفرت أو أقل [٤٧، ٤٨]. والآثار المحتملة للإشعاع عند هذه المستويات من الجرعات مستبعدة لدرجة يتعذر معها حساب احتمالات حدوثها.

وقد يشترط في مشاريع البحوث الطبية الحيوية المعتمدة استبعاد النساء الحوامل، ويجري ذلك الفحص للمشاركين في العادة قبل الحاجة إلى إخضاعهم لإجراءات ديكسا التي قد تشكل جزءاً من المشروع. ولا بد من الإشارة إلى أنه ينبغي للباحثين أن يكونوا على وعي باللوائح المحلية المتعلقة بإجراء اختبارات الحمل لأن الفتاة المراهقة التي يقل عمرها عن ١٦ عاماً تُمنح تلقائياً في بعض الولايات القضائية حق التحرر قانوناً من سلطة الوالدين بعد الحمل.

٣-٦-٤ وقاية العاملين من الإشعاع

قد يتلقى المشغلون الذين يقومون بإجراء قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة أيضاً جرعة إشعاعية بسبب تشتت الإشعاع من المريض. وتقل هذه الجرعة المشتتة كثيراً عن جرعة الشعاع الرئيسي. وفي حين أن متوسط الحد المقرر للجرعة المهنية في معايير الأمان الأساسية هي ٢٠ ٠٠٠ ميكروسيبرت سنوياً على مدى خمس سنوات متتالية بحد أقصى ٥٠ ٠٠٠ ميكروسيبرت في أي سنة بعينها [٣٤] فإن تطبيق مبدأ التحسين الأمثل للوقاية يعني أنه يجب تخفيض الجرعات المهنية إلى أدنى مستوى معقول.

وتحدد أساساً الجرعات المهنية في حالة استخدام نظم ديكسا تبعاً لعبء العمل في الوحدة (عدد المرضى يومياً) والمسافة بين فني الأشعة أو العاملين الآخرين عن المريض في أثناء المسح، ونوع الماسح، والبروتوكولات/الطريقة المستخدمة. وتبلغ معدلات الجرعة الأنية للتشتت أدنى مستوياتها في وحدات الشعاع القلبي وترتفع في وحدات الشعاع المروحي وتبلغ أعلى مستوياتها في وحدات الشعاع المخروطي حيث أشارت التقارير إلى أن معدلات الجرعة الأنية تبلغ ٢٠٠ ميكروسيبرت في الساعة على مسافة ١ متر من المريض [٤٩]. وتيسر أيضاً وحدات ديكسا التي يُستخدم فيها الشعاع المروحي والشعاع المخروطي زيادة أعداد المرضى الذين يترددون على الوحدة وبالتالي احتمالات رفع مستويات التشتت المتكاملة. وتتراوح الجرعة السنوية التي يتلقاها الشخص الذي يوجد دوماً على مسافة ١ متر من المريض عندما يكون عبء العمل ٢٠ مريضاً يومياً ما بين ١٠٠ و ١٥٠٠ ميكروسيبرت تبعاً لطرز الماسح [٤٦، ٥٠، ٥١].

وينبغي من الناحية العملية وضع مكتب الشخص الذي يقوم بتشغيل الماسح على مسافة لا تقل عن ١ متر من نظام الشعاع القلبي وعلى مسافة لا تقل عن مترين من نظام الشعاع المروحي [٥٠]. وتتطلب بعض نماذج الشعاع المروحي القديمة الأقل شيوعاً مسافة تبلغ ٣,٥ متر [٤٣]. وفي حالة استخدام تشكيلة من الأشعة المروحية والمخروطية أو إذا تعذر الحفاظ على المسافات المذكورة أعلاه، يمكن النظر في استخدام ستائر أو دروع واقية. وينبغي أن يقدم خبير يتمتع بالمؤهلات المناسبة توصيات محددة بشأن الوقاية من الإشعاع المهني استناداً إلى تقييم داخل الموقع وقت التركيب والإدخال في الخدمة. والأرجح عند الالتزام بهذه الاحتياطات ألا تخرج الجرعة التي يتلقاها مشغل الماسح عن الحدود الدنيا للتعرض المهني المقبول.

وتتوقف متطلبات الرصد الشخصية على اللوائح الوطنية. وتشترط بعض البلدان بأن يحمل جميع الأشخاص المعرضين مهنيّاً الذين يعملون في العادة داخل مناطق خاضعة للمراقبة جهازاً لرصد الجرعات (فيلم قياس الجرعات أو مقياس الجرعات بالوميض الحراري أو غيرهما) حتى يمكن رصد تعرضهم الشخصي. وفي الحالات التي لا تتطلب رسداً شخصياً قد يكون من الأنسب رصد مكان العمل بوضع أجهزة مناسبة

لقياس الجرعات في مجموعة مختارة من النقاط المهمة داخل مرفق ديكسا، مثل الموقع الذي يعمل فيه مُشغِّل جهاز ديكسا.

وينبغي لمشغلات وحدات ديكسا إخطار صاحب العمل عندما يحملن. وتقتضي معايير الأمان الأساسية [٣٤] من صاحب العمل تكييف ظروف العمل من حيث التعرض المهني لضمان حصول الجنين على نفس المستوى الواسع من الحماية المطلوبة لأفراد الجمهور. وفي حالة العمل في مرفق لقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة لا يلزم في العادة إجراء أي تغيير شريطة أن تكون ممارسات الوقاية السليمة من الإشعاع متبعة بالفعل. وينبغي التماس مشورة محددة من خبير مؤهل.

٥-٦-٣ وقاية الجمهور من الإشعاع

يتوقف أي إشعاع يتعرض له شخص في غرفة مجاورة على عبء العمل (عدد المرضى) ونوع جهاز ديكسا، والمسافة من محور الطاولة إلى الحوائط، وتركيب الحوائط. وتبلغ مستويات الإشعاع في الغرف المجاورة في العادة معدلات مقبولة بالنسبة لأفراد الجمهور في مرافق ديكسا إذا كان تصميمها سليماً وحجم غرفها ملائماً. ولا يلزم في العادة أي تدريع إضافي في الحوائط. على أنه يتعين توخي الحيلة في وحدات ديكسا التي تعمل بالإشعاع المخروطي وبعض الوحدات التي تستخدم الشعاع المروحي [٤٦]. وقد يلزم في بعض الحالات إجراء تدريع إشعاعي إضافي إذا كانت المسافة من محور الطاولة إلى الحائط المجاور أقل من ١ متر. وإذا كانت حوائط غرفة الماسح قوية الإنشاء (أي إذا كانت مصنوعة من الخرسانة الصلبة أو الطوب الصلب وليس من كتل مجوّفة أو جدران فاصلة) أو إذا كانت طاولة المكتب في الغرفة المجاورة تبعد أكثر من مترين عن نظام ديكسا فإن الجرعة لن تخرج على الأرجح عن حدود المستويات المقبولة. وينبغي حساب الجرعة التي يتلقاها الجمهور استناداً إلى القياسات بمعرفة خبير مؤهل وقت التركيب والإدخال في الخدمة.

٤- استخدام تقنية ديكسا في تحديد كثافة العظام وتركيب الأنسجة الرخوة

١-٤-١ فيزياء قياس الامتصاص

تتفاعل الأشعة السينية في نطاق الطاقة المستخدم لقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة مع النسيج من خلال ثلاث عمليات، هي الامتصاص الكهروضوئي، وتشتت كومبتون (غير المرن)، والتشتت المترابط (المرن) [٥٢، ٥٣]. ويحدث التشتت المترابط عندما تمر الأشعة السينية بالقرب من ذرة وتتسبب في اهتزاز

(رنين) الإلكترونات 'المرتبطة بالذرة' بتردد يساوي تردد فوتون الأشعة السينية. ويعيد الإلكترون إطلاق هذه الطاقة في كل الاتجاهات بنفس تردد الفوتونات الساقطة دون أي امتصاص. وعلى الرغم من حدوث قدر معين من التشتت المرن في كل طاقات الأشعة السينية فإن ذلك لا يمثل على الإطلاق أكثر من ١٠ في المائة من مجموع عمليات التصادم في التصوير الإشعاعي التشخيصي. ويحدث تشتت كومبتون عندما يفقد الفوتون الساقط بعض طاقته في الإلكترون ثم يستمر في اتجاه جديد (أي أنه يتشتت) ولكن بطول موجي أكبر وبالتالي بطاقة أقل. وينشأ عن ظاهرة تشتت كومبتون مشكلتان رئيسيتان في التصوير بالأشعة السينية. المشكلة الأولى هي أن هذا التشتت يقلل التباين في الصورة ما لم تتم إزالته عن طريق ضبط الحزمة الشعاعية قبل المكشاف. والمشكلة الثانية هي أنه يشكل خطراً إشعاعياً على العاملين الذين يستخدمون المعدات. ويحدث التوهين من خلال الأثر الكهروضوئي عندما يتفاعل فوتون مع الذرة بطرد إلكترون من مداره أو غلافه حول النواة. ويمتص في هذه العملية الفوتون الداخل بالكامل؛ ومع ذلك ينبعث في العادة فوتون فلوري منخفض الطاقة. وعندما تزيد طاقة الفوتون الداخل قليلاً عن الطاقة المطلوبة لإزالة إلكترون من غلاف معين حول نواة تحدث زيادة حادة في احتمالات حدوث تفاعل كهروضوئي. وتعرف هذه الظاهرة بحافة الامتصاص. وترجع هذه الزيادة الحادة إلى سببين. السبب الأول هو زيادة عدد الإلكترونات المتاحة للتفاعل والخروج من الذرة. والسبب الثاني هو حدوث ظاهرة الرنين عندما تتجاوز طاقة الفوتون قليلاً الطاقة الرابطة في غلاف معين.

وتسهم عملية الامتصاص المبيّنة أعلاه في التوهين الكلي لسيل الأشعة السينية النافذ خلال جسم ما كما في المعادلة التالية:

$$(٦) \quad I = I_0 e^{-\mu t}$$

حيث I_0 هي شدة الأشعة السينية غير الموهّنة قبل مرورها من مادة ذات سُمك، t (سم) ومعامل توهين خطي إجمالي، μ (سم^{-١}). وهناك عدة اعتبارات مهمة تتعلق بالتوهين الخطي للأشعة السينية:

- μ تتناقص كلما ازدادت الطاقة في نطاق الطاقة التشخيصية، أي أن الإشعاع يصبح أكثر اختراقاً؛
- μ تزداد بازدياد كثافة النسيج، أي أن الإشعاع يكون أقل اختراقاً بسبب وجود ذرات أكثر في كل وحدة حجمية في المادة التي يتصادم فيها؛
- μ تزداد بازدياد العدد الذري وتبلغ الزيادة أشدها في الطاقات الشديدة الانخفاض؛
- حواف الامتصاص تتسبب في حدوث زيادة حادة في μ في الطاقات التي تزيد قليلاً على طاقة الحافة.

ومن الطرق السهلة الأخرى للتعبير عن التوهين اعتباره مُعاملًا لتوهين 'الكتلة' من خلال تمثيل السُمك ككتلة في وحدة المساحة عن طريق ضرب السُمك في الكثافة. ويمكن حينئذ كتابة المعادلة (٧) على النحو التالي:

$$I = I_0 e^{-\mu t} = I_0 e^{-\mu t \left(\frac{\rho}{\rho}\right)} = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right) t \rho} = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \sigma} \quad (٧)$$

حيث (μ/ρ) = معامل توهين الكتلة بوحدات من السنتيمتر المربع/الغرام، و σ = كثافة الكتلة المساحية = ρt . ويصح استخدام المعادلة (٨) لحساب توهين أي وسيط (صلب أو سائل أو غازي). ويحدد التوهين الكلي من كل تفاعلات التوهين الثلاثة بمجرد حساب حاصل جمع معاملات التوهين الكتلي الناتج عن كل تأثير:

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Total}} = \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Photoelectric}} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Compton}} + \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Coherent}} \quad (٨)$$

وتشمل معظم جداول التوهين في كتيبات الفيزياء قائمة تتضمن أثر كل توهين بشكل منفصل إلى جانب الأثر الكلي. ويتضمن الجدول ٢ معاملات التوهين الكتلي الكلي في المواد الشائعة ذات الصلة بدراسات ديكسا. ويمكن الحصول على معاملات التوهين الأخرى من مراجع مثل دليل الكيمياء والفيزياء لمركز البحوث الكيميائية [٥٤] ومواقع على شبكة الإنترنت، من قبيل قاعدة بيانات مواد المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا (انظر <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html>).

وعندما لا تكون المادة متجانسة يرجح مجموع الكسور الكتلية باستخدام معاملات توهينها الكتلي لتكوين معامل توهين كتلي مركب. ومن أمثلة التوهين المركب توهين الأشعة السينية في مختلف الأنسجة، مثل العظام والنخاع والشحوم والعضلات وما إلى ذلك. وإذا نفذ الشعاع من مواد مختلفة N ، تكتب المعادلة (٨) بصيغتها الواردة في المرجع [٥٣]:

$$I = I_0 e^{-\sum_{i=1}^N \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \sigma_i} \quad (٩)$$

الجدول ٢: معاملات التوهين الكتلي في الأنسجة التي تعترض الأشعة في أثناء تقييم تركيب الجسم (تُعطى الكثافات عند درجة حرارة ٢٥ مئوية و١ ضغط جوي للهواء والماء) [٥٤]

| معاملات التوهين الكتلي الكلي | | | | | |
|--|---|--------|---------------|----------------------|-----------------|
| المادة | الهواء | الماء | أنسجة العضلات | أنسجة العظام القشرية | الأنسجة الدهنية |
| الكثافة الكتلية ρ (غرام/سم ^٣) | ٠,٠٠١٢ | ١,٠ | ١,٠٤٠ | ١,٦٥٠ | ٠,٩١٦ |
| طاقة الفوتون (كيلو إلكترون فلت) | معامل التوهين الكتلي، (m/r) (سم ^٢ /غرام) | | | | |
| ١٠ | ٤,٩١ | ٥,٠٦٦ | ٥,١٥٤ | ١٩,٧٩ | ٣,٠٨١ |
| ١٥ | ١,٥٢٢ | ١,٥٦٨ | ١,٦٠٤ | ٦,١٩٣ | ١,٠٠٩ |
| ٢٠ | ٠,٧٣٣٤ | ٠,٧٦١٣ | ٠,٧٧٧٧ | ٢,٧٥٣ | ٠,٥٣٣٢ |
| ٣٠ | ٠,٣٣٩٨ | ٠,٣٦١٢ | ٠,٣٦٥١ | ٠,٩٥٣٤ | ٠,٢٩٥٩ |
| ٤٠ | ٠,٢٤٢٩ | ٠,٢٦٢٩ | ٠,٢٦٣٥ | ٠,٥٠٨٩ | ٠,٢٣٥٣ |
| ٥٠ | ٠,٢٠٥٣ | ٠,٢٢٤٥ | ٠,٢٢٤ | ٠,٣٤٧١ | ٠,٢١٠٢ |
| ٦٠ | ٠,١٨٦١ | ٠,٢٠٤٦ | ٠,٢٠٣٦ | ٠,٢٧٢٧ | ٠,١٩٦١ |
| ٨٠ | ٠,١٦٥٨ | ٠,١٨٣٣ | ٠,١٨١٩ | ٠,٢٠٨٢ | ٠,١٧٩٤ |
| ١٠٠ | ٠,١٥٤ | ٠,١٧٠٦ | ٠,١٦٩٢ | ٠,١٨٠٣ | ٠,١٦٨٤ |
| ١٥٠ | ٠,١٣٥٦ | ٠,١٥٠٥ | ٠,١٤٩٢ | ٠,١٤٩٣ | ٠,١٤٩٧ |
| ٢٠٠ | ٠,١٢٣٤ | ٠,١٣٧ | ٠,١٣٥٨ | ٠,١٣٣٤ | ٠,١٣٦٦ |

٢-٤ المعايير البيولوجية لمكونات الجسم

فيما يلي المعايير البيولوجية للجسم الأكثر اتصالاً بمقاييس تقييم تركيب الجسم باستخدام ديكسا. ويتكون الجسم في النموذج الجزيئي من خمسة مكونات: الماء والبروتين والمعادن والغليكوچين والدهون [٥٥].

ويلخص الجدول ٣ الكثافة والقياسات الكيميائية الأكثر استخداماً في تمثيل كل مكون من هذه المكونات. وتعرض هذه الكثافات والقياسات الكيميائية بطريقة تساعد على فهم نماذج تركيب الجسم والسماح باستنباط هيكل وهمي (فانتوم) يحاكي القياس الكيميائي للجسم البشري على أفضل وجه باستخدام المعادلة (٩).

الجدول ٣: تركيب جسم إنسان مرجعي [٦١]
(بتصرف عن وانغ [٥٥] مع الاستثناءات المشار إليها)

| المكون | الجزء في الإنسان المرجعي ^أ | القياس الكيميائي | الوزن الجزيئي | الكثافة (غرام/سم ^٣) |
|----------------------------|---------------------------------------|--|---------------|---------------------------------|
| الماء | | H ₂ O | | ١,٠٠٠ |
| •• خارج الخلية | ٢٦% | | | |
| •• داخل الخلية | ٣٤% | | | |
| البروتين | ١٥% | C ₁₀₀ H ₁₅₉ N ₂₆ O ₃₂ S _{0.7} | ٢٢٥٧,٤ | ١,٣٤ |
| المعادن | ٥,٣% | ([Ca ₃ (PO ₄) ₂] ₃ Ca(OH) ₂) | | ٢,٩٨٥ [٥٧] |
| الدهون | | | | |
| •• الدهون | ٢,١% | لا يوجد | لا يوجد | لا يوجد |
| الفسفورية | | | | |
| •• الدهون الثلاثية | ١٧% | C ₅₁ H ₉₈ O ₆ | ٨٠٦ | ٠,٩٠٠ |
| الأنسجة المتبقية | | | | |
| •• الغليكوچين ^أ | ٠,٦% | لا يوجد C ₆ H ₁₀ O ₅ | | ١,٤٠٤ [٦٢] ١,٥٢ |

أ يعرف الإنسان المرجعي بأنه الشخص الذي "يتراوح عمره بين ٢٠ و ٣٠ عاماً، ويبلغ وزنه ٧٠ كيلوغراماً، وطوله ١٧٠ سنتيمتراً، ويعيش في مناخ يتراوح متوسط درجة حرارته بين ١٠ درجات مئوية و ٢٠ درجة مئوية، وهو قوقازي، وينتمي إلى أوروبا الغربية أو أمريكا الشمالية من حيث بيئته وعاداته" [٦٣].

الماء. يشكل الماء، H₂O، أكثر من ٦٠ في المائة من تركيب الجسم البشري. وتبلغ كثافة الماء ١,٠٠٠ غرام/سم^٣ عند درجة حرارة ٣٧ درجة مئوية.

البروتين. يعرف البروتين في هذا المنشور بأنه تقريباً كل المركبات التي تحتوي على النيتروجين ويتراوح من حيث تعقده بين الأحماض الأمينية البسيطة والبروتينات النووية. وأكثر البروتينات الممتلئة كيميائياً في نماذج قياس كثافة مكونات الجسم هي C₁₀₀H₁₅₉N₂₆O₃₂S_{0.7}، ويبلغ وزن جسمها الجزيئي ٢٢٥٧,٤ وكثافتها ١,٣٤ غرام/سم^٣ عند درجة حرارة ٣٧ درجة مئوية [٥٦].

المعادن. يستخدم مصطلح المعادن لوصف الجزيئات غير العضوية الموجودة في الجسم والتي تحتوي على عناصر معدنية مثل الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم [٥٥]. وتوجد المعادن في الجسم داخل العظام أو خارجها، حيث المكون العظمي هو الأكبر على الإطلاق. ويتألف المكون العظمي أساساً من هيدروكسي أباتيت الكالسيوم [Ca₃(PO₄)₂]₃ Ca(OH)₂، ويحتوي على أكثر من ٩٩ في المائة من كالسيوم الجسم

٨٦ في المائة من فوسفور الجسم. وتقدر كثافة هيدروكسي أباتيت بما مقداره ٢,٩٨٢ غرام/سم^٣ في حالته الصلبة [٥٧]، وهذه هي القيمة المستخدمة في بعض النماذج الرباعية [٥٨]. ويوجد هيدروكسي أباتيت بسهولة في شكل مسحوق ويمكن خلطه بالإيبوكسي لتكوين أشكال عظمية مشابهة لعظام الإنسان أو كتل موحدة بكثافات مختلفة.

الدهون والشحوم. يستخدم هذان المصطلحان في كثير من الأحيان بنفس المعنى كما أشرنا من قبل. ولا تذوب الدهون في الماء ولكنها تتسم بقابلية كبيرة للذوبان في المذيبات العضوية مثل البنزين والكلوروفورم وإثير ثنائي الإيثيل [٥٩، ٦٠]، ويمكن تقسيمها إلى فئات فرعية تبعاً لمدى تعقدها. والشحوم مرادف للدهون الثلاثية وتحتوي على ثلاثة أحماض دهنية مُسترة إلى الجليسيرول. وتفصل الشحوم بسهولة عن الأنسجة الجافة باستخدام الإثير مخففة وراءها كتلة دهنية تشكل أنسجة ضامة وأغشية خلوية. ولا يمكن لأجهزة ديكسا أن تميز بين الشحوم المستخلصة كيميائياً والنسيج الضام/الأغشية الخلوية نظراً لتشابه كل الدهون في خصائص توهين الأشعة السينية. ويجب مراعاة ذلك عند استخدام ديكسا في نماذج تركيب الجسم. وتشكل الشحوم ما يقرب من ٩٠ في المائة من دهون الجسم لدى الإنسان المرجعي [٦١]. والتركيب الكيميائي المقبول عموماً الذي يمثل الشحوم لدى البشر هو $C_{51}H_{98}O_6$ ، ويبلغ وزنها الجزيئي ٨٠٦ وكتافتها ٠,٩٠٠ غرام/سم^٣ عند درجة حرارة ٣٧ درجة مئوية [٦١].

الجليكوجين. تخزن المواد الكربوهيدراتية أساساً في شكل غليكوجين وتوجد في سيتوبلازم الخلايا. ويحتوي الجسم عموماً على مقدار صغير للغاية من الجليكوجين ، وهي نسبة تقل عن ١ في المائة، وإن كانت توجد بتركيزات أعلى في العضلات وأنسجة الكبد حيث تقترب من ١ في المائة و ٢,٢ في المائة من أوزانها على التوالي. ويرمز كيميائياً إلى الجليكوجين بالرمز $C_6H_{10}O_5$ ، وتبلغ كثافته ١,٥٢ غرام/سم^٣ عند درجة حرارة ٣٧ درجة مئوية [٥٦].

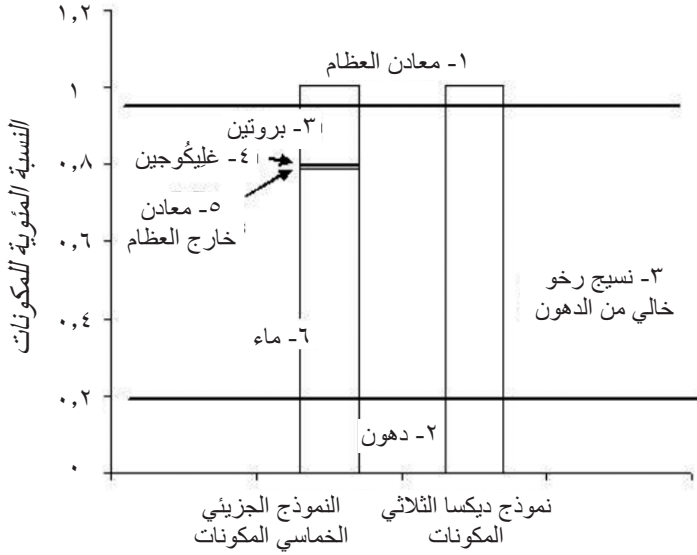
٤-٣- مبادئ قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا)

وضعت تقنية ديكسا لتحديد الكثافة الكتلية لمادتين غير معلومتين عندما تكون القياسات المادية للمواد، مثل السُمك الإجمالي، غير متاحة أو غير عملية. وتستخدم ثلاثة افتراضات أساسية لتحديد كثافة العظام باستخدام طاقتين:

- (١) انتقال الأشعة السينية خلال الجسم داخل نافذتين من الطاقة يمكن وصفه بدقة من خلال التوهين الأسّي الأحادي (المعادلة (١٠)).
- (٢) خلايا كل صورة من صور الجسم البشري توصف بأنها نظام مؤلف من مكونين اثنين، أي النسيج الرخو ومعادن العظام، أو الشحوم والكتلة الخالية من الدهون إذا لم توجد عظام. وبالتالي يوصف قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة بأنه نموذج ثلاثي المكونات لتقييم تركيب الجسم.

(٣) الأنسجة الرخوة التي تغطي العظام في الصورة لها تركيب معين وخصائص معينة فيما يتعلق بتوهين الأشعة السينية، ويمكن التنبؤ بهذا التركيب وتلك الخصائص عن طريق معرفة التركيب وخصائص التوهين في الأنسجة التي تكون قريبة من العظم ولكنها لا تغطيه.

ويمثل النموذج الثلاثي المكونات المستخدم في قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة وقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة صورة مبسطة للنموذج الجزيئي كما هو مبين في الشكل ٢.



الشكل ٢: النموذج الجزيئي لتركيب الجسم الخماسي المكونات مقارنة بنموذج ديكسا الثلاثي المكونات. ويلاحظ استخدام الدهون بدلاً من الشحوم بسبب تعذر التمييز بين الشحوم (الدهون الثلاثية) والدهون الفوسفورية للأغشية والأنسجة الضامة في نظام ديكسا.

ولأغراض التبسيط تشتق المعادلات لحزمتين من الأشعة السينية الأحادية اللون مختلفتين من حيث الطاقة (طاقة مرتفعة وطاقة منخفضة). وينتج عن معادلة توهين كل شعاع المعادلتان التاليتان:

$$(10) \quad I^L = I_0 e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_a^L \sigma_a + \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_s^L \sigma_s \right]}$$

$$(11) \quad I^H = I_0 e^{-\left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_a^H \sigma_a + \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_s^H \sigma_s \right]}$$

حيث اللاحقتان العلويتان H و L شعاعا الأشعة السينية بطاقتين مرتفعة ومنخفضة على التوالي، و σ الكثافة المساحية بوحدات الغرام/سم². وتشبه المعادلتان (١١) و (١٢) المعادلة (١٠) حيث النسيج الرخو، S، هو المادة ١، والعظم، b، هو المادة ٢. وتحرر المعدلات عندما تكون المادة ١ هي الشحوم وتكون المادة ٢ هي الأنسجة الخالية من الدهون. وتُحل المعادلتان (١١) و (١٢) أنياً بالنسبة لكثافة العظام المساحية على النحو التالي:

$$\sigma_b = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_S^L \ln\left(\frac{I_S^H}{I_O^H}\right) - \ln\left(\frac{I^L}{I_O^L}\right)}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_b^L - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_b^H \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_S^L}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_S^H}} \quad (12)$$

وتعرّف النسبة أو قيمة R للنسيج الرخو، R_S ، بأنها:

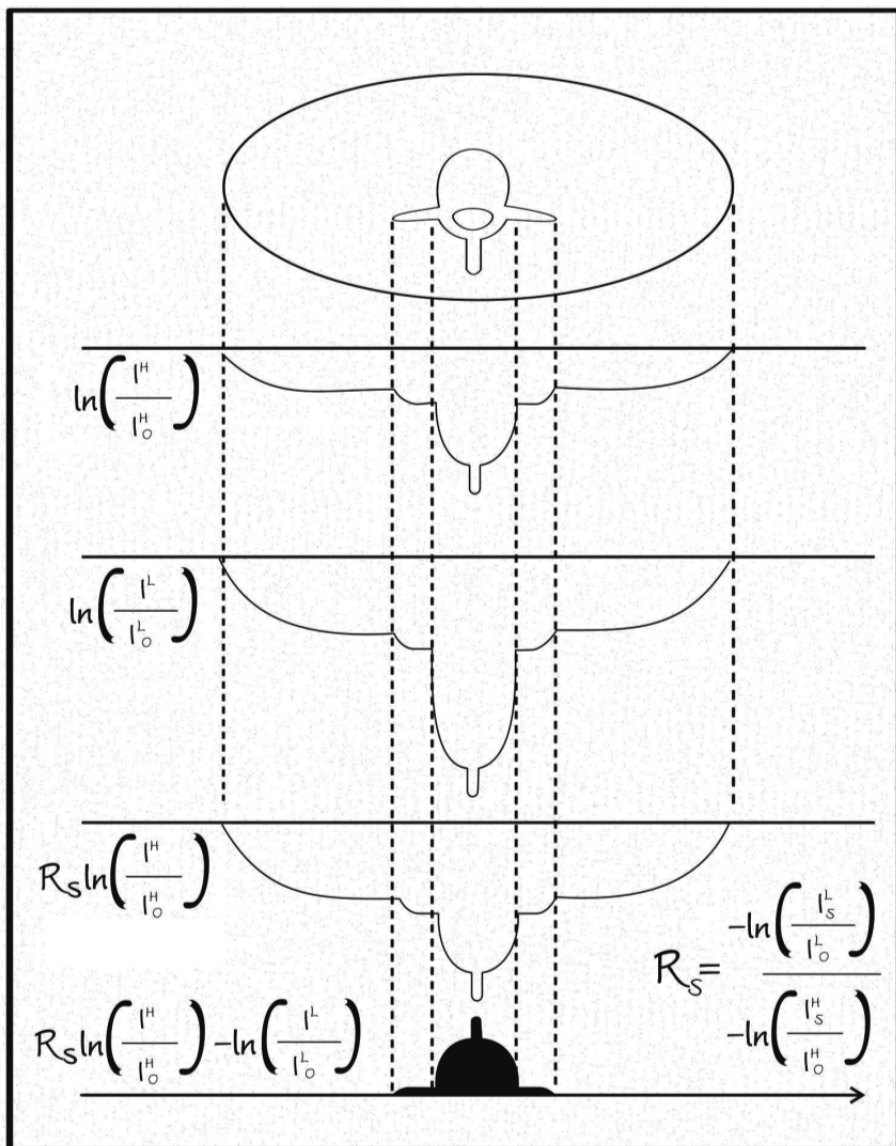
$$R_S = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_S^L}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_S^H} \quad (13)$$

ويمكن إعادة صياغة المعادلة (١٣) على النحو التالي:

$$\sigma_b = \frac{R_S \ln\left(\frac{I_S^H}{I_O^H}\right) - \ln\left(\frac{I^L}{I_O^L}\right)}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_b^L - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_b^H R_S} \quad (14)$$

ويختزل النسيج الرخو في المعادلة (١٥) ليصبح حد المعادلة R_S . وينبغي ملاحظة حل σ_S في نفس المعادلة. وتقاس كل الحدود الأخرى في المعادلة (١٥) مباشرة أو تحدد بمعامل التوهين الكتلي المعلوم في العظم. وباستخدام الافتراض الأخير فإن المعادلة (١٥) تستخدم لتحديد R_S من النسيج المحيط بالعظم الذي لا يحتوي على عظم. وقيمة $\sigma_b = 0$ في هذه المنطقة من الجسم، ويقتصر توهين الكثافة على النسيج الرخو ويرمز له بالرمز $I_S \rightarrow I$:

$$R_S = \frac{-\ln\left(\frac{I_S^L}{I_O^L}\right)}{-\ln\left(\frac{I_S^H}{I_O^H}\right)} \quad (15)$$



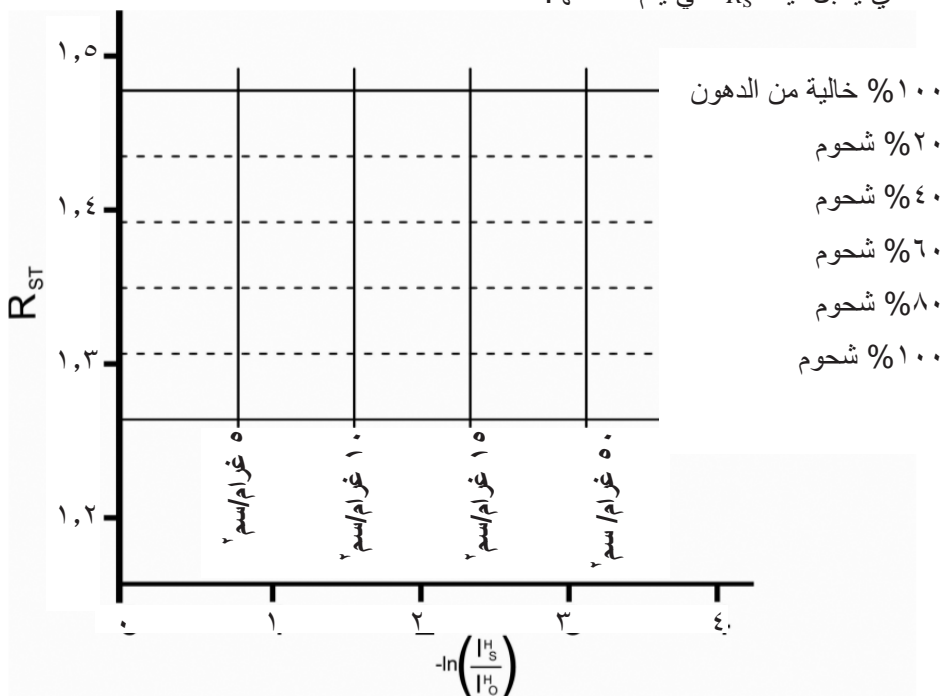
الشكل ٣: مبدأ قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة وقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة. تضرب قيمة امتصاص الطاقة المرتفعة في قيمة R للنسيج الرخو، R_S ، التي تمثل الفرق بين امتصاص الأشعة المرتفعة الطاقة والأشعة المنخفضة الطاقة في النسيج الرخو. وتقاس قيمة R للنسيج الرخو في خلايا (بيكسيلا) الصورة التي لا تحتوي على عظام باستخدام المعادلة (١٥) (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

وهكذا فإن RS هو مقياس للنسبة المئوية لشحوم الأنسجة الرخوة. ويتضمن الشكل ٣ رسماً بيانياً يوضح بسط المعادلة (١٥). وإذا حدد متوسط RS باستخدام القيم

على أي جانب من العظم وباستخدام ثابت R فوق العظم فإن ذلك يطلق عليه نموذج التوزيع المنتظم [٦٤]، وهو مقارنة ملائمة للفقرات القطنية. وإذا تغيرت دالة النسبة المئوية للشحوم حول العظم فإن RS يصبح دالة للموقع تحدد صراحة خارج العظم وستقرأ فوق العظم. ويسمى ذلك نموذج التوزيع الخطي المرجح [٦٤]، وهو يناسب مناطق مثل عظم الفخذ والعظام الطويلة. ويلزم في مناطق مثل الرأس والجذع العلوي استخدام تقريبات أكثر، وهي في العادة تقريبات خاصة وتنطوي على تفسير مادي فضفاض لتحديد RS . وباختصار، يجب تحديد RS في كل خلية من خلايا الصورة حتى يمكن تحديد كثافة العظام. على أن معايرة قيمة R مع تركيب النسيج الرخو ليست ضرورية إلا عندما يُراد قياس النسبة المئوية لكتلة الشحوم.

٤-٤ نظرية تقييم تركيب الجسم باستخدام ديكسا

يتبين من استخلاص طريقة عمل ديكسا في القسم ٤-٣ أن هذا النظام يمكنه أن يقيس في أن واحد مكونين اثنين فقط من مكونات الكتلة. وبالإضافة إلى ذلك يمكن تحديد قيمة R في خلايا الصورة التي لا تحتوي على أي عظم لمعرفة النسبة المئوية لكتلة الشحوم في خلايا الصورة هذه. ويمكن تحديد كتلة النسيج الرخو الموجودة فوق العظام بسهولة بعد تحديد الكتلة العظمية (المعادلة (١٣)). على أنه يتعين تحديد تركيب النسيج الذي يقابل قيمة R_S التي يتم اشتقاقها.



الشكل ٤: العلاقة المثالية بين R_{ST} وانتقال الطاقة المرتفعة التي يمثلها مقام R_{ST} . ويبين الشكل التخطيطي انتقال الطاقة المرتفعة المقرب كمنحنيات للكثافة الكتلية. على أن R_{ST} دالة ثابتة للنسبة المئوية لكتلة الشحوم.

ويمكن بسهولة اشتقاق قيم R_S في مختلف المواد البيولوجية المركبة استناداً إلى كثافتها الكتلية وتركيبها الذري وطاقات الأشعة السينية عند قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة. ويرد مثال لذلك في بيوتروبيلي وهيمسفيلد (Pietrobelli and Heymsfield) [٤]. وإذا كانت الأنسجة الرخوة مؤلفة من مجموعة من الأنسجة العضلية والدهنية فإن R_S تكون حينئذ ثابتاً لنسبة مئوية معينة لكتلة الشحوم بغض النظر عن مجموع كتلة الأنسجة الرخوة المفحوصة ويمكن تحديدها من المبادئ الأولى (الشكل ٤). وفي هذه الحالة، يمكن بمجرد تحديد معايير القياس تحويل القيم المرجعية للأنسجة التي تحتوي على شحوم والأنسجة الخالية من الدهون، وقيمة R_S المقاسة، إلى نسبة مئوية لكتلة الشحوم باستخدام النسبة المئوية المرجعية لكتلة الشحوم وقيمة R في المعادلة التالية:

$$PCTFM_S = \frac{PCTFM_{Fat} - PCTFM_{Lean}}{R_{Fat} - R_{Lean}} (R_S - R_{Lean}) + PCTFM_{Lean} \quad (١٦)$$

ويمكن تمثيل القيم المرجعية للشحوم والأنسجة الخالية من الدهون في الكتلة المطلقة في خلية الصورة على النحو التالي:

$$\sigma_{Fat} = PCTFAT_S \sigma_S \quad (١٧)$$

$$\sigma_{Lean} = (1 - PCTFAT_S) \sigma_S \quad (١٨)$$

وتناسب المعادلة (١٧) نُظم قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة. وأجرى بيوتروبيلي وهيمسفيلد [٤] أعمالاً موسعة لتحديد قيم R الملائمة لقياس امتصاص الفوتونات المزدوجة باستخدام نظم لوناك التي تعمل بطاقتين منخفضة ومرتفعة تبلغان ٤٠ و ٧٠ كيلو إلكترون فلت. وأشار بيوتروبيلي وهيمسفيلد إلى أن $R_{Lean} = ١,٣٦$ للنسيج الرخو غير الدهني، و $R_{Lipid} = ١,٢$ لمكون مجموع الدهون. وتستند هذه القيم إلى مبررات قوية منبعا الإنسان المرجعي وتجارب الفانتوم.

على أن المعادلة (١٧) معقدة في نظم ديكسا بسبب التقسية الشعاعية (حيث تميل الأشعة السينية المرتفعة الطاقة إلى امتصاص الأشعة السينية المنخفضة الطاقة مما يؤدي إلى تحويل متوسط طاقة الشعاع إلى قيمة أكبر). ولذلك يشيع وصف R_{Fat} و R_{Lean} كدالة لتوهين الطاقة المرتفعة (HE)، وهي بديل مجموع الكتلة حيث النسبة المئوية لكتلة الشحوم دالة لكل من R_S ، و HE، حيث $HE = \ln(I_S^H/I_O^H)$. أي أن $PCTFT_S = f(R_S, HE)$. ويبين الشكل ٥ نتائج مسح فانتوم المعايرة في ست مجموعات مختلفة من

الشحوم/الأنسجة الخالية من الدهون بأربع درجات مختلفة من السُمك. ومن الواضح أن قيم الثابت R لا تصف مكوناً بعينه [٦٥]. والشكل ٥ مأخوذ من بيانات أحد نظم هولوجيك وإن كان ينطبق أيضاً على كل نظم ديكسا. وقام شيبيرد في هذه الحالة بإعادة معايرة مقياس هولوجيك لقياس كثافة أنسجة الثدي باستخدام نموذج حمض الشمع (حمض الستيريك) حيث $PCTFT_{steric\ acid} = 100\%$ والتركيب الكيميائي لأنسجة الغدد الليفية، $PCTFT_{fibroglandular} = 0\%$. وفيما يلي أشكال المعادلات المأخوذة من المرجع [٦٥]:

$$(19) \quad PCTFT_S = c_1 + c_2 R_S + c_3 HE + c_4 HE^2 + c_5 R_S^2 + c_6 R_S HE$$

$$(20) \quad Thickness = d_1 + d_2 R_S + d_3 HE + d_4 HE^2 + d_5 R_S^2 + d_6 R_S HE$$

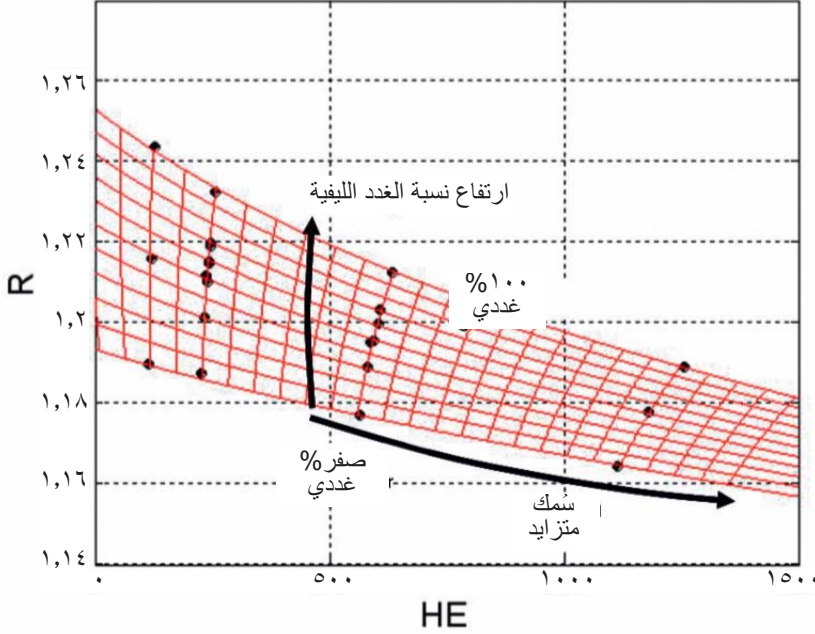
وينبغي ملاحظة أن البارامترين c_1-c_6 ، و d_1-d_6 المستخدمين في المعايرة في المعادلتين (٢٠) و (٢١) يعتمدان على المعايير المستخدمة في معايرة قيم R بالإضافة إلى متوسط الطاقة المستخدمة في صور الأشعة المنخفضة الطاقة وصور الأشعة المرتفعة الطاقة. وبالتالي يمكن اتباع النهج المذكور أعلاه في التصوير الإشعاعي للحصول على صورتين مختلفتين من حيث متوسط الطاقة. ومع ذلك يتفاوت وضوح الصورة وتباينها كدالة للفصل بين متوسط الطاقتين.

والخلاصة أن قيم R_S لا تبين في نظم ديسكا التكوينات الفريدة التي تجمع بين الشحوم والأنسجة الرخوة غير الدهنية. ويجب معايرة نظم ديكسا وفقاً للقيم المرجعية البيولوجية للدهون وغير الدهون كدالة لكتلة الأنسجة باستخدام توهين الطاقة المرتفعة.

٤-٥ نظم قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة (ديكسا)

يتفاوت أسلوب الحصول على صور الطاقتين المنخفضة والمرتفعة في نظم ديكسا المتاحة تجارياً تبعاً للشركة المصنّعة. مثال ذلك أن كل شركة تنفرد بإعدادات دقيقة للجهد الكهربائي لأنبوب الأشعة السينية. ولا بد أن يكون التسجيل المكاني بين صورتَي الطاقتين المنخفضة والمرتفعة ممتازاً لأن ذلك يؤثر على قيم R . ويمكن أن تنشأ أخطاء جوهرية نتيجة لعدم دقة التسجيل. ولذلك يقاس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة باستخدام مكشاف إلكتروني ومعدات تصوير رقمية وليس باستخدام أفلام عادية. وبالنظر إلى أن مكشاف المساحة الرقمي يتطلب في العادة عدة ثوان وربما عشرات الثواني لقراءة المساحة فإن المكشاف الخطي أو النقطي هو الأكثر شيوعاً في تصوير الجسم بكامله وتصوير المساحات الكبيرة نظراً لما يحققه من دقة متميزة في التسجيل المكاني.

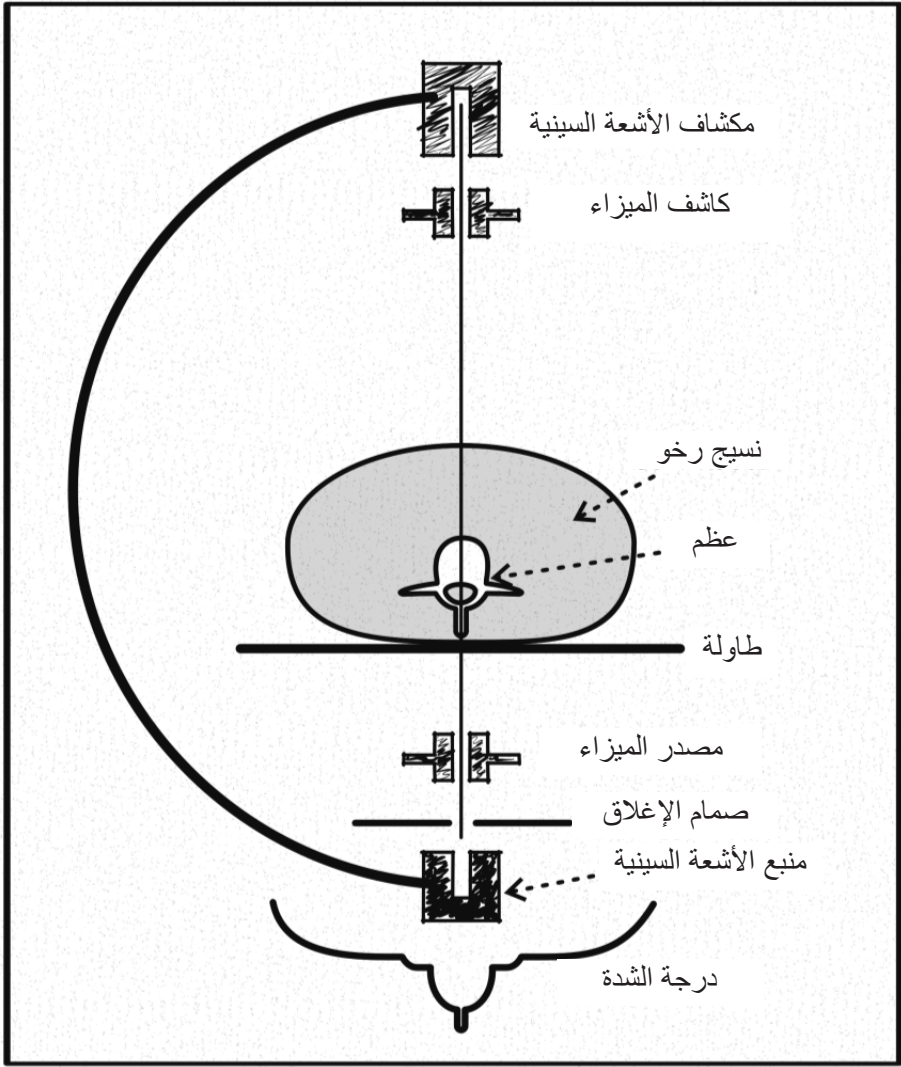
معايرة ديكسا



الشكل ٥: تحديد دالة معايرة ديكسا لإيجاد النسبة المئوية لكثافة شحوم الثدي في خلايا الصورة المتفاوتة السمك في نظم هولوجيك دلفي. ويمثل هذا المنحنى قيم R كمركب للشحوم والأنسجة الخالية من الدهون في الغدد الليفية بالثدي [٦٥]. وتمثل النقط السوداء قياسات فاننوم بسماعات ومكونات مختلفة. والخطوط الحمراء هي دالة المعايرة الأكثر تطابقاً مع بيانات الفاننوم. واستخدمت لأغراض التوضيح خطوط أفقية تبين التركيب المعياري وخطوط رأسية تبين تشير إلى الحجم المعياري (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

وهناك الكثير من جوانب الالتقاء بين نظم ديكسا ونظم التصوير الطبي الإشعاعي الأخرى التي تحتوي على الكثير من المكونات ذاتها. وبين الشكل ٦ قنطرة الأشعة السينية النمطية في نظام ديكسا، بما في ذلك أنبوب الأشعة السينية، والترشيح، وفتحة تسديد الحزمة الإشعاعية، وطاوله أو منصة الفحص، وفتحة ضبط المكشاف، والمكشاف. وخلافاً للتصوير بالأفلام العادية ولكن على غرار نظم المسح المقطعي الحاسوبي فإن للمكونات وضع هندسي ثابت على القنطرة حتى في أثناء المسح. ويستلقي المريض على ظهره في وضع السكون في أثناء مسح منطقة من جسمه. ويحدد شكل الشعاع سرعة المسح ونوعية الصورة. ويتعين في حالة استخدام نظم الشعاع القلبي المزودة بمكشاف واحد إجراء المسح في "خطوط متوازية" على المنطقة المراد مسحها

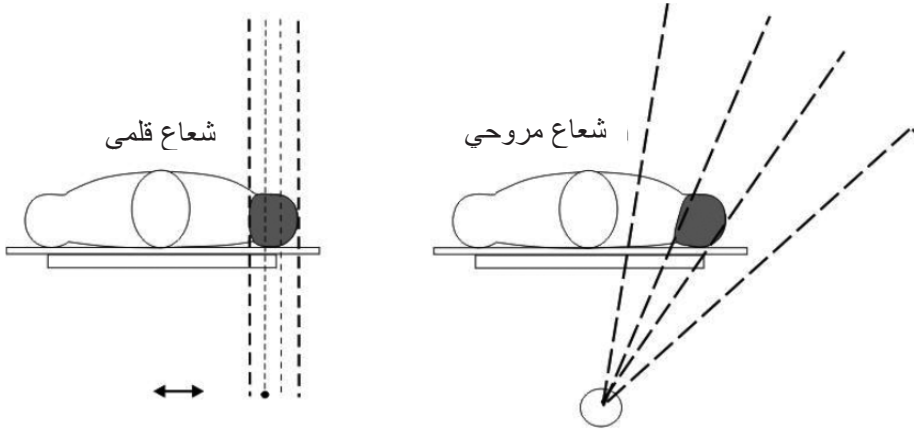
وتجمع كل خلية من خلايا الصورة على حدة. ويتراوح زمن التصوير بين ٣ و ٥ دقائق في حالة الورك والعمود الفقري، و ٢٠ دقيقة للجسم بكامله. وتستخدم نُظم الشعاع المروحي مجموعة من المكشافات الخطية وتُجمَع عشر خلايا أو أكثر من خلايا الصورة مرة واحدة. ولذلك فإن الحصول على صورة بنفس الخصائص باستخدام الشعاع المروحي يكون أسرع كثيراً من الحصول عليها في نُظم الشعاع القلمي. ويستغرق جميع الصور في العادة أقل من ٣٠ ثانية للعمود الفقري أو الورك و ٣ دقائق للجسم بكامله. وتستخدم هندسة الشعاع المخروطي مكشافاً واسع المدى لالتقاط صور 'سريعة' متميزة. وبالرغم من أن التصوير بالشعاع المخروطي هو أسرع وسيلة لالتقاط صور وحيدة الطاقة فإن مدة القراءة بين إظهار كل صورة تحد من استخدام ذلك الشعاع في قياس كثافة العظام. وإذا تنفس الشخص بين الصورتين المنخفضة الطاقة والمرتفعة الطاقة فإن ذلك يؤثر بشدة على الصور ويُفسد المسح. وتُجمع في نظم التصوير التي تستخدم فيها حزم الأشعة القلمية والمروحية الصور المنخفضة الطاقة والمرتفعة الطاقة المسقطية في خلية الصورة (الشعاع القلمي) أو الصف (الشعاع المروحي) في جزء من المليون من الثانية قبل انتقال القنطرة إلى الصف التالي. ولذلك يسمح بالتنفس في أثناء التعرض دون أن يتسبب ذلك في حدوث أخطاء كبيرة في التسجيل. وخلافاً لنُظم الشعاع القلمي فإن صور الشعاع المروحي والمخروطي تحتوي على أشعة سينية مشتتة، ولكن رفض التشتت مرتفع بدرجة كبيرة في الشعاع المروحي مقارنة بنُظم الشعاع المخروطي.



الشكل ٦: رسم تخطيطي يبين مكونات نظام ديكسا (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

ومن المهم ملاحظة أن نُظم الأشعة المروحية والقلمية والمخروطية تُسقط الجسم البشري الثلاثي الأبعاد على صورة ذات بُعدين بطرق مختلفة [٦٦-٧٣]. وتتضح هذه المشكلة في الشكل ٧. وتسقط صورة الشعاع القلمي عمودياً على مستوى الطاولة، وقد تسقط صورة الشعاع المروحي بزاوية معينة في الاتجاه الموازي لعرض المروحة، كما قد تسقط صورة الشعاع المخروطي بزاوية في كلا الاتجاهين. وبالتالي إذا حددت مناطق

متماثلة من الجسم في الصور فإن هذه المناطق تمثل إسقاطات لأحجام مادية مختلفة. والاختلاف في مناطق الجسم بين صور الأشعة القلمية والمروحية والمخروطية هو اختلاف في التعريف. وتعرّف المناطق ذات الاهتمام في نُظم ديكسا تعريفاً عشوائياً؛ وتكون الإسقاطات والقياسات صحيحة بنفس القدر.



الشكل ٧: الشكل الهندسي للشعاعين القلمي والمروحي يُسقط نفس منطقة الجسم بطريقة مختلفة. وتسقط صورة الشعاع القلمي متعامدة على سطح الطاولة بينما يتوقف إسقاط الشعاع المروحي على وضع الجسم داخل الشعاع. ولذلك تشمل الصور المسقطة أحجاماً مادية مختلفة للنسيج عندما يُعاد إسقاطها على مصدر الأشعة السينية (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

والاختلاف الآخر بين نظم الشعاع القلمي ونظم الشعاع المروحي والمخروطي هو ما يطلق عليه تكبير الشعاع المروحي (والشعاع المخروطي). وتتوقف المساحة المسقطة للحجم المعني على موضع الجسم بين أنبوب الأشعة السينية والمكشاف. ويبدو بالتالي أن المحتوى المعدني في العظام والمساحة العظمية تنقلص كلما بعد الجسم عن المصدر في نظم الشعاع المروحي [٧٤]. وبالنظر إلى أن الموقع الدقيق للعظم على طول مسار الأشعة السينية غير معلوم عموماً فإن تصحيح الأخطاء الناجمة عن تكبير المحتوى المعدني في العظام والمساحة العظمية يمكن أن يشكل تحدياً كبيراً. ومن المهم ملاحظة أن التكبير لا يؤثر كثيراً على قياسات الكثافة المساحية لمعادن العظام [٦٨]، وإن كانت هناك تقارير تفيد بحدوث أخطاء بنسبة ١٠ في المائة في القياسات الهندسية المباشرة، مثل طول محور عنق الفخذ [٧٥]. وبالإضافة إلى ذلك فإن التكبير وما يصاحبه من أخطاء لا يحدث إلا في البُعد الواقع على طول الشعاع المروحي. ولا يحدث أي تكبير في بُعد الصورة الواقع في اتجاه حركة المسح. وأما في نظم الشعاع المخروطي فيكون التكبير في كلا الاتجاهين.

٦-٤ توليد الصور الثنائية الطاقة: تغيير الجهد الكهربائي مقابل الترشيح بطريقة الحد - ك

أنابيب الأشعة السينية المستخدمة في كل نُظُم ديكسا المتاحة في السوق هي أنابيب قياسية من مسرى كهربائي مصنوع من مادة التتغستن، وتتراوح مساحة البقعة البؤرية بين ٠,٥ و ١ ملليمتر مربع. على أن ثمة اختلافات في طريقة تكوين الصور الثنائية الطاقة، حيث يستخدم أسلوبان، هما نظام تغيير فرق الجهد الكهربائي الذي وضعته شركة هولوجيك، ونظام الترشيح بطريقة الحد ك الذي أنتجته شركة نورلاند (نورلاند، كوبر سيرجيكال، ماديسون، ويسكنسن، الولايات المتحدة الأمريكية) وشركة لونار جنرال إلكتريك (جنرال إلكتريك لمستلزمات الرعاية الطبية، ماديسون، ويسكنسن، الولايات المتحدة الأمريكية).

ويستخدم في نظام تغيير الجهد الكهربائي جهدان في أنبوب الأشعة السينية لتكوين صور منخفضة ومرتفعة الطاقة. ويتغير الجهد الكهربائي في أنبوب الأشعة السينية بين منخفض (٧٠ كيلو فلت قمة) ومرتفع (١٤٠ كيلو فلت قمة) خلال كل نصف دورة من دورات التيار المتردد. وتنشأ نبضات شديدة القصر بطول يبلغ ٨,٣٣ متر في الثانية في النُظُم التي تعمل بتردد قدره ٦٠ هرتز، و ١٠ أمتار في الثانية في النُظُم التي يبلغ ترددها ٥٠ هرتز. ويستخدم النحاس الأحمر أو النحاس الأصفر لإحداث تقسية أولية في شعاع الطاقة المرتفعة وتنقية الطيف من الأشعة ذات الطاقة المنخفضة وتقليل التداخل إلى أدنى حد بين طيفي الأشعة السينية المنخفضة الطاقة والمرتفعة الطاقة. ويتزامن عمل المرشح وتبديل الجهد الكهربائي والمكشافات إلكترونياً وميكانيكياً لجمع معلومات عن الطاقتين المرتفعة والمنخفضة على التوالي في كل وضع تكون عليه قطرة الأشعة السينية.

ويعمل أنبوب الأشعة السينية في نظام مرشح الحد ك بطريقة التيار الثابت المستمر ويُستخدم مرشح حد امتصاص 'ك' لتقسيم طيف واحد من الأشعة السينية إلى مكونين أحدهما منخفض الطاقة والآخر مرتفع الطاقة. ويُضبط مستوى جهد أنبوب الأشعة السينية بحيث تتكون ثلثة في طيف الأشعة السينية لتحفيز الطيف الثنائي الذي يصل إلى ذروته مثلما في الجادولينيوم - ١٥٣. وباستخدام جهد قدره ١٠٠ كيلو فلت فإن مختلف الشركات المصنعة تستخدم واحداً من عدة مرشحات أرضية نادرة بين المريض وأنبوب الأشعة، بما في ذلك السيريوم ($Z=58$) والساماريوم ($Z=62$). ونظراً لاختلاط الأشعة السينية المرتفعة الطاقة بالأشعة السينية المنخفضة الطاقة في هذه النُظُم فإن الفصل بين الطاقتين يتم في المكشاف باستخدام قياسات ارتفاع النبضات. ونخلص من ذلك إلى أن هناك وسائل مختلفة يمكن استخدامها لإنتاج الصور الثنائية الطاقة. ويناقش فاهنر (Wahner) جوانب القوة والضعف في كل نهج من هذين النهجين [٧٦].

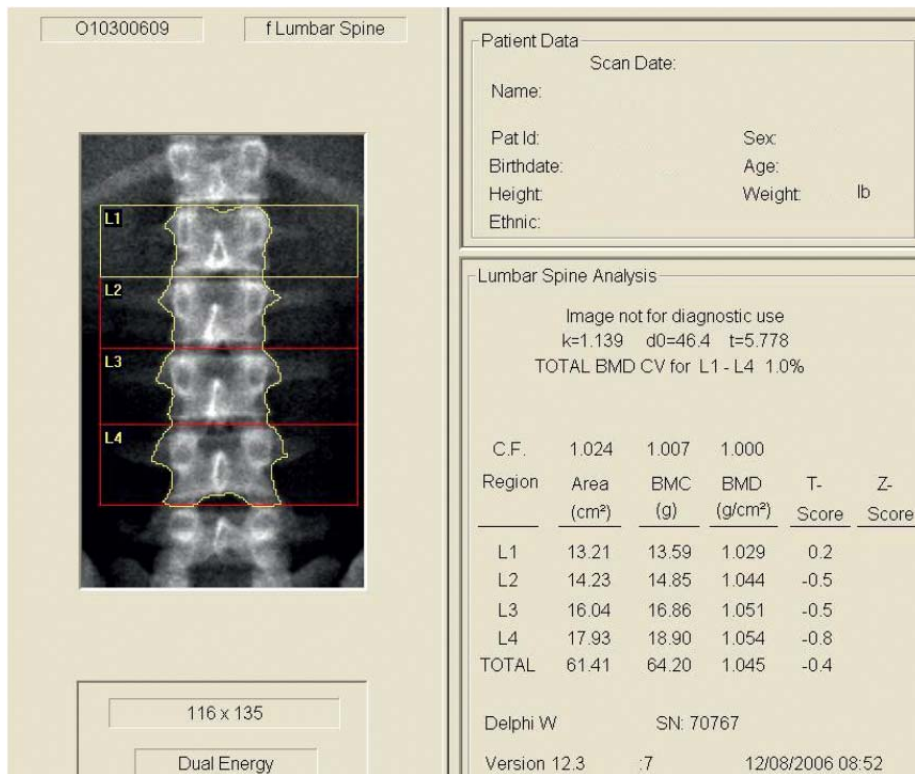
٥- إجراء المسح باستخدام نظام ديكسا

١-٥ مناطق الجسم ذات الاهتمام في مسح ديكسا

يمكن تحديد العديد من المناطق ذات الاهتمام التي نحصل من كل منها على معلومات فريدة. ويتوقف الموضع الأمثل على الغرض من المسح. فإذا كان الغرض من المسح هو قياس الكثافة العظمية فإن المناطق التي يزداد فيها محتوى العظام الإسفنجية (ارتفاع معدل التجدد) تكون حساسة أكثر لهشاشة العظام والتغيرات الناجمة عن العلاج. على أن الدراسات الطولية تشير إلى أن معظم المناطق ذات الاهتمام المحددة حالياً (العمود الفقري والفخذ والساعد وعظم العقب) تساعد على التنبؤ باحتمالات التعرض عموماً لكسور (في أي جزء من العظم). ومن بين المقاييس المتاحة من قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة، وهي كثافة معادن العظام والمحتوى المعدني في العظام والمساحة العظمية، تمثل كثافة معادن العظام أفضل مقياس لتقييم احتمالات الإصابة بكسور في العظم [٧٧]. على أن التعريف الذي وضعته منظمة الصحة العالمية والزراعة لهشاشة العظام لا ينظر سوى في الكثافة المعدنية لعظم عنق الفخذ. ويتضمن القسم ٧-٢-١ معايير منظمة الصحة العالمية لتشخيص هشاشة العظام. ولا يمكن قياس الشحوم والأنسجة الخالية من الدهون والكتلة العظمية إلا من خلال مسح الجسم بكامله. وفيما يلي مناطق الجسم وطرق المسح الأكثر شيوعاً.

١-١-٥ العمود الفقري

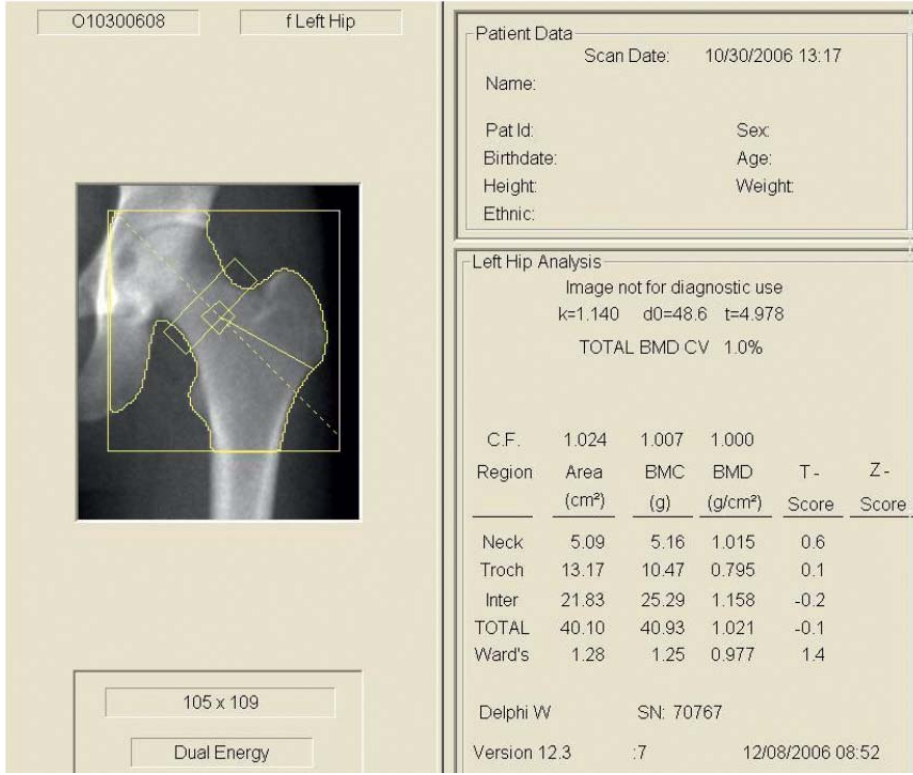
هذه المنطقة هي الأكثر شيوعاً في تشخيص هشاشة العظام. ويبدأ المسح في العادة عند الفقرة القطنية الخامسة وينتهي عند الفقرة الصدرية الثانية عشرة. ويستلقي المريض على ظهره فوق طاولة المسح مع ثني ركبتيه ورفع ساقيه على مكعب لضبط الوضع لتلافي انحناء الفقرات القطنية وحتى يكون العمود الفقري مستوياً على سطح الطاولة. وعادة ما تقاس الكثافة السطحية لمعادن العظام في الفقرات القطنية من الأولى حتى الرابعة من مسقط خلفي أمامي (عندما يكون أنبوب الأشعة السينية خلف المريض والمكشاف فوق بطنه). ولا تشمل الكثافة السطحية لمعادن العظام من هذا الإسقاط مجرد الأجسام الفقرية، بل وكذلك النتوءات. وتكثر مصادر العيوب والأخطاء في حالة المرضى الأكبر سناً نتيجة لتجمع تكلسات غريبة على جدار الشريان الأبهرى والتشوهات الناتجة عن تنكس القرص الفقري ونتوءات المفاصل وما ينشأ عنها من فرط التعظم. وينشأ عادة عن كل هذه الأنواع من العيوب زيادة كاذبة في الكثافة المساحية لمعادن العظام [٧٨]. ومن الأوضاع الأخرى التي يمكن أن تتسبب في زيادة كاذبة في الكثافة المساحية لمعادن العظام الوتد الفقري (الكسر الضاغط)، وإصابة العظام بداء باجيت، والنقائل التصليبية، والأنسجة الدموية في نخاع الفقرات. ويعرض الشكل ٨ صورة تبين مسح العمود الفقري من الجهتين الأمامية والخلفية.



الشكل ٨: مثال لتقرير مسح العمود الفقري من الأمام والخلف باستخدام ديكسا. وقد حُللت الفقرات القطنية الأولى حتى الرابعة وسُجلت النتيجة الإجمالية في التقرير. وينبغي ملاحظة أن العمود الفقري يقع في مركز المسح ولا يوجد أي إِنْحاء في العمود الفقري، ويظهر العرف الحُرْقَفِيّ قليلاً ولا يوجد أي التواء، وكلها علامات تدل على سلامة تقنية المسح (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

وكان الهدف من تطوير المسقط الجانبي للعمود الفقري هو عزل الجسم الفقري عن النتوءات الخلفية لزيادة النسبة المئوية للعظم التَّربِيقِيّ الذي يتم تحليله. ويمكن تقدير الكثافة الحجمية الصحيحة للجسم الفقري من خلال التوفيق بين المسح الجانبي والمسح الخلفي الأمامي لعرض الفقرات. والتغير المرتبط بالعمر في كثافة معادن العظام في المسح الجانبي لدى البالغين يكون أكبر من التغير الذي يظهر في المسح الخلفي والأمامي للعمود الفقري، والارتباط بين الكثافة الحجمية لمعادن العظام في المسح الجانبي باستخدام ديكسا والمسح المقطعي الحاسوبي الكمي كبير، بل وأقوى من الارتباط بين المسح الخلفي الأمامي باستخدام ديكسا والمسح المقطعي الحاسوبي الكمي [٧٩]. على أن تداخل القشرة الحُرْقَفِيَّة والفقرات القطنية الرابعة والضلوع مع الفقرات القطنية الأولى يقلص منطقة الجسم النمطية التي يمكن استخدامها في المسح لتقتصر على الفقرتين القطنيتين الثانية والثالثة. وعلاوة على ذلك فإن دقة كثافة معادن العظام باستخدام المسح الجانبي تقل في العادة عن

دقة قياس كثافة العظام باستخدام المسح الخلفي الأمامي لدرجة أنه يمكن رصد التغير مثلما في المسح الخلفي الأمامي للعمود الفقري [٨٠، ٨١].

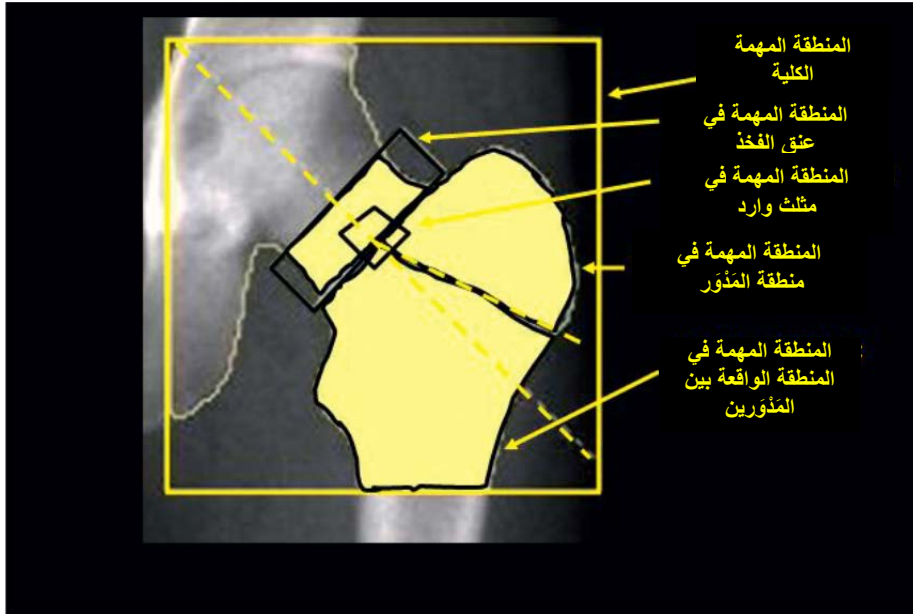


الشكل ٩: تقرير نمطي لمسح على عظم الفخذ القريب باستخدام ديكسا. ويبدو المَنُور الأصغر واضحاً إلى حد ما في الصورة، ويمكن أن يدل ذلك على عدم تدوير الفخذ بالكامل. ومع ذلك تظهر استطالة في عنق الفخذ ويُرجح بالتالي بروز المدور الأصغر عند هذا المريض (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٥-١-٢ عظم الفخذ القريب

يعتبر مسح عظم الفخذ القريب شائعاً نظراً لارتفاع معدل الوفيات المرتبطة بالكسور في هذا الموضع. وتصل نسبة الوفاة نتيجة الإصابة بكسور في الورك بين المرضى الذين تبلغ أعمارهم ٥٠ عاماً فما فوق ٢٤ في المائة في الولايات المتحدة الأمريكية بعد سنة من إصابتهم بالكسر. وعند إجراء مسح لعظم الفخذ القريب، تُبعد الساق قليلاً وتدار إلى الداخل باستخدام جهاز ضبط الوضع لتوسيع مسقط عنق الفخذ قدر الإمكان. وتستخدم أجهزة مختلفة وفريدة لضبط الوضع تبعاً للشركة المصنعة لنظام ديكسا. وينشأ عن عدم تدوير الفخذ بالقدر الكافي تقصير عنق عظمة الفخذ، مما يتسبب

في زيادة كاذبة في كثافة معادن العظام. ولذلك فإن ضبط وضع عنق الفخذ حاسم الأهمية في الحفاظ على مستوى سليم من الدقة وإمكانية مقارنة النتائج بالبيانات المرجعية. وعموماً فإن مناطق الجسم المهمة التي تقاس الكثافة فيها هي الجسم بكامله، وعنق الفخذ، والمَؤَر، والمنطقة الواقعة بين المَؤَرين ، ومناطق مثلث وارد. ويعرض الشكل ٩ تقريراً نمطياً عن عظم الفخذ. ويختلف التعريف المحدد لكل منطقة مهمة حسب الشركة المصنعة للجهاز. ويشيع استخدام الفخذ بكامله وعنق الفخذ في التشخيص، وقلما يُستخدم المَؤَر ومثلث وارد إلا في البحوث. ويبين الشكل ١٠ هذه المناطق بالتفصيل.

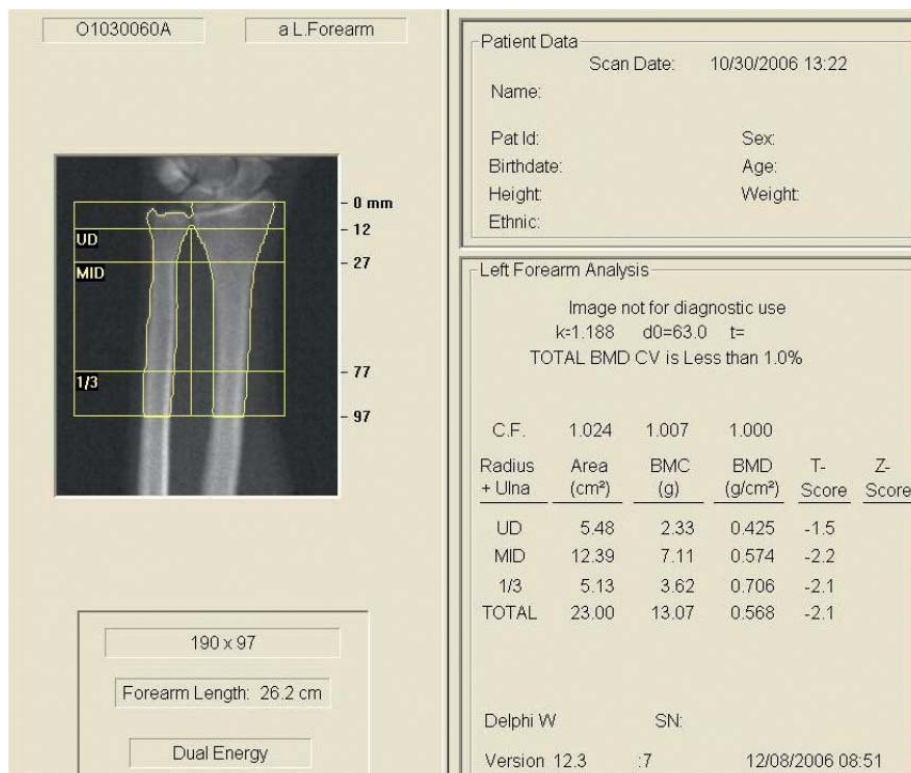


الشكل ١٠: المناطق المهمة في عظم الفخذ. ومنطقة الفخذ بكاملها هي مجموع المناطق الثلاث المظللة (عنق الفخذ، والمَؤَر ، والمنطقة الواقعة بين المَؤَرين). ويتداخل مثلث وارد (المثلث الصغير) مع المناطق الأخرى ولا يمثل منطقة فريدة في كامل الفخذ (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٣-١-٥ المساعد

يتم مسح الساعد باستخدام تقنية ديكسا في أثناء جلوس المريض على مقعد بجوار طاولة الماسح حيث يركز الساعد على سطح الطاولة مع ضم قبضة اليد، ويتم تثبيتها في بعض أنواع أجهزة المسح على "لوحة التحكم في الوضع" باستخدام حزام رابط. وقد يلزم في حالة الأطفال مسح الساعد في الجانب الذي يستلقون فيه على طاولة المسح. ويبين الشكل ١١ تقريراً نمطياً لمسح ديكسا. وتقاس في العادة كثافة معادن عظام

الساعد في مناطق النهاية الأبعد في الكعبرة، والكعبرة البعيدة، (منتصف الكعبرة) والجدل (ثلث الكعبرة). والموضع الأبعد مفيد في المسح لأنه يحتوي على أكبر نسبة من العظم التريبيقي. وأما منطقة ثلث الكعبرة فهي مفيدة لأنها تحتوي أساساً على عظم قشري.

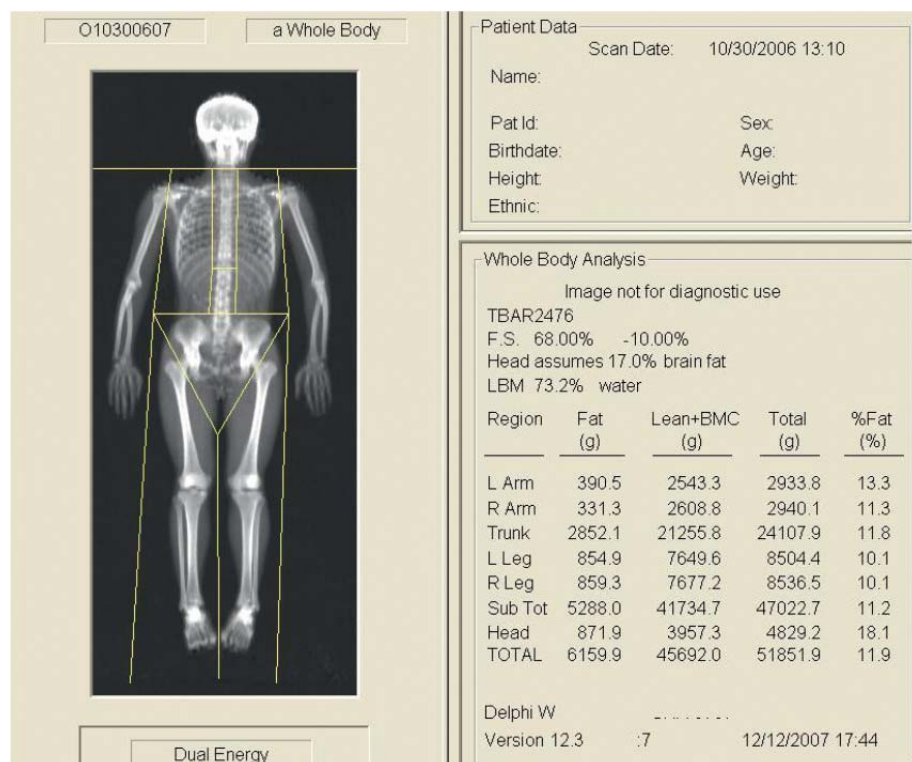


الشكل ١١: مسح نمطي باستخدام ديكسا على الساعد الأيمن. وينبغي ملاحظة وضع الساعد في مركز الصورة واستقامة الكعبرة والزند. وينبغي إعادة المسح في حالة حدوث انحراف جوهري عما في الصورة أعلاه (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٤-١-٥ الجسم بكامله

قياس كثافة معادن العظام في الجسم بكامله باستخدام تقنية ديكسا مهم لأنه يساعد على تكوين صورة شاملة للمعادن في الجسم بكامله. ويمكن أن يفيد ذلك في الدراسات المتعلقة بتوازن الكالسيوم والدراسات التي تتناول تطور الكتلة العظمية لدى الأطفال. ويبين الشكل ١٢ صورة مسح نمطي للجسم بكامله باستخدام تقنية ديكسا. ومن المحتمل للحصول على نتائج دقيقة أن يستلقي المريض على ظهره فوق طاولة المسح، على أن يشمل حقل المسح كل أجزاء الجسم، بما في ذلك الذراعان. ويقاس في مسح الجسم بكامله المحتوى المعدني في العظام ومتوسط كثافة معادن العظام معاً في الهيكل العظمي كله. وتقاس أيضاً قيم المناطق الفرعية في الجمجمة والذراعين والأضلاع والفقرات الصدرية

والقطنية والحوض والساقين [٨٢]. وبالإضافة إلى المحتوى المعدني في العظام وكثافة معادن العظام يحدد مسح ديكسا تركيب الأنسجة الرخوة من حيث مكوناتها من الشحوم والكتلة الخالية من الدهون [٨٣]. على أن نظم ديكسا لا يمكنها تحديد معادن العظام والشحوم وكتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون في آن واحد. وبالتالي في مناطق العظام التي لا تنفذ فيها حزمة الأشعة السينية يمكن تقدير كتلة الشحوم والأنسجة الخالية من الدهون كل على حدة [٤]. على أنه يمكن قياس كثافة معادن العظام ومجموع كتلة الأنسجة الرخوة (الشحوم والأنسجة الخالية من الدهون) في حالة وجود العظم مع الأنسجة الرخوة في خلية الصورة. ويعني استقراء قياسات النسبة المئوية لشحوم الجسم في الأنسجة الرخوة التي تعلق العظام المجاورة أن مسح كل الجسم باستخدام ديكسا يمكن أن يعطي تقديرات لمجموع دهون الجسم والكتلة الخالية من الدهون فضلاً عن المحتوى المعدني في العظام [٥]. وتحدد المناطق ذات الاهتمام تبعاً لكل مُصنَّع، وينبغي أن يرجع القارئ إلى الخطوط التوجيهية المتعلقة بتعيين مناطق المسح في دليل المالك.



الشكل ١٢: مسح نمطي على كامل الجسم باستخدام نظام ديكسا. ويلاحظ أن أصابع القدمين قد ربطت معاً برفق باستخدام شريط لاصق، وأن اليدين منبسطتان وأن الجسم يقع في مركز الصورة، ويتخذ وضعاً مستقيماً ويدخل تماماً في حقل المسح. وإذا خرج جزء من الجسم عن حقل المسح، يجب استخدام بعض التقنيات المبينة في القسم المتعلق بتحليل البدانة (إهداء من ج. شبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٥-١-٥ تعيين كسور العمود الفقري

نظراً للدقة العالية نسبياً لأجهزة ديكسا المروحية الشعاع فإنها تصور بوضوح التفاصيل التشريحية للمنطقة التي يتم فحصها. واستخدام ديكسا في التصوير الجانبي للفقرات القطنية يسمح للشعاع الماسح بأن يكون موازياً بشكل عام للصفائح الانتهائية الفقرية خلافاً لما في التصوير بالشعاع المخروطي التقليدي (الشكل ١٣). ويمكن الحصول على هذه الصور باستخدام طاقة مزدوجة أو طاقة وحيدة لإظهار تفاصيل الصورة بوضوح أكبر. كما يقل تشوش الأشعة السينية في الصور الملتقطة باستخدام طاقة واحدة، بينما تقلل الطاقة الثنائية عيوب صور النسيج الرخو. والعديد من المصطلحات المستخدمة في الإشارة إلى نهج ديكسا، بما في ذلك تقييم كسور العمود الفقري، والقياس الشكلي لامتناس الأشعة السينية [٨٤]، والتحليل الفقري الجانبي، والتحليل الفقري اللحظي، تستخدم تقريباً للتعبير عن المعنى ذاته. وعموماً فإن تعيين كسور العمود الفقري يسمح بتحديد الأبعاد الفقرية بشكل أفضل من الأشعة السينية التقليدية.

٥-٢ البروتوكول الإكلينيكي للحصول على صور ديكسا

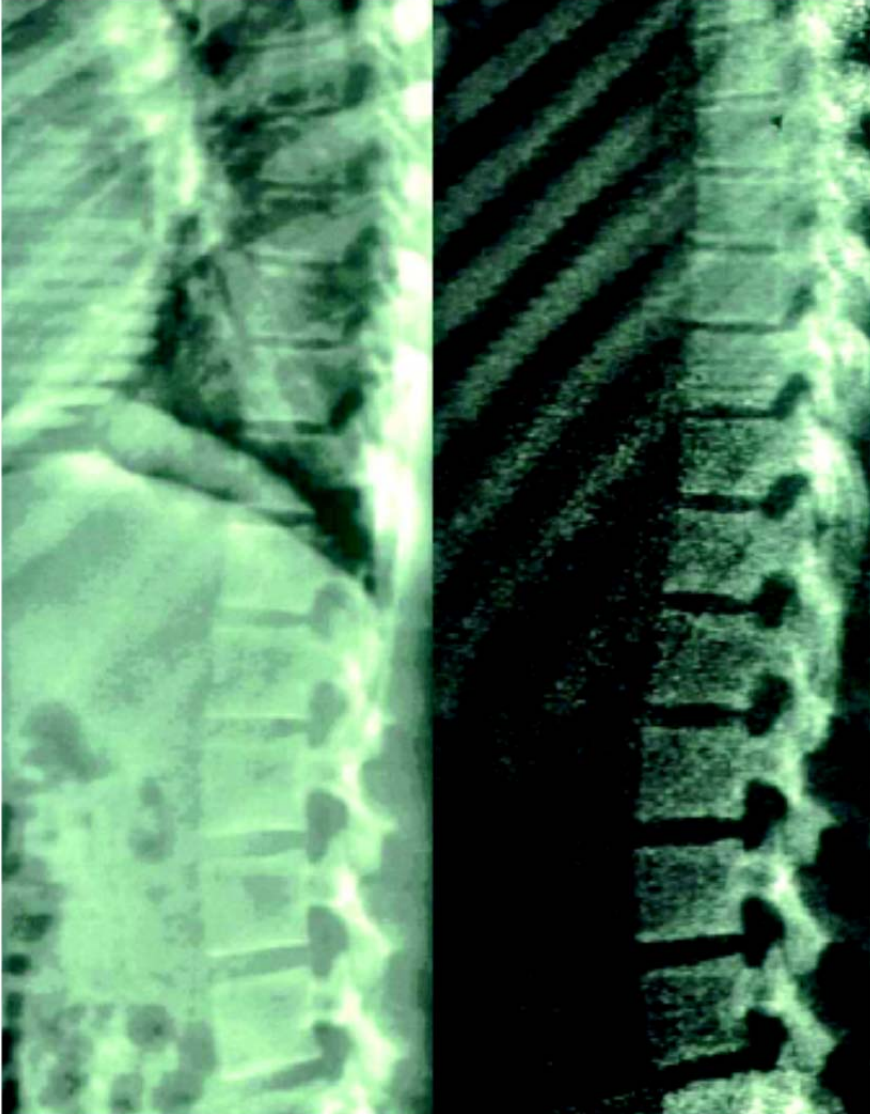
تبين الأقسام التالية بالتفصيل المتطلبات اللازمة لإجراء المسح للهدف المراد فحصه بالإضافة إلى المتطلبات الوارد ذكرها في دليل المشغل. وتحقيقاً لأكبر قدر من الاتساق في نتائج المشاركين من المهم اتباع إجراءات متسقة في الحصول على كل صور المسح.

٥-٢-١ تهيئة المريض للمسح

ينبغي القيام بما يلي قبل إجراء المسح:

- (١) ينبغي التأكد من قدرة المريض على تحمل الاستلقاء على الظهر والبقاء في وضع السكون لمدة ١٠ دقائق على الأقل.
- (٢) يحدد وزن الشخص المراد فحصه. ويمكن لكل نُظم ديكسا مسح المرضى الذين يصل وزنهم إلى ٣٠٠ باوند (١٣٦ كيلو غراماً). وإذا كان وزن الشخص يزيد على ٣٠٠ باوند، قد يلزم إجراء اختبار بديل لقياس كثافة العظام أو تقييم تركيب الجسم. وينبغي التأكد من الحدود المعيّنة للنظام في دليل الشركة المالكة لنظام ديكسا.
- (٣) ينبغي التأكد مما إذا كان الشخص المراد فحصه قد خضع مؤخراً لأي تصوير طبي. وإذا كان الشخص قد تلقى مادة تباين مثل الباريوم أو الجادولينيوم، ينبغي تحديد موعد الفحص ليكون بعد أسبوعين من تاريخ تناول مادة التباين.

- (٤) إذا كانت المريضة في مرحلة ما قبل انقطاع الطمث، ينبغي أن تُسأل عن احتمالات الحمل. وقد يتعيّن في بعض المراكز الطبية إجراء اختبار الحمل قبل الفحص. وينبغي إبلاغ المريضة بإمكانية إجراء ذلك الاختبار.
- (٥) ينبغي ألا يتناول المريض أقراص كالسيوم خلال الأربع والعشرين ساعة السابقة للفحص.



الشكل ١٣: التقييم الفقري الجانبي يستخدم لإظهار كسور العمود الفقري بشكل أفضل. والصورة الواقعة إلى اليسار تمثل الطاقة الوحيدة. وتظهر إلى اليمين صورة نفس العمود الفقري باستخدام الطاقة المزدوجة. ويمكن تصنيف الكسور باستخدام أساليب تحديد الدرجات التي تعبر عن شدة الكسر.

- (٦) ينبغي أن يرتدي المريض ملابس فضفاضة مريحة، من قبيل بذلة رياضية بأن ذلك يقلل الحاجة إلى ارتداء رداء المستشفى.
- (٧) ينبغي أن يتجنب المريض ارتداء ثياب بها أي أجزاء معدنية مثل السحاب المعدني، والصدريات المزودة بسلك، والمشابك المعدنية.
- (٨) ينبغي أن يُسأل المريض عما إذا كان قد أجرى من قبل اختباراً لقياس كثافة العظام. وإذا كان المريض قد خضع لذلك الاختبار، ينبغي أن يُحضر معه نتائج ذلك الاختبار.
- (٩) ينبغي أن يُطلب من المريض أن يحضر معه معلومات موعد الفحص ومعلومات الاتصال بالطبيب المُحيل، عند الاقتضاء.
- (١٠) ينبغي في حالة دراسة تركيب الجسم مسح المريض في الصباح بعد الامتناع عن الطعام والشراب لمدة ١٢ ساعة من الليل لتحقيق الاتساق.

وينبغي التحقق من الآتي في يوم الفحص قبل البدء في إجراء المسح:

- (١) امتثال المريض للتوصيات المذكورة أعلاه، وتحديد ما يلي:
 - (أ) ينبغي أن يُسأل المريض عما إذا كان قد خضع لأي إجراءات طبية خلال الأسبوعين السابقين للمسح، مثل إجراءات المسح المقطعي الحاسوبي أو التصوير بالرنين المغناطيسي. وإذا كان المريض قد تلقى أي مادة للتباين (الباريوم أو الجادولينيوم أو غيرهما) ينبغي الانتظار لمدة أسبوعين على الأقل قبل إجراء مسح ديكسا.
 - (ب) ينبغي التأكد مجدداً من حالة الطمث والتأكد من إجراء اختبار الحمل أو سؤال المريضة عن احتمالات الحمل.
- (٢) ينبغي أن يرتدي الشخص المراد فحصه رداء المستشفى أو بذلة الفحص وألاً يرتدي تحتها سوى الملابس الداخلية وجورب خفيف عند اللزوم. ويمكن تغطية الشخص بغطاء خفيف حتى لا يشعر بالبرد.
- (٣) ينبغي إزالة كل المواد المعتمدة للأشعة من منطقة المسح (الصدريات المزودة بسلك، والحلي، والأحزمة، وما إلى ذلك).
- (٤) ينبغي في مسوح المتابعة طبع صور مسح خط الأساس لضمان تماثل وضعية المريض وبارامترات المسح.

٢-٢-٥ مسح المريض

وضعية المسح هي العامل الأكثر شيوعاً على الإطلاق في تقييد دقة المسح. وتبلغ عموماً نسبة عدم دقة الكثافة المساحية لمعادن العظام في مسح الفانتوم الذي لا يعاد فيه ضبط الوضع ٠,٥ في المائة. وتبلغ عموماً نسبة عدم الدقة في مسح العمود الفقري

من الأمام والخلف في الشخص الحيّ عند إجراء المسح على نفس منطقة القياس ١ أو ١,٥ في المائة بسبب الأخطاء المرتبطة بالاختلافات الطفيفة في مسقط عظام المريض. وتتسبب حركة المريض في أثناء المسح في تغيير إسقاط العظام والأنسجة الرخوة، وهو ما يؤدي إلى تغيير طفيف في إسقاط الصورة. وقد يتعذر اكتشاف التغييرات في وضعية المسح الأساسي ومسح المتابعة. ويمكن في العادة التقليل إلى أدنى حد من هذا الخطأ وكذلك عدم دقة تحديد المنطقة ذات الاهتمام عن طريق التدريب.

ملحوظة: من المهم عند مسح الشخص موضوع الفحص ألا يغيب عن الحسبان أن إعادة المسح فوراً في حال اكتشاف مشكلة يستغرق وقتاً أقل بكثير من طلب إعادة إجراء المسح في يوم آخر.

وفيما يلي الطريقة المنهجية لتحديد وضع المريض:

- (١) ينبغي دوماً استخدام نفس طريقة المسح في أثناء المسح الأساسي للمريض وفي أثناء زيارات المتابعة (أي 'المصفوفة' مقابل 'المصفوفة السريعة' و'السميك' مقابل 'المعياري'، وما إلى ذلك).
- (٢) يفضل في معظم الحالات أن يكون عرض وطول المسح بنفس الإعدادات الأصلية.
- (٣) قد يلزم في مسح الفقرات القطنية من الأمام والخلف استخدام مكعب ضبط الوضع لإزالة انحناء أسفل الظهر. ويجب أن يكون العمود الفقري مستقيماً وفي وسط حقل المسح.
- (٤) يجب عند مسح الفخذ تدوير عظمة الفخذ وإبقائها في هذا الوضع باستخدام جهاز لضبط الوضع. وتوجد أيضاً بروتوكولات مزدوجة لمسح عظام الفخذين في آن واحد. على أنه قد يلزم تعديل جهاز ضبط الأوضاع فيما بين عمليات المسح حتى يمكن المباشرة بين الوركين بالشكل الصحيح عند إجراء مسح لهما.
- (٥) يجلس المريض في أثناء مسح الساعد على مقعد غير متحرك. وقد يتعذر ذلك بالنسبة للأشخاص قصار القامة. وبالنسبة للأطفال، قد يكون من الأنسب أن يتمدد الطفل مستلقياً على بطنه فوق الطاولة مع مد الساعد فوق الرأس، أو أن يستلقي على ظهره باسطاً ذراعه المراد مسحها بعيداً عن جانبه. وقد يتطلب ذلك وضع المريض باتجاه مؤخرة الطاولة للحصول على إسقاط صحيح باستخدام طريقة المسح (البصري/اليمنى) الصحيحة.
- (٦) مسح الجسم بكامله هو الأصعب وينطوي على أكبر التحديات التقنية. ويرجى الرجوع إلى الشكل ١٤ للتعرف على وضع الجسم بكامله. وينبغي وضع الشخص في مركز الطاولة بحيث يكون جسمه موازياً للمحور الطولي للماسح وأن يكون رأسه قريباً من مقدمة الطاولة. ويجب أن يكون رأس الشخص متجهاً

إلى أعلى في خط مستقيم وألاً يستدير يساراً أو يميناً. وينبغي ألا تُستخدم سوى الوسائد الشفافة للأشعة إذا اقتضت راحة الشخص ذلك. على أنه ينبغي عند استخدام الوسائد تدوين ملاحظة لكي تُستخدم نفس الوسادة مرة أخرى في أثناء قياسات المتابعة:

(أ) ينبغي تثبيت الساقين والقدمين معاً بشريط لاصق حول الكاحلين للمساعدة على تجنب الحركة، مع الاحتفاظ بالقدمين في وضع الاسترخاء، وتوجيه أصابع القدمين إلى أعلى (الشكل ١٥).

(ب) ينبغي بسط راحتي اليدين فوق سطح طاولة المسح. وينبغي الاحتفاظ بمسافة بين الذراعين والجذع عند الإمكان. ويمكن للأشخاص الأكبر حجماً أو الأثقل وزناً وضع اليدين إلى الجنب بجوار الورك عند اللزوم. وينبغي عدم إسناد اليدين تحت عظامتي الفخذ حتى تبقىان في حقل المسح. وتثبت اليدين فوق طاولة المسح بشريط عند اللزوم. ويمكن للمريض الذي يزيد طوله عن حدود المسح إخراج القدمين عن خط الحد الأدنى للمسح. وينبغي عدم ثني الركبتين حتى تبقى القدمان داخل حقل المسح.

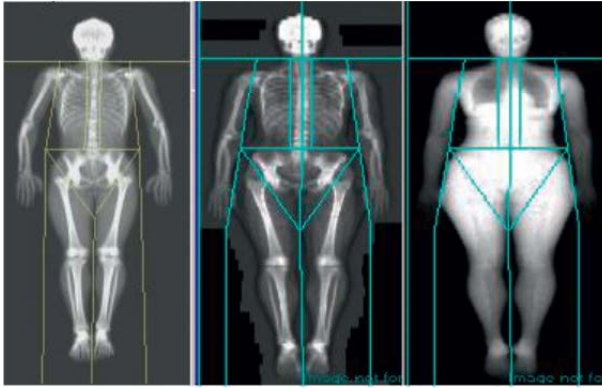
(٧) وينبغي في كل الطرق رصد المسح في أثناء الحصول على الصور. وإذا لم يكن الوضع صحيحاً أو إذا تحرك الشخص موضوع الفحص، أو ما إلى ذلك، ينبغي إلغاء المسح وإعادة ضبط وضع الشخص عند اللزوم وبدء المسح من جديد.

(٨) ينبغي عدم انشغال المريض بالحديث لأن ذلك قد يتسبب في حدوث حركة، وإن كان ينبغي تشجيعه وإطلاعه على آخر مستجدات سير المسح.

(٩) ينبغي بعد المسح وقبل نزول المريض من على طاولة المسح التحقق مرة أخرى من عدم حدوث أي حركة في أثناء المسح. وينبغي إعادة مسح المريض إذا لم يكن المسح صحيحاً.



الشكل ١٤: مثال للوضع السليم لمسح الجسم بكامله باستخدام ماسح من إنتاج شركة هولوجيك (نقلت الصورة عن المحاضرة رقم ٩ التي أقيمت خلال دورة قياس كثافة العظام التي نظمتها الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية، بتصريح من الجمعية).



الشكل ١٥: مثال لوضع سليم تماماً للجسم بكامله. هولوجيك دلفي (يساراً)؛ وصورة للعظام باستخدام نظام جنرال إلكتريك لونار بروديجي (في الوسط)؛ وصورة للنسيج الرخو باستخدام جنرال إلكتريك لونار بروديجي (يميناً). والقدمان والكاحلان مضمومان معاً، وأصابع القدمين في وضع الاسترخاء ومتجهة إلى أعلى؛ ويوجد حيز بين الذراعين والجذع؛ واليدين مبسوطتان على الطاولة؛ والرأس مستقيم؛ والجسم والعمود الفقري مستقيمان في منتصف الطاولة (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٦- تحليل مسح ديكسا

١-٦ التحليل الآلي

تحتوي معظم أجهزة مسح ديكسا على نوع ما من طرق التحديد الآلي لخطوط المنطقة ذات الاهتمام في العمود الفقري والفخذ. وأما بالنسبة للساعد والجسم بكامله فيتعيّن تحديد هذه الخطوط يدوياً. وعلى الرغم من عدم التحرك نحو إحراء توحيد للمناطق ذات الاهتمام فإن هذه المناطق في معظمها متشابهة بين مختلف مصنّعي أجهزة ديكسا. وينبغي الرجوع إلى دليل المالك للاطلاع على التفاصيل المحددة. وفيما يلي قائمة مرجعية لاستعراض المسح من أجل ضمان إجرائه بطريقة صحيحة:

- ينبغي ضمان تحديد الوضع السليم. وهل هو نفسه في خط الأساس؟ وهل هو محدد وفقاً لبروتوكول تحديد الأوضاع المبين أعلاه؟
- ينبغي التحقق من وضع الجسم بكامله داخل حقل المسح. وهل القدمان لا تظهران في حقل المسح؟ وهل يمكن إعادة ضبط وضع المريض حتى يكون جسمه بالكامل داخل حقل المسح؟ وينبغي ملاحظة ما إذا كانت بعض الأجزاء قد خرجت من حدود المسح.
- ينبغي التحقق من عيوب الصورة، بما في ذلك العيوب التي تنشأ عن الأجزاء المزروعة في الجسم. ويتضمن الجدول ٤ قائمة بالعيوب الشائعة في مسح الجسم بكامله.

الجدول ٤: عيوب صور مسح الجسم بكامله

(يتناول القسم المتعلق بالبدانة شرح الإسناد وتحليل المسح النصفى. $B =$ العظم المتأثر بعيوب الصورة، $ST =$ النسيج الرخو المتأثر بعيوب الصورة)

| اسم العيب | ملاحظات | الذراع | الساق | الجدع | الرأس | تحليل المسح الإسناد؟ النصفى؟ |
|------------------------------|--|--------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| بتر | عظم ونسيج مفقود في المنطقة المهمة | B, ST | B, ST | B, ST | نعم | نعم |
| تنبيب داخلي في العمود الفقري | تأثر العظام فقط | | | B | | |
| سوار | تبعاً للحجم وإن كان سيؤثر على المنطقة الموضعية ذات الاهتمام، وليس على الجسم بكامله في العادة | B | | | نعم | نعم |
| ساعة | تبعاً للحجم، وإن كانت ستؤثر على المنطقة الموضعية ذات الاهتمام، ولا تؤثر في العادة على الجسم بكامله | B | | | نعم | نعم |

الجدول ٤ : عيوب صور مسح الجسم بكامله (تابع)

(يتناول القسم المتعلق بالبدانة شرح الإسناد وتحليل المسح النصفى. $B =$ العظم المتأثر بعيوب الصورة، $ST =$ النسيج الرخو المتأثر بعيوب الصورة)

| اسم العيب | ملاحظات | الذراع | الساق | الجزع | الرأس | تحليل المسح الإسناد؟ | النصفى؟ |
|--|--|--------|-------|-------|-------|----------------------|---------|
| جهاز تقوية السمع (خارجي) | حيث توجد البطارية في جيب القميص | B | | | | لا | نعم |
| شعر (غزير، كثيف) | قلماً يمثل مشكلة، ولا يلزم وضع أي رموز | B | | | | لا | نعم |
| وضع اليد | القبضة أو تغيير الوضع يمكن أن يؤثر على المحتوى المعدني لعظام الذراع ولكنه لا يؤثر على الجسم بكامله | B | | | | لا | نعم |
| طوق الكاحل للشخص الموضوع رهن الإقامة الجبرية | لا يؤثر إلا على الساق التي يلبس فيها الطوق | B, ST | | | | لا | نعم |
| جهاز مساعدة سمعية (أذن داخلية) | في العادة أصغر من أن يكون له أي تأثير | | | | | لا | نعم |
| الحركة البدانة | يعاد المسح حيثما أمكن فرط التشوش يمكن أن يضعف دقة الكثافة المساحية لمعادن العظام | B, ST | B, ST | B, ST | B, ST | لا | نعم |
| منظم ضربات القلب | يؤثر على الجزع | B, ST | | | | لا | نعم |
| جهاز استدعاء المنطقة ذات الاهتمام | يؤثر في العادة على عظم ونسيج | B, ST | | | | لا | نعم |
| محفظة نقود | تؤثر في العادة على عظم ونسيج المنطقة ذات الاهتمام | ST | | | | لا | نعم |
| مسح غير مكتمل | يعاد المسح حيثما أمكن | B, ST | B, ST | B, ST | B, ST | لا | نعم |
| زراعة عمودية جبيرة (جبس/زجاج ليفي) | تتوقف على المنطقة التي توجد فيها الجبيرة، وتتأثر بها العظام والأنسجة (الرمز ١) | B, ST | B, ST | | | لا | نعم |
| ترقيع الحوض | تأثير ضعيف أو بدون أي تأثير | B | | | | لا | نعم |
| ثقوب خاتم | تأثير ضعيف في العادة على الكثافة المساحية لمعادن العظام الذراع | | | | | لا | نعم |

الجدول ٤: عيوب صور مسح الجسم بكامله (تابع)

(يتناول القسم المتعلق بالبدانة شرح الإسناد وتحليل المسح النصفى. $B =$ العظم المتأثر بعيوب الصورة، $ST =$ النسيج الرخو المتأثر بعيوب الصورة)

| اسم العيب | ملاحظات | الذراع | الساق | الجذع | الرأس | تحليل المسح الإسناد؟ النصفى؟ |
|--------------------------------------|--|--------|-------|-------|-------|---------------------------------|
| انحناء جانبي | يؤثر نظراً لأن هذا هو القياس الحقيقي للكثافة المساحية لمعادن العظام لدى هذا المريض | | | | | |
| ترقيع الكتف | يمكن أن يضع مواد معدنية في عظام الذراع ومناطق الجذع | B | B | B | لا | نعم |
| زرع الثدي | | | | ST | لا | لا |
| استبدال مفصل الورك (كلياً أو جزئياً) | | B | B | B | نعم | نعم |
| استبدال الركبة (كلياً أو جزئياً) | | B | B | B | نعم | نعم |
| الأزوار | لا تسبب في العادة أي تأثير | | | | لا | لا |
| السحاب | لا يسبب في العادة أي تأثير | | | | لا | لا |

٢-٦ المناطق الخاصة والنتائج المشتقة

١-٢-٦ العضلة الهيكلية

القياس الدقيق للعضلة الهيكلية مهم في الدراسات المتعلقة بالعمليات التغذوية والفسيولوجية وعمليات الأيض. وعلى الرغم من إمكانية قياس العضلة الهيكلية باستخدام المسح المقطعي الحاسوبي أو التصوير بالرنين المغناطيسي فإن هذه التقنيات مكلفة نسبياً وربما يتعذر الحصول على هذه الأجهزة. ويمكن التنبؤ بكتلة العضلة الهيكلية في الجسم بكامله من خلال مسح ديكسا على الجسم بكامله. وكتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون التي تقاس بنظام ديكسا في الجسم بكامله تتألف من كتلة البروتين والماء التي تشكل الجلد والنسيج الضام وعضلات الأطراف والرأس والجذع. وتشكل كتلة الأنسجة الرخوة الطرفية الخالية من الدهون (aLSTM) أساساً كتلة عضلات الذراع والساقين. وقد وضع كيم وآخرون (Kim et al) [٨٥] نموذجاً متعدد المتغيرات للتنبؤ بكتلة العضلة الهيكلية للجسم بكامله من خلال تشخيص كتلة النسيج الرخو الطرفي الخالي من الدهون باستخدام ديكسا. وتألقت المجموعة الإحصائية للنموذج من ٣٢١ رجلاً وامراً يقل مؤشر كتلة جسم كل منهم عن ٣٥ كيلوغراماً/متراً مربعاً، ويبلغون ١٨ عاماً أو أكثر، وينتمون إلى خلفيات عرقية متنوعة تشمل أمريكيين من أصل أفريقي، وآسيويين، وقوقازيين،

وأشخاص من أصل إسباني يعيشون في الولايات المتحدة الأمريكية. وأجري مسح لجميع هؤلاء الأشخاص باستخدام جهاز ديكسا من طراز لونار (الإصدار ٣,٦) وكذلك عن طريق التصوير بالرنين المغناطيسي. وتآلف بروتوكول ديكسا من مسح وحيد للجسم بكامله حيث عُزل الذراعان والساقان عن الجذع، وأجري تحليل باستخدام المناطق القياسية ذات الاهتمام في الجسم بكامله. وحُدِدت كتلة النسيج الرخو الطرفي الخالية من الدهون (الأنسجة الرخوة الطرفية الخالية من الدهون في كيم وآخرين [٨٥]) من مجموع كتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون في الذراعين الأيمن والأيسر والساقين اليمنى واليسرى. وأجري مسح بالرنين المغناطيسي في جهاز من طراز GE 1.5 T 6X Horizon باستخدام بروتوكول من ٤٠ شريحة بسماكة مقدارها ١٠ ملليمترات كل ٤٠ ملليمتر كما هو مبين في روس (Ross) [٨٦]. واستخلص حجم العضلة من صورة الرنين المغناطيسي بتحديد العضلة في كل شريحة وتحويلها إلى كتلة باستخدام كثافة عضلية قدرها ١,٠٤ غرام/سم^٣. وخلص كيم إلى أن أفضل نموذج للتنبؤ بالعضلة الهيكلية للجسم بكامله هو:

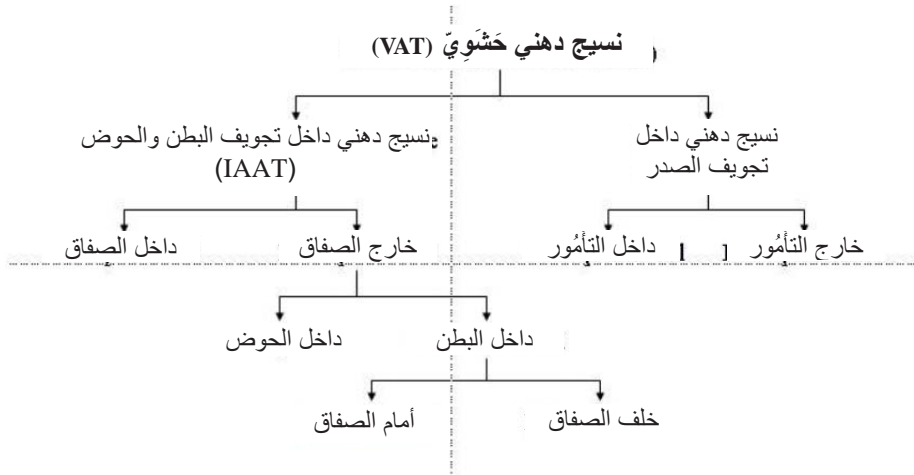
$$\text{Total body SM} = 1.13\text{aLSTM} - 0.02\text{age} + 0.61\text{sex} + 0.97(r_{\text{adj}}^2 = 0.96) \quad (21)$$

حيث الجنس يساوي صفرًا في الإناث و١ في الذكور، والعمر ≤ ١٨ . وبلغ خطأ التقدير المعياري ١,٥٨ كيلوغرام، وهي نسبة تضاهي قيم أخطاء التقدير المعياري في النماذج الأخرى التي تتنبأ بالعضلة الهيكلية في الجسم كله باستخدام الأشكال البشرية (٢,٨ كيلوغرام)، والمعاوقة الحيوية (٢,٧ كيلوغرام) وثلاثي ميثيل هستدين البول (٢,٣ كيلوغرام) والكرياتين (١,٩ كيلوغرام) [٨٥]. على أن هذه العلاقة قد تختلف في نظم ديكسا الأخرى وفي المجموعات الإحصائية الأخرى.

٦-٢-٢ النسيج الدهني

يتألف النسيج الدهني من الدهون (٨٥%)، والبروتينات والمعادن (٣%) والماء (١٢%) [٨٧، ٨٨]. ويسفر ذلك عن كثافة مادية بنحو ٠,٩٢ كيلوغرام/لتر. ومن المهم ملاحظة أن تقنية ديكسا بحكم طبيعتها تقيس تحديداً مجموع كتلة الدهون ولا تقيس النسيج الدهني. على أن معظم الباحثين يهتمون بالوظيفة الأيضية. ويمكن فصل الدهون تشريحياً لدراسة وظيفتها الأيضية. ويتضمن الجدول ٥ قائمة بمصطلحات مقترحة من شن وآخرين (Shen et al) [٨٩] وتعريفها لاستخدامها كمعايير للمصطلحات.

ويوجد النسيج الحشويّ أو النسيج الدهني في كل تجاويف الجسم الثلاثة، أي داخل الصدر (ITAT)، وداخل البطن (IAAT) وداخل الحوض (IPAT). على أن معظم الباحثين يشيرون إلى الأنسجة الدهنية الحشويّة باعتبارها أنسجة داخل الصدر أو أنها مجموع أنسجة تجويفي الصدر والحوض معاً. ويبين الرسم التخطيطي في الشكل ١٦ توزيع المصطلحات المقترحة من شن وآخرين لمكونات النسيج الدهني الحشويّ [٨٩].



الشكل ١٦: تصنيف الأنسجة الدهنية الحشوية وفقاً لتعريف شن وآخرين [٩٠].

الجدول ٥: التصنيف المقترح للأنسجة الدهنية في الجسم بكامله (نقلاً عن شن وآخرين [٨٩])

| التعريف | مكون الأنسجة الدهنية |
|---|--|
| مجموع الأنسجة الدهنية ويستبعد منها في العادة نخاع العظام والأنسجة الدهنية في الرأس واليدين والقدمين. | مجموع النسيج الدهني |
| الطبقة الواقعة بين الأدمة والصفاق، ولفافة العضلات؛ وتشمل الأنسجة الدهنية الثديية. | الأنسجة الدهنية الواقعة تحت الجلد |
| الطبقة الواقعة بين الجلد والمستوى اللفافي في الجذع الأسفل ومنطقة الفخذ الألوئي. | الأنسجة الدهنية السطحية تحت الجلد |
| الطبقة الواقعة بين اللفافة العضلية والمستوى اللفافي في الجذع الأسفل والفخذ الألوئي. | الأنسجة الدهنية العميقة تحت الجلد |
| مجموع الأنسجة الدهنية مطروحاً منه الأنسجة الدهنية الواقعة تحت الجلد. | الأنسجة الدهنية الداخلية |
| الأنسجة الدهنية الواقعة في الصدر والبطن والحوض | (١) الأنسجة الدهنية الحشوية |
| الأنسجة الدهنية الداخلية مطروحاً منها الأنسجة الدهنية الحشوية | (٢) الأنسجة الدهنية الداخلية غير الحشوية |
| الأنسجة الدهنية الموجودة داخل العضلة (بين الحزيمتين). | (أ) أنسجة دهنية في العضلات |
| الأنسجة الدهنية الواقعة داخل لفاة العضلة (اللفافة العميقة) بدون الأنسجة الدهنية الواقعة داخل العضلات. | (ب) أنسجة دهنية محيطة بالعضلات |
| نسيج دهني واقع بين العضلات. | '١' نسيج دهني بين العضلات |
| نسيج دهني في الحيز الواقع بين العضلات والعظم (مثل الأنسجة الدهنية المجاورة للفقرات). | '٢' نسيج دهني مجاور للعظم |
| نسيج دهني حجاجي؛ وهو نسيج دهني زائغ مرتبط بحالة مرضية (مثل الورم الدهني). | (ج) نسيج دهني آخر غير حشوي |

ومن الواضح أن نظام ديكسا لا يمكن أن يقيس مكونات الأنسجة الدهنية المتداخلة، ولكنه يُستخدم لتحديد فائدة تلك المكونات في رصد مكونات مختارة من الأنسجة الدهنية المهمة في أمراض معينة.

٦-٢-٣ النسيج الدهني داخل تجويف البطن وقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة

تعرف الأنسجة الواقعة داخل تجويف البطن في المصطلحات الواردة أعلاه بأنها الشحوم الدهنية الواقعة في تجويف البطن والحوض. وتبين أن ارتباط هذه الأنسجة بمقاومة الأنسولين أقوى مما في الأنسجة الدهنية الواقعة تحت الجلد [٩٠]. ويمكن إجراء قياسات للشحوم الدهنية الواقعة في تجويف البطن والحوض باستخدام الرنين المغناطيسي/المسح المقطعي الحاسوبي الحجمي أو الشرائح الوحيدة. وبالرغم من تباين بروتوكولات التصوير بالرنين المغناطيسي/المسح المقطعي الحاسوبي فإن الأسلوب الشائع في البحوث المتعلقة بهذا الموضوع هو أخذ شريحة واحدة من المسح المقطعي الحاسوبي. ويتم إجراء مسح للمرضى وهم في وضع الاستلقاء على الظهر مع فرد الذراعين فوق الرأس وارتداء ثياب خفيفة. وقد يتباين سُمك الشريحة ولكنه يتراوح تقريباً بين ٤ و ١٠ ملم، وتوضع الشريحة في المركز باستخدام حيز فقري مثل الحيز الواقع بين الفقرتين القطنيتين الثالثة والرابعة. ويستخدم في معظم الحالات منسوب واحد لتتبع الصفاق على طول التجويف البطني لفصل الأنسجة الدهنية في البطن والحوض عن الأنسجة الدهنية الواقعة تحت الجلد. ويفضل عموماً تكرار هذا النوع من القياس باستخدام المسح المقطعي الحاسوبي بدلاً من الرنين المغناطيسي (٢%) [٩١] مقابل ما يتراوح بين ٩ و ١٨ في المائة [٩٢-٩٥] على التوالي).

واشتق هيل وآخرون (Hill et al. 2007) [٩٦] مقياساً يكافئ مساحة الشحوم الدهنية في تجويف البطن والحوض في شريحة المسح المقطعي الحاسوبي للفقرة القطنية الثالثة/الرابعة باستخدام مسح ديكسا على الجسم بكامله، ومقياس لطيات الجلد لدى النساء في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث. وأُجريت قياسات تركيب الجسم الثلاثة في إحدى وأربعين امرأة في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث ويتراوح مؤشر كتلة الجسم لديهن بين ٢٦ و ٣٧. وتبين أن العلاقة بين هذه القياسات على النحو التالي:

$$\text{IAAT area (cm}^2\text{)} = 51.84 + 0.031 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \text{FM}_{\text{abdominal}} + 1.342 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{mm}} \right) \text{abdominal skinfold}$$

(٢٢)

وُحُدَّت قيمة $FM_{abdominal}$ بأنها كتلة الشحوم المقاسة في مسح ديكسا بالغرام في منطقة بطول ١٠ سنتيمترات في أعلى العُرف الحُرْقَفِيّ وتمتد إلى حافة النسيج الرخو البطني (باستخدام نظام Lunar Prodigy والإصدار رقم ٧,٥٢ من البرنامج الحاسوبي). ويلاحظ أن المنطقة التي أُجريَ لها فحص باستخدام ديكسا شملت مستوى شريحة المسح المقطعي الحاسوبي للفترة القطنية الثالثة/الرابعة، وتبيّن أن معامل تغيّر قياساتها المتكررة يبلغ ٢,٦ في المائة. وأجري قياس طيات الجلد البطني في ثنية رأسية على مسافة ٥ سنتيمترات إلى يمين السرة باستخدام فرجار هاربندين. وارتبط هذا النموذج المتعدد المتغيرات بالمسح المقطعي الحاسوبي للأنسجة الدهنية داخل البطن حيث بلغ معامل ارتباط بيرسون $r = ٠,٨٢$ وخطأ التقدير المعياري ٢٢,٣ سم^٢ (١٧%). ويتناسب النموذج مع المسح المقطعي الحاسوبي أكثر من التقديرات الأخرى التي أُجريت في الدراسة للأنسجة الدهنية في البطن، بما في ذلك محيط الخصر ($r = ٠,٧٤$)، والمنطقة البالغ طولها ١٠ ملليمترات وحدها باستخدام تقنية ديكسا ($r = ٠,٧٨٢$) وثنية الجلد البطني وحدها ($r = ٠,٦٠$).

وقارنت تروث وآخرون (Treuth et al) [٩٧] قياسات المسح المقطعي الحاسوبي للأنسجة الدهنية في البطن مع قياسات ديكسا في نساء متفاوتات من حيث الفئة العمرية (١٧ إلى ٧٧ عاماً) ومؤشر كتلة الجسم (١٧ إلى ٤٣ كغ/م^٢). وبالرغم من عدم وضع تعريف واضح فقد استخدم تروث وآخرون، فيما يبدو، تعريفاً للنسيج الدهني داخل البطن باعتباره مساحة خلية الصورة في شريحة المسح المقطعي الحاسوبي المظلمة في تجويف البطن عندما حُدَّت الأنسجة الدهنية كخلايا في الصورة باستخدام وحدات هاونسفيلد تتراوح بين ١٩٠- و ٣٠٠. وبلغ سُمك شريحة المسح المقطعي الحاسوبي ٥ ملليمترات في مركز الفجوة الواقعة بين الفقرتين القُطْنِيَتَيْنِ الرابعة والخامسة من العمود الفقري. واشتقت روث نموذجاً متعدد المتغيرات، بما في ذلك القطر السهمي (القطر عند السرة في وضع الاستلقاء على الظهر، بالسنتيمتر)، والعمر، ومحيط الخصر (أضيق جزء من الجذع، بالسنتيمتر)، والنسبة المئوية لكتلة شحوم الجذع والحوض المحددة لقياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة (باستخدام جهاز GE Lunar DPX-L دون تحديد نسخة البرنامج الحاسوبي). وفيما يلي معادلة تروث:

$$\begin{aligned} \text{IAAT area (cm}^2\text{)} = & -208.2 + 0.78 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) FM_{\text{trunk}} \\ & + 4.62 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \right) \text{sagittal diameter} \\ & + 0.75 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{y}} \right) \text{age} + 1.73 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \right) \text{waist} \end{aligned}$$

(٢٣)

وارتبطت علاقة تروث بمعامل ارتباط $r^2 = 0.81$ وخطأ تقدير معياري قيمته ٢٣,٣ سم^٢. واختبرت تروث مناطق خاصة مماثلة، مثل مناطق هيل (Hill) وثنيات الجلد؛ على أن تلك المناطق لم تصمد في تحليلها. ووضع سفندسن (Svendsen) [٩٨] معادلة تقتصر على النساء في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث:

$$\begin{aligned} \text{IAAT area (cm}^2\text{)} = & -503.0 + 23.4 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \text{FM}_{\text{abdominal}} \\ & + 508.2 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \right) \text{WHR} + 36.3 \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} \right) \log \sum \text{skinfolds} \end{aligned} \quad (٢٤)$$

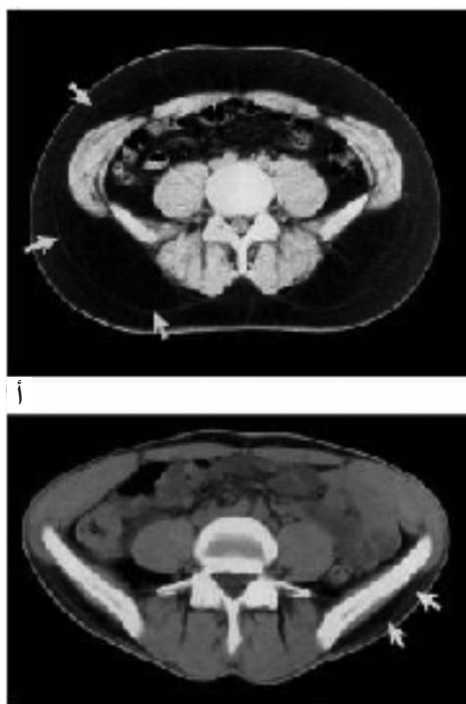
حيث $\text{FM}_{\text{abdominal}}$ منطقة فرعية فحصت باستخدام نظام ديكسا وقيست باستخدام منطقة مهمة مربعة في الفقرات القطنية، و WHR = نسبة الخصر إلى الورك، و 'skinfolds' = مجموع سمك ثنيات الجلد في منطقة البطن فوق الحرقفة وتحت الكتف. وأشار سفندسن إلى أن $r^2 = 0.91$ بالنسبة لمنطقة الأنسجة الدهنية في تجويف البطن المشخصة باستخدام المسح المقطعي الحاسوبي.

وعلى غرار الدراسة التي أجراها هيل وآخرون، أشار كامل وآخرون (Kamel et al) [٩٩] إلى أن قياسات ديكسا تتفق مع قياسات المسح المقطعي الحاسوبي أكثر من اتفاقها مع قياسات الأشكال البشرية. ومع ذلك فقد كانت هناك فروق مهمة، حيث استخدم التصوير بالرنين المغناطيسي في دراسة كامل وآخرين بدلاً من المسح المقطعي الحاسوبي، واستخدمت سبع شرائح بسمك ١٠ ملليمترات، أربع منها فوق الشريحة الموضوعة على الحيز الواقع بين الفقرتين القطنيتين الرابعة والخامسة وشريحتان تحتها، لتحديد الأنسجة الدهنية في تجويف البطن مقابل شريحة واحدة للسرّة، وفحصت منطقة محورية غير ممتدة إلى الحافة البطنية ولكنها تمتد إلى القفص الصدري. وبهذه التعاريف فإن منطقة الأنسجة الدهنية المحورية المحددة باستخدام ديكسا، ومحيط الخصر، ونسبة الخصر إلى الورك، تشابهت جميعاً من حيث ارتباطها بالأنسجة الدهنية في التجويف البطني باستخدام الرنين المغناطيسي ($r = 0.74, 0.75, 0.70$). على التوالي في النساء وبقدر أقل في الرجال). على أنه يتعذر إجراء مقارنة بين دراستي كامل وهيل بسبب التصميم الذي تنفرد به كل دراسة.

٤-٢-٦ النسيج الدهني تحت الجلدي

يتبيّن من الجدول ٥ أن النسيج الدهني تحت الجلدي في الجذع الأسفل والمنطقة الألوئية من الفخذ يمكن تقسيمها إلى نسيج دهني سطحي ونسيج دهني عميق تحت الجلد يفصل بينهما مستوى لفاي (الشكل ١٧). ويقع النسيج الدهني العميق تحت الجلدي أساساً في النصف الخلفي من البطن، بينما يتوزّع النسيج الدهني السطحي تحت الجلدي باتساق أكثر حول محيط البطن [٨٩، ١٠٠]. وأشارت التقارير إلى اختلافات بين هاتين الطبقتين

من الأنسجة الدهنية [٨٩، ١٠١-١٠٣]. وتبيّن وجود ارتباطات قوية بين النسيج الدهني العميق تحت الجلدي ومقاومة الأنسولين لدى الرجال والنساء، بينما كشف النسيج الدهني السطحي تحت الجلدي عن ضعف أو انعدام الارتباط [١٠٠]. وبالتالي فإن قياس النسيج الدهني تحت الجلدي دون التمييز بين هذين المكونين الفرعيين يؤدي إلى إضعاف العلاقة. وبالنظر كذلك إلى أن مسح ديكسا للجسم بكامله لا يمكنها تحديد المستوى اللفافي الفاصل، وبالنظر أيضاً إلى تداخل النسيج الدهني السطحي والعميق تحت الجلدي في صور ديكسا فمن غير المرجح أن تنفرد نُظم ديكسا بالقدرة على تحديد أي من المكونين.



الشكل ١٧: صور مقطعية حاسوبية محورية للبطن في (أ) شخص بدين و(ب) شخص نحيف. ويقسم النسيج الدهني تحت الجلدي إلى نسيج دهني سطحي ونسيج دهني عميق تحت الجلد يفصل بينهما مستوى لفاي، كما هو موضح بالأسهم البيضاء [٨٩]. ولا يمكن على الأرجح استخدام نُظم ديكسا للتمييز بين النسيج الدهني السطحي والنسيج الدهني العميق تحت الجلد (بتصريح من مركز بحوث البدانة).

وفُحصت الأنسجة الدهنية الواقعة تحت الجلد في منطقة البطن في دراسة هيل المشار إليها أعلاه. وتبيّن أن ارتباط منطقة الأنسجة الدهنية الكلية تحت الجلد في منطقة البطن المحددة باستخدام المسح المقطعي الحاسوبي مقارنةً بديكسا يبلغ $r = 0.788$ ، بينما

بلغ محيط الورك البسيط $r = 0,826$. وبالتالي لم تكن هناك أي فائدة من قياس النسيج الدهني تحت الجلدي باستخدام ديكسا مقارنة بقياس محيط الورك البسيط نسبياً.

٥-٢-٦ الكثافة المعيارية لمعادن العظام

هناك اختلافات منهجية بين المصنّعين في تحديد قيم كثافة معادن العظام. ولذلك لا يمكن مقارنة قيم كثافة معادن العظام بين المصنّعين ولا يمكن أن يحل بعضها محل الآخر. وبالتالي لا يمكن مقارنة قياسات نفس المريض باستخدام نظامين مختلفين لحساب التغيّر في كثافة العظام. وجرّت محاولات لاستبعاد متوسط الفروق في المعايرة. وقارن جينانت وآخرون (Genant et al) [٢٧] أكبر ثلاثة من مصنّعي نظم ديكسا عن طريق مسح ١٠٠ امرأة بكل نظام واشتقت وحدات الكثافة المعيارية لمعادن العظام في العمود الفقري. واشتق لو وآخرون (Lu et al) [١٠٦، ١٠٥] معادلات للورك، واشتق شيبيرد وآخرون (Shepherd et al) [١٠٧] معادلات للساعد. ويبين الجدول ٦ معادلات الورك والعمود الفقري. ويقلص استخدام الكثافة المعيارية لمعادن العظام الاختلافات بين الأجهزة بدرجة كبيرة. مثال ذلك أن الفرق في الكثافة المساحية لمعادن العظام بين نظامي هولوجيك وجنرال إلكتريك، وهو فرق تبلغ نسبته ١٠ في المائة، ينخفض ليصل إلى ٢ في المائة تقريباً عندما تستخدم الكثافة المعيارية لمعادن العظام [٢٧]. ومع ذلك لم تكن هناك أي محاولة لإجراء توحيد معياري للمحتوى المعدني في العظام، ولم تشتق قيم الكثافة المعيارية لمعادن العظام في مناطق الجسم المهمة الأخرى، بما فيها العمود الفقري من الجهة الجانبية، أو الأصابع، أو العقب، أو الجسم بكامله. ويلاحظ أنه إذا أردنا المقارنة بين قيمتين مشتقتين من جهازين محددين لقياس الكثافة، يجب إجراء معايرة مقارنة لفهم الفروق المحددة بين النظامين.

الجدول ٦: معادلات اشتقاق الكثافة المعيارية لمعادن العظام في العمود الفقري بكامله، الورك بكامله، والمذّور، وعنق عظم الفخذ. وتستخدم البارامترات الواردة في الجدول مع هذه المعادلة: الكثافة المعيارية لمعادن العظام = ١٠٠٠
(كثافة معادن العظام $A + B \times$) [١٠٥]

| الشركة المصنعة | البارامتر | العمود الفقري بكامله | عنق عظم الفخذ | المذّور | الورك بكامله |
|----------------|-----------|----------------------|---------------|---------|--------------|
| هولوجيك | A | ٠,٠١٨ | ٠,٠١٩ | ٠,٠١٧- | ٠,٠٠٦ |
| | B | ١,٠٥٥ | ١,٠٨٧ | ١,١٠٥ | ١,٠٠٨ |
| لونار | A | ٠,٠٢٢- | ٠,٠٢٣- | ٠,٠٤٢- | ٠,٠٣١- |
| | B | ٠,٩٦٨ | ٠,٩٣٩ | ٠,٩٤٩ | ٠,٩٧٩ |
| نورلاند | A | ٠,١٠٠ | ٠,٠٠٦ | ٠,٠٥٧ | ٠,٠٢٦ |
| | B | ٠,٩٧٤٣ | ٠,٩٨٥ | ٠,٩٦١ | ١,٠١٢ |

٦-٢-٦ الكثافة الظاهرية لمعادن العظام

كما جاء من قبل فإن الكثافة المساحية لمعادن العظام التي تقاس بنظام ديكسا هي تقييم ثنائي الأبعاد لا يشمل البعد الثالث أو العمق. وهكذا عندما يقارن شخصان لهما نفس كثافة الكتلة العظمية (كتلة وحدة الحجم باستخدام المسح المقطعي الحاسوبي الكمي) فإن الشخص الأطول من بين المريضين هو الذي تكون له عظام أكبر وبالتالي تكون الكثافة المساحية لمعادن عظامه أكبر عندما تقاس باستخدام نظام ديكسا [١٠٨]. ويرجع ذلك إلى أن الكثافة المساحية لمعادن العظام باستخدام نظام ديكسا لا يمكنها أن تفرق بين العظام الصغيرة المرتفعة الكثافة والعظام الكبيرة المنخفضة الكثافة. ويسفر ذلك عن زيادة منتظمة في تقدير الكثافة المساحية لمعادن العظام باستخدام نظام ديكسا في الأشخاص ذوي العظام الكبيرة، بينما تخفض لدى المرضى ذوي العظام الصغيرة. وفيما يتعلق بالعمود الفقري، اقترح كارتر وآخرون (Carter et al) كَمًّا يطلق عليه الكثافة الظاهرية لمعادن العظام (BMAD)، وتعرف بأنها:

$$BMAD = BMC \times (AREA)^{-1.5} (mg/cm^3) \quad (٢٥)$$

لتصحيح هذا الخطأ. ويمثل ذلك العمود الفقري كحجم مستقيم الخطوط بعمق عظمي يساوي متوسط بُعد الفقرات المسقطة في الصورة. وطَبَّق شيبيرد وآخرون (Shepherd et al) مبدأ الكثافة الظاهرية لمعادن العظام على مسح الجسم بكامله لتقليص تأثير حجم الجسم وتأثير تغْيُر الكسر الكتلي للرأس لدى الأطفال الذين لا يزالون في طور النمو [١٠٩] وهو ما يعرف بالكثافة الظاهرية لمعادن عظام الجسم بكامله. واستخدم هذا النموذج طول الجسم بدون الرأس، وافترض أن عمق الجسم يساوي عرض هيكل الجسم. ومع ذلك لم يثبت أن استخدام الكثافة الظاهرية لمعادن العظام ومعادن عظام الجسم بكامله والنهج المماثلة الأخرى قد حسَّنت من صحة القياسات أو الارتباط بين احتمالات الإصابة بكسور وبين الكثافة المساحية لمعادن العظام [١١٠]. وتخفيض الكثافة الظاهرية لمعادن العظام الارتباط بين الكثافة المساحية لمعادن العظام التي تقاس بنظام ديكسا ووزن الجسم بنسبة ٥٠ في المائة [١١١] مؤيدة بذلك الافتراضات التي ترى أن العلاقة بين الوزن والكثافة المساحية لمعادن العظام باستخدام نظام ديكسا قد ترجع في جانب منها إلى عدم صحة القياس [١١٢].

٦-٣ المرضي البدناء

هناك العديد من التحديات في مسح وتحليل المرضي البدناء. ويكمن التحدي الأول في أن نُظَم ديكسا مقيدة بحدود الوزن وأبعاد الطاولة، مما يحد من حجم الشخص المراد إجراء المسح له (الجدول ٧). ويبلغ الحد الأقصى للوزن المسموح به على طاولة

أجهزة ديكسا عموماً ٣٠٠ باوند (١٣٦ كيلو غراماً). وينبغي الرجوع إلى دليل ديكسا الذي تعدّه الشركات المالكة لمعرفة الوزن المسموح به في النموذج المعين، حيث يمكن لبعض النظم مسح شخص يصل وزنه إلى ٤٥٠ باوند (٢٠٥ كيلو غرامات). والمرضى البدناء 'أكثر سُمكاً' وأكثر توهيناً للأشعة السينية. ولذلك يوفر بعض المصنّعون طرقاً خاصة للمسح وتقنيات للتحليل في حالة هؤلاء المرضى. وتستخدم هذه الطرق عموماً نفس إعدادات الجهد الكهربائي المحددة لأنبوب الأشعة السينية ولكن بزيادة مقدار الأشعة السينية أو بزيادة الوقت اللازم لإجراء المسح لزيادة فيض الأشعة السينية:

الجدول ٧: الوزن وأبعاد الطاولة في أجهزة قياس كثافة العظام الكاملة الحجم حسب الشركة المصنّعة والطراز

(بتصرف عن براونبيل وإليتش (Brownbill and Ilich) [١١٣])

| المصنّع/الطراز | الوزن بالكيلوغرام (باوند) | أبعاد الماسح (سم) |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| جنرال إلكتريك، Lunar iDXA | ٢٠٥ (٤٥٠) | ١٩٧,٥ × ٦٦ |
| جنرال إلكتريك Lunar Prodigy Advance | ١٥٩ (٣٥٠) | ١٩٧,٥ × ٦٠ |
| جنرال إلكتريك Lunar Prodigy | ١٥٩ (٣٥٠) | ١٩٧,٥ × ٦٠ |
| جنرال إلكتريك، Lunar DPX-NT | ١٣٦ (٣٠٠) | ١٩٥ × ٥٧,٦ |
| هولوجيك، Discovery Series | ٢٠٥ (٤٥٠) | ١٩٥,٦ × ٦٧ (A)، ٦٥ (W/Wi) |
| هولوجيك، QDR Series | ١٣٦ (٣٠٠) | ١٩٥,٦ × ٦٧ (A)، ٦٥ (W/Wi) |
| نورلاند، XR-46، XR-36 | ١١٤ (٢٥٠) | ١٩٣ × ٦٤ |

- مستعملو نظم جنرال إلكتريك لوناير: تنبه نظم جنرال إلكتريك تلقائياً المستعمل بالحاجة إلى استخدام طريقة المسح 'السميك' إذا كان وزن المريض يتجاوز مستوى معيناً. وتزيد الجرعة من ٠,٤ ميكرو سيفرت إلى ٠,٨ ميكرو سيفرت.
- مستعملو نظم هولوجيك: توفر شركة هولوجيك طريقة 'عالية القدرة لمسح الجسم بكامله'. وينبغي استخدام هذه الطريقة إذا لوحظت زيادة في تشوش الأشعة السينية في منطقة الجذع. وتزيد الجرعة من ٨,٥ ميكرو سيفرت وتصل إلى ٢٨,٣ ميكرو سيفرت.

ويتعذر في بعض الأحيان وضع المريض البدين في حقل المسح. ويمكن معالجة ذلك بعدة أساليب:

- (١) لف غطاء السرير: يمكن في حالة الأشخاص الذين يزيد حجمهم نوعاً ما عن عرض حقل المسح لف غطاء سرير حولهم لضغط الجسم حتى يدخل ضمن حقل المسح. وعيب هذه التقنية هو عدم إمكانية فصل الذراعين عن الجذع بطريقة سليمة.

(٢) بروتوكول المسح النصفى: يستخدم بروتوكول المسح النصفى عندما يكون وضع المريض خارج خط المركز على طاولة المسح لضمان دخول أحد الجانبين، وهو في العادة الجانب الأيمن، تماماً في حقل المسح (الشكل ١٨ إلى اليمين). وخلص تاتاراني ورافوسين (Tataranni and Ravussin) [١٤] إلى أن درجة صحة نتائج مسح نصف الجسم عند تقييم مكونات الجسم باستخدام ديكسا لا تختلف عن مسح الجسم بكامله ($r^2 \leq 0,98$). وفيما يلي المعادلات المستخدمة لتحديد مكونات الجسم بكامله من خلال المسح النصفى:



الشكل ١٨: مسح غير دقيق بسبب عدم ظهور كلا الذراعين (إلى اليسار). ولا بد من إعادة مسح المريض لتحليل المسح النصفى. ويناسب المسح البديل إسناد قيم الجانب الأيسر (إلى اليمين) (الصور من إهداء ماري ك أوتس، كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية).

معادلات لحساب نتائج الجسم بأكمله من المسح النصفى

$$\text{BMC الجسم بكامله} = \text{BMC نصف الجسم} \times 2$$

$$\text{AREA الجسم بكامله} = \text{AREA نصف الجسم} \times 2$$

$$\text{FM الجسم بكامله} = \text{FM نصف الجسم} \times 2$$

$$\text{LSTM الجسم بكامله} = \text{LSTM نصف الجسم} \times 2$$

وينبغي ملاحظة عدم تغيير معادلات وتعريف الكثافة المساحية لمعادن العظام والنسبة المئوية لكتلة الشحوم. ويمكن في النظم المزودة بطاولة مسح ثابتة وضع نقالة إلى جوار الماسح بنفس ارتفاع الطاولة لتيسير ضبط وضع المريض. ويتطلب التحليل السليم للمسح النصفى أن يشمل البرنامج الحاسوبي المستخدم خط تنصيف لتقسيم الجسم إلى جزأين محوريين (الشكل ١٥، المركز). وإذا لم يكن ذلك الخيار متاحاً فلن يتسنى تحليل المسح النصفى.

(٣) *إسناد قيم الذراعين والساقين:* في حالة عدم توفر أي من الأسلوبين المذكورين أعلاه أو في حالة عدم إمكانية استخدامهما، يمكن زحزحة وضع المريض قليلاً عن المحور بحيث يكون كل جذعه على الطاولة بدون إجراء مسح كامل للذراع الأيسر والساق اليسرى. وتستخدم في هذه الحالة قيم الذراع والساق اليمنى مع الذراع والساق اليسرى. ولا بد من ملاحظة ضرورة إدراج منطقة الجذع بكاملها. والسبب الوحيد لاستخدام هذا الإجراء هو أن مجموعات البرامج الحاسوبية لا تصنف الأنسجة الرخوة في الجذع إلى يمين ويسار (الإصدار ١٢,٥ من برنامج هولوجيك والإصدار الوارد أدناه). ولا تتاح، على حد علمنا، أي طريقة منشورة للثبوت من صحة القيم المسندة، وإن كان من المقبول افتراض أنها لا تختلف من حيث صحتها عن أسلوب المسح النصفى. وتتطوي معادلات الإسناد على تعقيدات أكثر مما في تحليل المسح النصفى، ويعبر عنها بالصيغ التالية:

معادلات حساب نتائج قيم الجسم بكامله بالإسناد من المسح البديل

$$\begin{aligned}
 \text{BMC مسند كلياً} &= \text{BMC محول كلياً} - \text{BMC الساق اليسرى} - \text{BMC الذراع اليسرى} + \text{BMC الذراع اليمنى} \\
 \text{AREA مسند كلياً} &= \text{AREA محول كلياً} - \text{AREA الساق اليسرى} - \text{AREA الذراع اليسرى} + \text{AREA الذراع اليمنى} \\
 \text{FM مسند كلياً} &= \text{FM محول كلياً} - \text{FM الساق اليسرى} - \text{FM الذراع اليسرى} + \text{FM الذراع اليمنى} \\
 \text{LSTM مسند كلياً} &= \text{LSTM محول كلياً} - \text{LSTM الساق اليسرى} - \text{LSTM الذراع اليسرى} + \text{LSTM الذراع اليمنى}
 \end{aligned}$$

وينبغي ملاحظة عدم تغير معادلات وتعريف الكثافة المساحية لمعادن العظام والنسبة المئوية لكتلة الشحوم ومجموع كتلة الجسم.

٤-٦ الأطفال

هناك العديد من الأسباب وراء صعوبة إجراء المسح للأطفال. السبب الأول هو أن الأطفال لا يمكنهم في كثير من الأحيان البقاء في وضع الثبات أو لن يبقوا في وضع الثبات خلال الدقائق الثلاث أو العشر اللازمة لإجراء مسح ديكسا على الجسم بكامله. وتكثر في حالة الأطفال عيوب الصور الناجمة عن الحركة ويمكن أن تتسبب في رفض المسح. والسبب الثاني هو أن طرق المسح المعيارية تناسب كثافات عظام البالغين وأحجام أجسامهم. وأما أحجام العظام الصغيرة وكتلة الأجسام الصغيرة فيمكن أن تشكل تحدياً أمام لوغاريتمات الجسم بكامله من حيث الصحة والدقة. وأخيراً فإن مناطق الجسم المراد مسحها قد لا تكون ملائمة في الأطفال الصغار. ويتناول هذا القسم بروتوكولات مسح الأطفال.

وتستخدم في معظم الأحيان طريقتان لمسح الرضع والأطفال الذين تقل أعمارهم عن ٦ سنوات، هما مسح الجسم بكامله، ومسح العمود الفقري. ويسمح الجسم بكامله بقياس النسيج الرخو ومجموع المحتوى المعدني في العظام. على أنه يتعذر تحقيق مسح للجسم بكامله بجودة مرتفعة بسبب الحركة. ويستغرق مسح الجسم بكامله في العادة ٣ أو ٥ دقائق. ويمكن أن يستغرق مسح العمود الفقري لدى الرضع ١٥ ثانية، ويمكن حمل الطفل الرضيع من الكتفين بحيث تكون الساقان خارج حقل المسح. وقد أجرى W. Koo دراسات موسعة لكثافة العظام لدى الرضع. واستخدم كيو البرتوكول المبين أدناه لمسح الجسم بكامله لدى الرضع الذي تتراوح أعمارهم بين عدة ساعات وسنة واحدة، ويتراوح وزنهم بين كيلو غرامين و ١٢ كيلو غراماً.

بروتوكول مسح الرُضع استناداً إلى كو وآخرين (Koo et al) [١١٥]

- (١) تُغطى منطقة المسح ببطانية من القطن. ويلاحظ أن منصة مسح الأطفال في بعض النظم قد تحتاج إلى تحديد حزمة الأشعة السينية مسبقاً (مثل نظام هولوجيك من طراز QDR-1000/W). وينبغي اتباع تعليمات المصنّع.
- (٢) تُستخدم بروتوكولات ديكسا للجسم بكامله أو العمود الفقري لدى الأطفال الرُضع إن وجدت.
- (٣) يُلف الطفل الرضيع الذي يقل عمره عن ٣ أشهر في بطانية خفيفة من القطن عرضها ٧٠ سنتيمتراً وطولها ٩٠ سنتيمتراً ووزنها ١٢٠ غراماً، أو ما شابه ذلك بدون ثياب إضافية.
- (٤) يُمسح الأطفال الرُضع الذين تزيد أعمارهم على ٣ أشهر وهم يرتدون حفاضة من القطن فقط.
- (٥) يُمسح الأطفال بدون مهدئات أو أربطة إن أمكن.
- (٦) ينبغي محاولة إجراء القياس عندما يهدأ الطفل بعد صدور حركة عفوية منه أو بعد بكاؤه.
- (٧) يُوضع الطفل الرضيع في وضعية الانبطاح على البطن. وينبغي أن يكون الذراعان والساقان متباعدان في وضع الاسترخاء حتى لا يحدث أي تداخل للذراعين والساقين مع أي جزء آخر من الجسم.
- (٨) ينبغي محاولة إجراء المسح ثلاث مرات لحين الحصول على نتيجة مرضية تقنياً. والمسح المرضي تقنياً هو المسح الكامل للرضيع الذي يقل فيه عدد مرات التوقف أو 'الانفصال' عن أربع مرات في الحواف الجانبية للعظام.
- (٩) يمكن تحليل المسح سواء ألياً باستخدام نفس تحليل الكبار البالغين أو باستخدام تحليل المناطق الخاصة ذات الاهتمام.

وخلص كو إلى أن الأجسام غير المعدنية التي يشيع استخدامها مع الأطفال الرُضع الصغار، واللهايات المطاطية، والقسطرة الوريدية، والواسمات البلاستيكية، ومشبك الحبل السري، وأكياس جمع البول، وأنابيب التغذية، لا تؤثر كثيراً على نتائج قياس ديكسا للمحتوى المعدني في عظام الجسم بكامله. ويبدو أيضاً أن البطانيات والحفاضات المصنوعة من القطن ليس لها أي تأثير كبير على المحتوى المعدني في العظام. على أن كو لم يفحص أثر ذلك على مكونات النسيج الرخو، وقد يؤثر ذلك، تبعاً لكتلة هذه الأشياء، على النتائج المتعلقة بالنسيج الرخو. ويجب أن يتسق إجراء المسح في الزيارات وأن يشمل نفس الأدوات الإضافية إن أمكن.

ويتضمن الملحق الثالث قائمة لاستعراض بيانات الأطفال المرجعية المعروفة.

٥-٦ مراقبة الجودة

تستخدم إجراءات مراقبة جودة الماسح لرصد أداء تلك الأجهزة طيلة الدراسة أو في أثناء الاستخدام العام. وتتألف إجراءات مراقبة الجودة الطولية من إجراءات يومية لرصد أداء ماسح واحد بمرور الوقت. وتستخدم إجراءات المعايرة المقارنة لرصد التفاوتات بين نُظم المسح. ومن تدابير مراقبة الجودة الإضافية استخدام تقرير ديكسا (انظر الملحق الأول). ويقوم مشغل مقياس ديكسا باستيفاء التقرير وحفظه شهرياً بالإضافة إلى إعداد نسخة من مسح مراقبة الجودة، بما في ذلك المسح الهوائي لوسائط نقل البيانات المستخدمة في الموقع (الأقراص المضغوطة، والأقراص الفائقة القدرة، والأقراص الرقمية المتعددة الاستخدامات، وما إلى ذلك). وستناقش مراقبة الجودة الطولية والمعايرة المقارنة في هذا القسم.

١-٥-٦ مسح فانتوم العمود الفقري

فيما يلي خطوات مراقبة الجودة في أثناء مسح فانتوم العمود الفقري. ويفترض هذا الإجراء أن بيانات سيرة الفانتوم موجودة بالفعل:

(١) ينبغي التأكد من إدراج الرقم المسلسل للفانتوم في خانة هوية المريض. ويمكن الحصول على هذا الرقم من البطاقة الملصقة على جانب الفانتوم:

(أ) مستعملو نُظم هولوجيك: ينبغي مسح فانتوم العمود الفقري في نظام هولوجيك على الأقل في كل يوم تجري فيه دراسة لمريض، وثلاث مرات على الأقل أسبوعياً.

(ب) مستعملو نُظم جنرال إلكتريك لونار: ينبغي مسح فانتوم العمود الفقري المصنوع من الألومنيوم المستخدم في نظام لونار في كل يوم يجري فيه مسح المريض، وثلاث مرات على الأقل أسبوعياً.

(٢) تُحلل هذه المسموح آلياً وتضاف إلى قاعدة بيانات مراقبة الجودة.

(٣) يُراجع مخطط مراقبة جودة مسح الكثافة المساحية لمعادن العمود الفقري. وإذا خرجت الكثافة المساحية لمعادن العمود الفقري في الفترتين القُطَيبَتَيْن من الأولى إلى الرابعة عن الحدود المقبولة، يُعاد مسح الفانتوم. وإذا خرجت أيضاً الكثافة المساحية لمعادن العمود الفقري في المسح الثاني عن الحدود المقبولة، ينبغي استدعاء مقدم خدمة هذا النظام. وإذا كانت الكثافة المساحية لمعادن العظام في المسح الثاني في الحدود المقبولة، ينبغي مواصلة المسح المعتاد في ذلك اليوم.

(٤) يستوفي المشغل تقرير مقياس كثافة العظام (انظر الملحق الأول) في نهاية كل شهر ويُرفع التقرير بعد ذلك ويودع في سجل ضمان الجودة الخاص بالمركز الطبي. ويتتبع التقرير صيانة وإصلاحات الماسح وتغييرات المشغل التي قد تكون مفيدة لمراجعي الجودة الخارجيين.

٢-٥-٦ إجراء المسح الهوائي (تجانس التصوير الإشعاعي لسطح الطاولة)

يقتصر هذا الاختبار على نُظم هولوجيك التي تستخدم برنامج مسح الجسم بكامله. وينبغي إجراء مسح للطاولة مرة أسبوعياً في نفس اليوم الذي تُمسح فيه العارضة النسيجية.

١-٢-٥-٦ مستعملو النسخة ١٢,١ أو ما فوقها من نظام هولوجيك

يُطلق على هذا الإجراء 'تجانس التصوير الإشعاعي لسطح الطاولة'. ولا يلزم إعداد سيرة في هذا الإجراء.

٢-٢-٥-٦ مستعملو نسخة أقل من ١٢,١ من نظام هولوجيك

(١) يتعيّن أولاً إعداد سيرة المريض على النحو التالي (يستخدم الصفر '0' وليس الحرف 'O'):

الاسم: Air scan

هوية المريض:

الجنس: F

الطبيب المحيل:

تعليق المريض: (Air scan)

(٢) يُزال كل ما على الطاولة ويُجرى مسح لها باستخدام طريقة مسح الجسم بكامله.

(٣) يُفتح الدليل C:\QDR\Utilities باستخدام متصفح وندوز (Windows Explorer).

(٤) تُنسخ أيقونة الخدمة إلى سطح المكتب في الحاسوب كمختصر (ينبغي أن تظل تلك الأيقونة على سطح المكتب).

(٥) ينبغي الدخول إلى برنامج هولوجيك بالطريقة المعتادة.

(٦) ينبغي إجراء مسح هوائي حسب ما هو مبين أعلاه.

(٧) ينبغي الخروج من برنامج هولوجيك بدون إغلاق الجهاز.

(٨) يُنقر مرتين على المسار المختصر لأيقونة الخدمة للرجوع إلى برنامج هولوجيك في وضع الخدمة.

(٩) ينبغي اختيار Utilities->Service utilities->Table top radiographic uniformity من القائمة الموجودة في أعلى الشاشة.

(١٠) ينبغي اختيار آخر مسح هوائي والضغط على OK.

(١١) ستظهر صورة للمسح الهوائي وستطبع صورة على غرار الصورة الواردة أدناه. ولا تبدو الصورة عموماً جميلة بدرجة كبيرة، ولكنها تبدو على أحسن تقدير في شكل 'تشويش أبيض' عشوائي (مثل التشويش الذي يظهر على شاشة جهاز التليفزيون)؛ (الشكل ١٩). وقد تظهر خطوط في شكل خيوط في الصورة.

تاريخ التقرير: ٢٠٠٢/٨/٨

المسح المختار = P:\DXA_DATA\CTASC\PA02626A.R0P

مجموع النقاط لكل مرحلة في الصف: ١٠٩

مجموع الخطوط في العمود: ١٥٠

الخطوط التي يزيد انحرافها المعياري عن ٢

| الخط المرحلي | المتوسط | الانحراف المعياري | الحد الأدنى | الحد الأقصى |
|----------------------|---------|-------------------|-------------|-------------|
| الإحصاءات الإجمالية: | ٥٨٦,٩٢ | ١,٠٣ | ٥٨٢ | ٥٩٠ |



الشكل ١٩: مسح هوائي باستخدام جهاز هولوجيك لمسح الجسم بكامله. ويتم هذا النوع من المسح بدون وضع أي جسم في حقل المسح لاختبار مدى انتظام خلفية المسح. وتمثل الصورة الواقعة إلى اليسار درجة جيدة من الانتظام بانحراف معياري شامل قدره ١. وأما الصورة الواقعة إلى اليمين فهي غير منتظمة وذلك على الأرجح بسبب عدم دقة ضبط الفتحة. وبلغ الانحراف المعياري الشامل فيها ١١,٩ وبالتالي فهي لا تجتاز اختبار الجودة المبني في القسم ٦-٥-٢ (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

(١٢) إذا كان الانحراف المعياري الشامل أقل من ٢,٠ فإن ذلك معناه أن الماسح يعمل بشكل سليم.

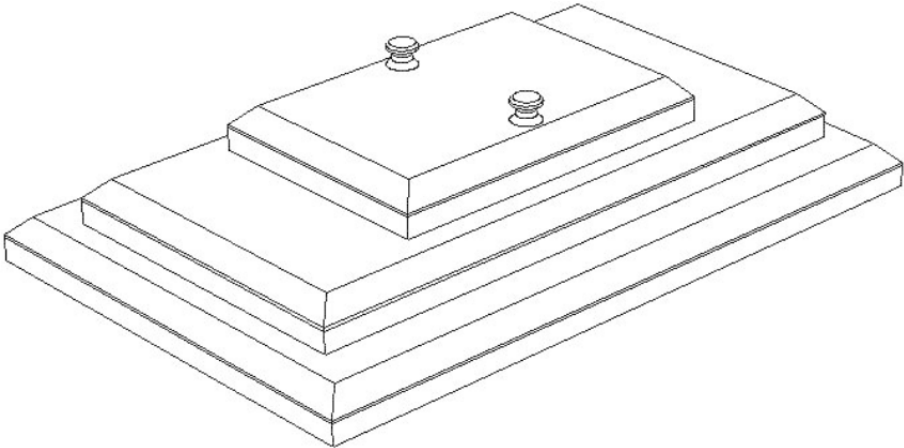
(١٣) إذا زادت النتيجة عن ٢,٠، يُعاد المسح الهوائي وتُراجع النتائج. وإذا ظل الانحراف المعياري أكثر من ٢,٠، تُرسل هذه النتائج إلى ممثل مقدم الخدمة لاستعراضها فوراً. ويرد أعلاه الرقم المطلوب النظر فيه بحروف سمكية (١,٠٣ في هذا المثال).

(١٤) لا يلزم إجراء أي تحليل آخر لهذه الصور.

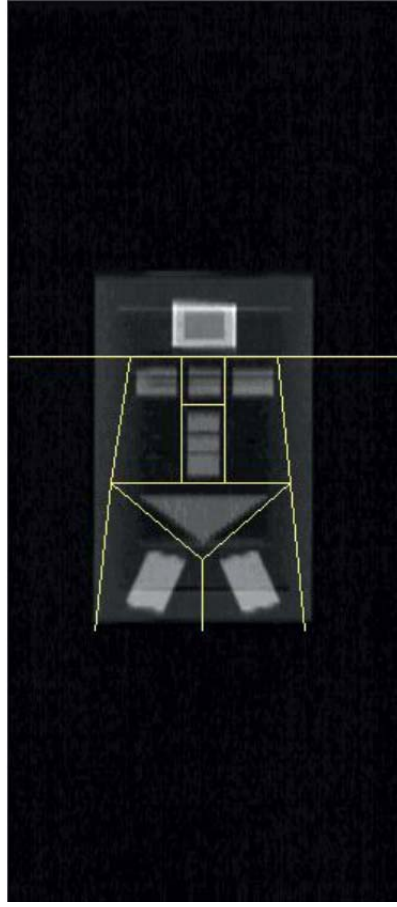
٣-٥-٦ مراقبة جودة ديكسا للجسم بكامله

هناك القليل من الخيارات لمراقبة جودة ديكسا للجسم بكامله. وتشمل الفانتومات المتاحة تجارياً فانتوم الجسم بكامله من إنتاج شركة هولوجيك، وفانتوم التركيب المتغير من إنتاج شركة بايوإميجنج للتصوير الحيوي (Bioimaging)، ولثام، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية)، ونموذج الجسم بكامله من إنتاج شركة أورثوميتريكس (OrthoMetrics, Inc.)، وايت بلينز، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية). واستخدمت كل الفانتومات في تصحيح المعايرة الطولية والمعايرة المقارنة بين النظم المتماثلة. ولم يثبت حتى الآن ملائمة أي فانتوم للمعايرة المقارنة بين النظم المختلفة الصنع والطرز.

ويبين الشكل ٢٠ فانتوم هولوجيك المجمع. ويعرض الشكل ٢١ صورة تبين قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة في الفانتوم. ويبلغ وزن الفانتوم ٤٠ كيلوغراماً بعد تجميعه. وينبغي قبل رفعه أو نقله تفكيكه إلى عناصره التي يتكون منها. وينبغي عدم محاولة رفع الفانتوم المجمع بكامله.



الشكل ٢٠: فانتوم مجمع للجسم بكامله (بتصريح من شركة هولوجيك).



الشكل ٢١: صورة مسح ديكسا على فانتوم للجسم بكامله (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

وعند مسح فانتوم الجسم بكامله ينبغي أولاً وضع الطاولة في المركز عند اللزوم. وينبغي وضع النموذج في مركز الماسح، على أن تكون نهاية الفانتوم التي تحمل علامة 'الرأس' متجهة نحو رأس الطاولة. وينبغي ضبط ضوء توسيط الليزر بحيث يكون محاذياً لعلامات التوسيط على سطح الفانتوم. وينبغي أن يكون الفانتوم محاذياً للمحور المركزي بطول الطاولة. وينبغي التأكد من عدم وجود أي جسم آخر على الطاولة. وينبغي مسح الفانتوم باستخدام الطريقة المعيارية المستخدمة في مسح الجسم بكامله لدى الشخص الكبير. وينبغي قبول الطول والعرض المعتاد في المسح. وينبغي مسح الطاولة بكاملها.

وينبغي عند إجراء معايرة مقارنة وقبل إجراء المسح التالي إعادة ضبط وضع الفانتوم بسحبه لكي ينزلق إلى نهاية الطاولة ثم يعاد وضعه في المركز. ويمكن حماية

سطح الطاولة باستخدام مفرش أو غطاء. وينبغي تكرار ذلك مرة أخرى لما مجموعه مساحن يومياً لمدة خمسة أيام عمل متتالية.

٤-٥-٦ فانتوم الأطفال

أشار بيكود وآخرون (Picaud et al) [١١٦] إلى فانتوم جديد مصنوع من مادة الأكريليك (لقياس كتلة الشحوم) وفانتوم مصنوع من كلوريد البولي فينيل (لقياس كتلة النسيج الرخو الخالي من الدهون) والألمونيوم (للكتلة العظمية) وصنعت مجموعات من هذا الفانتوم لمحاكاة وزن تركيب الجسم الأطفال الرضع خلال السنة الأولى من عمرهم عند إجراء مسح ديكسا على العمود الفقري. وتبين من استخدام مجموعة من الفانتومات أن برنامج قياس الكثافة المساحية لمعادن العظام في العمود الفقري لدى الكبار عندما يستخدم مع الأطفال يمكن أن يفترق إلى الحساسية تجاه العظام الصغيرة الأقل كثافة. وتبين عند استخدام جهاز هولوجيك من طراز QDR-2000 مع مجموعة من نماذج الفانتوم انخفاض المحتوى المعدني في العظام بنسبة تراوحت بين ثلاثة وخمسة أضعاف عندما أجري المسح باستخدام البرنامج الحاسوبي المخصص للكبار مقارنة بالبرنامج الحاسوبي المخصص لقياس كثافة العمود الفقري لدى الأطفال.

٥-٥-٦ الدراسات البحثية

يمكن أن يؤثر تغيير المساح أو البرنامج الحاسوبي المستخدم أو موقع المساح تأثيراً كبيراً على سلامة بيانات الدراسة. ولذلك لا يُسمح عموماً بتلك التغييرات طيلة مدة الدراسة أو التجربة الإكلينيكية بدون إخطار مسبق وموافقة مسبقة من الباحث الرئيسي المسؤول عن الدراسة.

٦-٥-٦ تدريب العاملين

من المثالي أن تتولى الشركة المصنعة تدريب كافة الأفراد القائمين بمسح المرضى على الاستخدام السليم لنظام ديكسا. ويوفر جميع المصنعون عدة ساعات من التدريب العملي عند شراء نظام ديكسا لأول مرة، وإن كان من المعروف أن هذا التدريب قد لا يتاح أو قد لا يتسنى تقديمه لاحقاً وأنه يكون سريعاً في أغلب الأحيان. ولذلك فإن الخطوط التوجيهية اللاحقة المستندة إلى الخطوط التوجيهية التدريبية في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية تساعد المراكز الطبية المحلية على التماس أو تقديم التدريب للأفراد الذين يستخدمون نظام ديكسا:

(١) المعلمون الذين يقدمون التدريب على نظام ديكسا.

(أ) ينبغي أن يكون المعلم طبيباً، أو فيزيائياً، أو مختصاً بالتكنولوجيا، أو فنياً، أو ممثلاً للشركة المصنعة أو من يعادله، وأن يكون لديه التدريب والخبرة التي تؤهله للعمل والتدريب على استخدام معدات قياس كثافة العظام باستخدام الأشعة السينية.

(ب) ينبغي أن يتمتع بخبرة لا تقل عن سنة واحدة في إجراءات ديكسا.

(ج) ينبغي أن يقدم بعض الدروس التعليمية المستندة إلى دليل الشركة المالكة للنظام والكتابات العلمية والخبرة الشخصية؛ وبعض التدريب المختبري على ضبط وضع المريض وتحليل المسح وإجراءات مراقبة الجودة؛ وبعض التدريب الإكلينيكي على هشاشة العظام وأمراض العظام والمشاكل المرتبطة بالمرضى.

(د) ينبغي أن ينشئ سجلاً تدريبياً يبين فيه تدريب مستعملي نظام ديكسا الجدد بالطريقة المبيّنة أعلاه.

(٢) المنهج الدراسي للمختصين بالتكنولوجيا. ينبغي أن يتناول المنهج الدراسي بالقدر الكافي من الاستفاضة كيفية اكتساب تلك المعرفة والمهارات والقدرات لضمان كفاءة الطالب في تشغيل معدات ديكسا:

(أ) ينبغي أن يمتد التدريب (التعليمي والمختبري والإكلينيكي) لفترة لا تقل عن ٣ أيام ولا تزيد عن شهر واحد لضمان الاستيعاب السليم.

(ب) ينبغي أن يشمل المنهج التعليمي على الأقل ما يلي (١٨ ساعة إجمالاً):
١' الفيزياء والبيولوجيا الإشعاعية والوقاية من الإشعاع (٣ ساعات)؛

٢' بيولوجيا تركيب العظام والجسم، وأمراض العظام وعلاجها، وبارامترات قياس كثافة العظام (٣ ساعات)؛

٣' معدات ديكسا (٤ ساعات)؛

٤' الأجهزة الحاسوبية وتكوين الصور (٣ ساعات)؛

٥' التشريح والأوضاع (٤ ساعات)؛

٦' آداب المهنة والتعامل مع المريض (ساعة واحدة).

(ج) ينبغي أن يتألف المنهج الدراسي المختبري من ٤ ساعات على الأقل من التدريب الذي يشمل:

١' مسح وتحليل الفانتوم؛

٢' تقييم الصور القائمة الخاصة بالمرضى.

(د) ينبغي أن يشمل التعليم الإكلينيكي الخاضع للإشراف قيام الطالب بإجراء ما لا يقل عن ٢٠ مسحاً تشمل ما يلي (ينبغي ملاحظة أن تلك المسوح

يمكن إجراؤها جميعاً على نفس المرضى الخمسة إذا كانت الأنظمة المحلية تسمح بذلك):

- ١' العمود الفقري من الخلف/من الأمام (خمسة مرضى)؛
- ٢' عظم الفخذ القريب (خمسة مرضى)؛
- ٣' الساعد (خمسة مرضى)؛
- ٤' الجسم بكامله (خمسة مرضى).

(٣) *المشرف/الإكلينيكي*. ينبغي تعيين مشرف يتولى المسؤولية عن الإشراف اليومي على العمليات الإكلينيكية في كل موقع إكلينيكي. وينبغي في المشرف الإكلينيكي:

(أ) أن يكون طبيباً سواء أكان أخصائياً في التصوير الإشعاعي أو دكتوراً في الطب وأن يكون قد تلقى التدريب المقدم إلى المختصين بالتكنولوجيا حسب ما هو وارد أعلاه، أو أن يكون قد حصل على شهادة أو تصريح بالعمل مشرفاً ومشغلاً للتصوير الإشعاعي من هيئة تنظيمية محلية مسؤولة عن تنظيم استخدام نُظم ديكسا.

(ب) أن يقدم الإشراف العام للفنيين المختصين بتكنولوجيا ديكسا حالما يعتبر الطالب قادراً على القيام بما يسند إليه من إجراءات وواجبات بدقة وأمان.

(ج) أن يقدم بانتظام (مرة سنوياً على الأقل) تقارير خطية يقيم فيها قدرة الفني المختص بالتكنولوجيا على القيام بالإجراءات الإكلينيكية.

(٤) *تقييم الدقة*. ينبغي أن يقيم كل فني مختص بتكنولوجيا ديكسا بانتظام دقة الجهاز ومجموعة المرضى الذين سيقوم بإجراء مسح عليهم. وفيما يلي التفاصيل:

- (أ) ينبغي إبلاغ المرضى بالفوائد والمخاطر قبل اشتراكهم في تقييم الدقة.
- (ب) ينبغي استخدام المرضى الذين يمثلون المجموعة النمطية في الممارسة.
- (ج) ينبغي استخدام طرق المسح المتبعة لتلبية الاحتياجات الإكلينيكية أو احتياجات الدراسة إذا كان تغيير البارامترات مهماً في حالة مرضى بعينهم. ويتحقق ذلك في حالة تقييم هشاشة العظام باستخدام الكثافة المساحية لمعادن العظام في كامل العمود الفقري، والكثافة المساحية لمعادن العظام في كامل الفخذ، والكثافة المساحية لمعادن العظام في عنق الفخذ. ويكون ذلك في حالة دراسات تركيب كامل الجسم باستخدام مجموع الكتلة، والنسبة المئوية لمجموع كتلة الشحوم، والمحتوى المعدني الكلي للعظام، ومجموع كتلة الأنسجة الرخوة الخالية من الدهون.

(د) ينبغي أن يجري كل فني مختص بالتكنولوجيا مسحاً لثلاثين مريضاً مرتين.

(هـ) ينبغي أن يعاد ضبط وضع المريض بعد كل مسح وذلك بأن يطلب منه النزول من على الطاولة ثم العودة إليها مرة أخرى.

(و) ينبغي حساب متوسط الكثافة المساحية لمعادن العظام، والمحتوى المعدني في العظام، وكتلة الأنسجة، والنسبة المئوية لكتلة الشحوم، وكتلة الشحوم باستخدام المعادلة التالية التي ترد فيها النسبة المئوية لكتلة الشحوم كمثال:

$$(٢٦) \quad \text{average(PCTFM)}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \text{PCTFM}_j$$

حيث متوسط النسبة المئوية لكتلة الشحوم، PCTFM، هو متوسط النسبة المئوية لكتلة الشحوم لدى المريض i ، j = رقم المسح، و m = مجموع عدد المسوح على مريض معين (أي ٢).

(ز) ينبغي حساب الانحراف المعياري ومعامل التغير في كل مريض باستخدام المعادلة التالية:

$$(٢٧) \quad \text{PCTFM_SD}_i = \frac{1}{m-1} \sqrt{\sum_{j=1}^m (\text{PCTFM}_j - \text{average(PCTFM)})^2}$$

$$(٢٨) \quad \text{PCTFM_CV}_i = \frac{\text{PCTFM_SD}}{\text{average(PCTFM)}} 100$$

(ح) ينبغي تحديد الجذر التربيعي لمتوسط معامل التغير، RMS_CV، والجذر التربيعي لمتوسط الانحراف المعياري، RMS_SD، لكل المجموعة الإحصائية المستخدمة كأساس للتقييم في كل بارامتر من البارامترات المهمة:

$$(٢٩) \quad \text{PCTFM_RMS_SD} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{PCTFM_SD}_i)^2}$$

$$(٣٠) \quad \text{PCTFM_RMS_CV} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{PCTFM_CV}_i)^2}$$

حيث n = عدد المرضى في التقييم.

(ط) المعايير الدنيا للدقة. ينبغي أن يكون متوسط الجذر التربيعي لمعامل التغير الذي يحققه فني التكنولوجيا أفضل (أصغر) من القيم الواردة في الجدول ٨ للبارامترات التالية. وإذا لم يكن فني التكنولوجيا قادراً على تحقيق ذلك فينبغي أن يعاد تدريبه إلى أن يتمكن من تحقيق ذلك المستوى من الدقة.

الجدول ٨: المعايير الدنيا لدقة فني التكنولوجيا

| البارامتر | الجذر التربيعي لمتوسط معامل التغير |
|--|------------------------------------|
| مجموع الكثافة المساحية لمعادن عظام العمود الفقري | ١,٩% |
| مجموع الكثافة المساحية لمعادن عظام الفخذ | ١,٨% |
| مجموع الكثافة المساحية لمعادن عظام الرقبة | ٢,٥% |
| مجموع الكثافة المساحية لمعادن عظام الجسم | ١,٥% |
| مجموع المحتوى المعدني في عظام الجسم | ٢,٠% |
| مجموع النسبة المئوية لكتلة الشحوم | ١,٩% |

أ نقلاً عن بيان مواقف الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية لعام ٢٠٠٥ [١١٧].
ب قُدرت بناءً على خبرة المؤلف.

٦-٥-٧ الدقة وإمكانية التكرار

يمكن في أثناء تحليل المسح إضافة الأخطاء الناجمة عن عدم الدقة إذا اختلفت أوضاع مناطق الجسم المهمة اختلافاً طفيفاً فيما بين مسح خط الأساس ومسح المتابعة. ويوفر معظم المصنعون خاصية التحليل 'المقارن' التي تسمح بإسقاط المناطق ذات الاهتمام من التحليل السابق في الفحص الجاري. وقد ثبت أن ذلك يحسّن الدقة العامة. وتناولت دراسات كثيرة إمكانية تكرار قياسات ديكسا. وتبين معظم أجهزة قياس كثافة العظام بمختلف أنواعها وطرزها إمكانية التكرار التي يشار إليها أيضاً باسم اختبار/إعادة اختبار الدقة في قياسات ديكسا سواءً باستخدام مجموعات صغيرة من المرضى أو الفانتوم. ويفضل توخي درجة كبيرة من الدقة في قياس الكثافة المساحية لمعادن العظام عند رصد التغيرات التي تحدث بمرور الوقت نتيجة للعلاج أو الشيخوخة. وتحسب الدقة باعتبارها 'أقل تغيير ملموس' (LSC) يتعيّن ملاحظته عندما تكون هناك ثقة إحصائية بنسبة ٩٥ في المائة بأن تغيّر القياس ليس مجرد صدفة محضة. ويعرّف أقل تغيير ملموس عندما تكون الثقة ٩٥ في المائة بأنه:

$$\text{أقل تغيير ملموس} = ٢,٧٧ \times \text{خطأ الدقة} \quad (٣١)$$

حيث يمكن التعبير عن الخطأ كانحراف معياري في وحدات القياس أو كنسبة مئوية لمُعامل التغير (CV %). وعلاوة على ذلك يمكن الجمع بين أقل تغيير ملموس وبين المعدّل المتوقع للتغيير بسبب المرض أو العلاج لتحديد 'فاصل الرصد'. وفاصل الرصد هو المدة بالسنوات التي ينبغي أن تفصل بين القياسات قبل إجراء قياس آخر على أساس توقع أقل تغيير ملموس يجري تخطيه. وبالتالي يعرف الفاصل الزمني لرصد قياسات الكثافة المساحية لمعادن العظام بأنه:

$$MTI = \frac{LSC \text{ (g/cm}^2\text{)}}{\text{expected rate of change (}\frac{\text{g/cm}^2\text{)}{\text{year}}\text{)}} \text{ years}$$

وتتراوح القيم النمطية لدقة الكثافة المساحية لمعادن العظام البشرية في الجسم الحي بين ١ و١,٥ في المائة في مسح الفقرات القطنية، و١ في المائة في مسح عظم الكعبرة البعيد، و١,٥ إلى ٢ في المائة في مسح عظم الفخذ القريب، وما يتراوح بين ١,٥ و٢ في المائة في مسح الجسم بكامله [١١٨] (الجدول ٩).

الجدول ٩: تقديرات دقة القياسات وصحتها في الجسم الحي
(نقلًا عن جينانت وآخرين [١١٨])

| منطقة الجسم | الدقة | الصحة |
|---|-------|--|
| | | (النسبة المئوية لمعامل التغير) (النسبة المئوية للاختلاف عن القيم الحقيقية) |
| الكثافة المساحية لمعادن العظام في العمود الفقري من الخلف والأمام | ٢-١ | ١٠-٤ |
| الكثافة المساحية لمعادن العظام في العمود الفقري من الناحية الجانبية | ٣-٢ | ١٥-٥ |
| الكثافة المساحية لمعادن العظام في عظم الفخذ | ٣-١,٥ | ٦ |
| الكثافة المساحية لمعادن العظام في الساعد | ١ | ٥ |
| الكثافة المساحية لمعادن العظام في الجسم بكامله | ١ | ٣ |

على أن القيم المُبلغ عنها هي في كل الحالات تقريباً ما يطلق عليه قيم الدقة القصيرة الأجل من مسوح مزدوجة أو ثلاثية لمريض في زيارة واحدة. وأما قيم الدقة التي أبلغت عنها الشركة المصنعة فهي قيم مجمّعة في بعض الأحيان من مسموح يجريها مشغلون على مستوى كبير من التدريب والخبرة لمجموعات من أشخاص في مراحل عمرية أصغر، وقد لا تنطبق تلك القيم على البيئة الإكلينيكية الفعلية. ويزداد انعدام الدقة في الحالات الإكلينيكية الروتينية وفي كبار السن بنسبة تتراوح بين ٥٠ و١٠٠ في المائة.

ويمكن تقليص انعدام الدقة في الفانتوم بنسبة تصل إلى ٥٠ في المائة مقارنة بالقيم المذكورة أعلاه. ويزيد انعدام الدقة الطويل الأجل المبيّن باستخدام مسوح متعددة لأفراد بعد انقضاء فترة من الوقت عن انعدام الدقة القصير الأجل على الرغم من أن العديد من الدراسات لا يشير إلا إلى اختلافات طفيفة [١١٩]. وبالرغم من صحة استخدام دقة القياسات الطويلة الأجل في قيم أقل تغيير ملموس وقيم فاصل الرصد فإن صحة القياسات القصيرة الأجل تستخدم دوماً نظراً لعدم توفر قيم دقيقة طويلة الأجل لمختلف النظم ومجموعات المرضى. وسوف تساعد التوصيات التالية على الحد من انعدام الدقة.

استراتيجيات تقليل خطأ الدقة إلى أدنى حد

- (١) ينبغي تدريب كل المشغلين رسمياً على ضبط الأوضاع والتحليل في كل طريقة من طرق المسح.
- (٢) ينبغي مسح المرضى باستخدام نفس مقياس الكثافة وليس باستخدام طراز مماثل في نفس المركز الطبي. ولا يمكن إجراء مقارنة كمية بين صور المسح التي يتم الحصول عليها من نظم مختلفة الصنع والطراز.
- (٣) ينبغي أن يتولى نفس المشغل إجراء المسح الأساسي ومسوح المتابعة.
- (٤) ينبغي تحديد وضع المريض باستخدام الإجراء الموحد الذي يقرره المصنّع أو بروتوكول الدراسة.
- (٥) ينبغي عدم تغيير الطريقة المستخدمة في المسح الأساسي ومسوح المتابعة. وقد يتيح الماسح خياراً سريعاً وطبيعياً وعالي الدقة لمسح موضع هيكلي معيّن. وينبغي دوماً استخدام نفس طريقة المسح المتبعة في خط الأساس.
- (٦) ينبغي استخدام نفس مناطق الجسم في كل مسح ووضعها بنفس الطريقة. وينبغي دوماً استخدام خاصية 'المقارنة' أو 'النسخ' إن وجدت.
- (٧) ينبغي استخدام التحليل التلقائي للوغاريتمات والتحقق منها بمعرفة المشغلين وعدم تعديلها إلا عند اللزوم وفي أضيق الحدود.

٨-٥-٦ صحة القياس والمعايرة المقارنة في نظم ديكسا

ينبغي أن يجري المصنعون في نهاية المطاف معايرة لنظم ديكسا بما يتفق مع العينات البيولوجية لمعادن العظام (هيدروكسي أباتيت)، والأحماض الدهنية وكتلة النسيج الخالي من الدهون في الإنسان (خليط البروتين والماء). على أن ذلك ليس هو المصدر الملائم للمعايرة في الواقع العملي. ولكل شركة مصنعة أسلوبها الخاص الذي تضمن به اتساق النظم المستخدمة في الميدان مع قيم المعايرة المحددة في المصنع. وينبغي التقيد تماماً بهذه الإجراءات. مثال ذلك أن نظم هولوجيك تتطلب مسح فانتوم العمود الفقري

البشري كل صباح قبل استخدام النظام. وتتطلب أيضاً نُظم جنرال إلكتريك مسح فانتوم المعايرة في الصباح.

٦-٥-١-١ التثبيت من صحة قيم نظام ديكسا المحددة في المصنع

المرجع الميداني الوحيد الذي ربما يوجد في الموقع بخصوص صحة قياسات نظام ديكسا هو القيم المطبوعة على البطاقة الملصقة على فانتوم مراقبة الجودة. وينبغي قبل استخدام أي أسلوب معايرة آخر التحقق من صحة قياسات نظام ديكسا بمقارنتها مع القيم المطبوعة على بطاقة الفانتوم.

التحقق من صحة قياسات نظام ديكسا المحددة في المصنع

- (١) ينبغي مسح فانتوم العمود الفقري حسب توصية الشركة المصنعة عشر مرات دون تعديل الوضع.
- (٢) ينبغي تحليل أول مسح حسب إرشادات الشركة المصنعة.
- (٣) ينبغي تحليل صور المسح المتبقية باستخدام خاصية 'المقارنة'.
- (٤) ينبغي حساب متوسط الكثافة المساحية لمعادن العظام والمحتوى المعدني في العظام والمساحة.
- (٥) ينبغي أن يكون متوسط الكثافة المساحية لمعادن العظام والمحتوى المعدني في العظام والمساحة في حدود ١ في المائة من القيم المحددة في البطاقة الملصقة على الفانتوم. وإذا كان الاختلاف يزيد على ١ في المائة، ينبغي استدعاء ممثل الشركة لتصحيح المعايرة.

٦-٥-٢ التثبيت من صحة قيم المسوح الأخرى غير طريقة مسح العمود الفقري

لا يوجد حالياً أي فانتوم متاح تجارياً للتثبيت من الصحة المطلقة لطرق المسح بخلاف طريقة مسح العمود الفقري المستخدمة ميدانياً. على أن هناك أنواع من الفانتوم يمكن استخدامها للتحقق من الصحة النسبية للنظام مقارنة بالنظم الأخرى المستخدمة ميدانياً.

وفيما يتعلق بعظم الفخذ، يوجد فانتوم لعظام فخذ الإنسان من إنتاج شركة هولوجيك، ويمكن استخدام هذا الفانتوم لمقارنة الصحة النسبية لنظم المسح المختلفة. وفيما يتعلق بالساعد، يوجد فانتوم للساعد من إنتاج شركة يوروبيان (European). وهناك العديد من فانتومات الجسم بكامله، مثل الفانتوم الذي تنتجه شركة هولوجيك، وفانتوم التركيب المتغير من إنتاج شركة بايوإمجينج (Bioimaging, Inc)، بوسطن، ماساشوستس، الولايات المتحدة الأمريكية). ومع ذلك لا يوجد الكثير من البيانات المتاحة للتثبيت من تلك

الفانتومات. ويمكن استخدام تلك الفانتومات بنفس طريقة استخدام فانتومات العمود الفقري عن طريق اختيار احد المواضيع باعتباره الموضوع المرجعي بدلاً من الموضوع المحدد في بيانات الفانتوم. وإذا لوحظت أي اختلافات، فلن تكون هناك طريقة مناسبة لتغيير معايرة طرق مسح المناطق الأخرى غير العمود الفقري عند إجراء معايرة للعمود الفقري. ويجب تطبيق معاملات التصحيح مباشرة على البيانات الإكلينيكية أو بيانات الدراسة التي يتم الحصول عليها. على أنه لا بد من ملاحظة أن تلك الفانتومات لا تصلح إلا للمعايرة المقارنة في أجهزة قياس الكثافة من نفس الصنع ومن نفس الطراز.

٦-٥-٣ المعايير المقارنة بين أجهزة قياس كثافة العظام

يلزم إجراء معايرة مقارنة عند مقارنة المسح بين نظامين. ويستخدم أقل تغيير ملموس (المعادلة (٣٩)) لمقارنة قيمتين من قيم قياس كثافة عظام المريض باستخدام نفس نظام ديكسا. وتستخدم القيمة العامة لأقل تغيير ملموس لمقارنة مسحين لنفس المريض باستخدام نظامين مختلفين [١٢٠]. ولحساب القيمة العامة لأقل تغيير ملموس يلزم تقييم المعايرة المقارنة لقياسات الجسم الحي وكذلك تقييم دقة قياسات الجسم الحي في النظام السابق والنظام الحالي. وتعرف القيمة العامة لأقل تغيير ملموس بوحدات كثافة معادن العظام المطلقة بأنها:

$$GLSC = 1.96 \sqrt{\frac{n+1}{n-2} S_y^2 (1-r^2)} \quad (32)$$

وتعرف كنسبة مئوية بأنها:

$$\%GLSC = \frac{1.96 \sqrt{\frac{n+1}{n-2} S_y^2 (1-r^2)}}{\hat{a} + \hat{b} \mu_x} 100 \quad (33)$$

حيث اللاحقتان السفليتان x ، y تشيران إلى النظامين، و S_y هو تباين عينة المجموعة المستخدمة في المعايرة المقارنة، و b ، a هما معامل الانحدار الخطي للميل والتعويض، و r هو معامل الارتباط، و n هو عدد الأشخاص موضوع الدراسة، و μ_x هو متوسط كثافة معادن العظام لمجموعة النظام x . وأقل تغيير عام ملموس هو قيمة غير معكوسة وفريدة تبعاً للمسح الذي يمثل خط الأساس. وتوفر الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية في موقعها على شبكة الإنترنت أداة للمعايرة المقارنة تستخدم في حساب القيمة العامة لأقل تغيير ملموس من البيانات المسجلة (<http://www.iscd.org/visitors/resources/calc.cfm>). وفيما يلي الإجراء المستخدم لحساب القيمة العامة لأقل تغيير ملموس.

إجراء المعايرة المقارنة بين نظامين من نُظْم ديكسا باستخدام قيم الجسم الحي

- (١) إذا كان خطأ الدقة في النظام السابق معلوماً من تقييم سابق للدقة، ينبغي مسح ٣٠ مريضاً يمثلون مجموعة المرضى في المرفق مرة باستخدام النظام الأولي ثم مرتين باستخدام النظام الجديد في غضون ٦٠ يوماً. ولا بد من ملاحظة إجراء ثلاثة مسوح لكل منطقة في هؤلاء المرضى الثلاثين، بحيث يكون أحدها باستخدام النظام السابق واثنان باستخدام النظام الجديد.
- (٢) إذا كان خطأ الدقة في النظام السابق غير معلوم من تقييم سابق للدقة، ينبغي مسح ٣٠ مريضاً يمثلون مجموعة مرضى المرفق مرتين باستخدام النظام السابق ثم مرتين باستخدام النظام الجديد في غضون ٦٠ يوماً. ولا بد من ملاحظة إجراء أربعة مسوح لكل منطقة في هؤلاء المرضى الثلاثين: مسحان باستخدام النظام السابق ومسحان باستخدام النظام الجديد.
- (٣) ينبغي قيد بيانات المسح في أداة قياس القيمة العامة لأقل تغيير ملموس أو حساب البارامترات المطلوبة للمعادلتين (٤١) و(٤٢).
- (٤) ينبغي مسح المواضع التشريحية التي يشيع قياسها إكلينيكيًا وهي عموماً العمود الفقري وعظم الفخذ القريب.
- (٥) ينبغي أن تمثل المرافق للأنظمة المطبقة محلياً بشأن قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة.
- (٦) ينبغي استخدام القيمة العامة لأقل تغيير ملموس في المقارنة بين النظامين السابق والجديد. ولا يمكن إجراء مقارنات كمية بين النظامين إلا بعد إجراء معايرة مقارنة لكل موضع هيكلي يشيع قياسه قبل استخدام القيمة العامة لأقل تغيير ملموس.
- (٧) يمكن أن يُطلب من الشركة المصنعة تحويل قاعدة البيانات قبل تحميلها في النظام الجديد.
- (٨) لا بد من ملاحظة عدم إمكانية المقارنة المباشرة بين قيم النظام الجديد وصور المسح السابق. ويجب معايرة قيم المسح السابق مع النظام الجديد قبل استخدام القيمة العامة لأقل تغيير ملموس.
- (٩) ينبغي مقارنة كل مسح يُجرى في المستقبل مع مسح النظام الجديد (النظام ٢) باستخدام أقل تغيير ملموس في النظام الجديد.
- (١٠) في حالة عدم تقييم المعايرة المقارنة لا يمكن إجراء أي مقارنة كمية مع النظام السابق، وبالتالي لا بد من تحديد خط أساس جديد لكثافة معادن العظام وأقل تغيير ملموس داخل النظام.

٦-٥-٩ رصد ثبات نظام ديكسا

يمكن أن يفضي الانحراف التدريجي في معايير نظام ديكسا بمرور الوقت إلى خطأ في تفسير تغيُّر القياسات. مثال ذلك أن حدوث انحراف بنسبة ٢ في المائة في المعايرة خلال فترة سنة يسفر عن ظهور تغيُّر بنسبة ٢ في المائة في المرضى الذين جرى مسحهم قبل وبعد هذا الانحراف حتى ولو لم يطرأ ذلك التغيُّر إلا بسبب انحراف المعايرة. ويمكن استخدام الفانتومات لرصد معايير النظام حتى يمكن تصحيح الانحرافات قبل أن تؤثر على النتائج الإكلينيكية أو نتائج الدراسة.

٦-٦ الأخطاء

تنشأ الأخطاء المنتظمة في قياسات ديكسا عن عدد من المصادر.

٦-٦-١ تركيب النسيج الرخو وقياسات خط الأساس

بيَّنت دراسات كثيرة ما يسمى خطأ الشحوم في قياسات كثافة العظام باستخدام نظام ديكسا نتيجة لعدم انتظام تركيب النسيج الرخو المحيط بالعظام. وينشأ خطأ الشحوم كنتيجة مباشرة للتبسيط النظري المستخدم في نظام ديكسا حيث يتم تقريب الجسم البشري كنموذج ثنائي مؤلف من مجرد العظم والنسيج الرخو. وكشفت تجارب المسح المقطعي الكمي عن تفاوت الحجم الكسري لشحوم النسيج الرخو القريبة من الفقرات القطنية بنسبة تصل إلى ٢٠ في المائة [١٢١-١٢٣]. وأشارت التقارير إلى حدوث أخطاء بنسبة ١٥ في المائة في الكثافة المساحية لمعادن عظام الجسم الحيِّ والفانتوم [١٢٤-١٢٩] وأكدت عمليات المحاكاة النظرية مقدار التحيز [١٣٠]. وبيَّنت المحاكاة أيضاً أن تحيُّز الكثافة المساحية لمعادن العظام تزيد في كبار السن والأشخاص المصابين بهشاشة العظام عن الأشخاص الأصغر سناً.

وكشف فورميكا وآخرون (Formica et al) ممن تناولوا بالبحث اختلافات تركيب مكونات الجسم في مسح خط الأساس لدى النساء في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث باستخدام المسح المقطعي الحاسوبي الكمي عن أن حدوث اختلاف بنسبة ٢٠ في المائة في كثافة معادن العظام المحددة بنظام ديكسا من الخلف والأمام وفي الاتجاه الجانبي يمكن أن يكون مرده فقط الفرق في تركيب النسيج الرخو [١٢٢]. على أن قيمة خط الأساس في قياسات ديكسا تمثل عموماً عينة لحجم يزيد كثيراً عن الحجم الذي تغطيه شريحة واحدة من شرائح المسح المقطعي المستخدمة في تلك الدراسات. وعلاوة على ذلك فإن الفروق في تركيب الأنسجة ليست مساوية للفروق في النسبة المئوية لحجم الشحوم. ولم يُبحث حتى الآن أثر هذا التحيز المحدد لدى المريض على القرارات التشخيصية إلا في عمليات المحاكاة [١٢٩].

ومن الأفضل تقليل خطأ الشحوم إلى أدنى حد عن طريق إعادة ضبط وضع المريض بانتظام حتى يتشابه تجانس الشحوم قدر الإمكان بين خط الأساس ومسوح المتابعة.

٢-٦-٦ بدانة المريض وتغير الوزن وحجم العظام

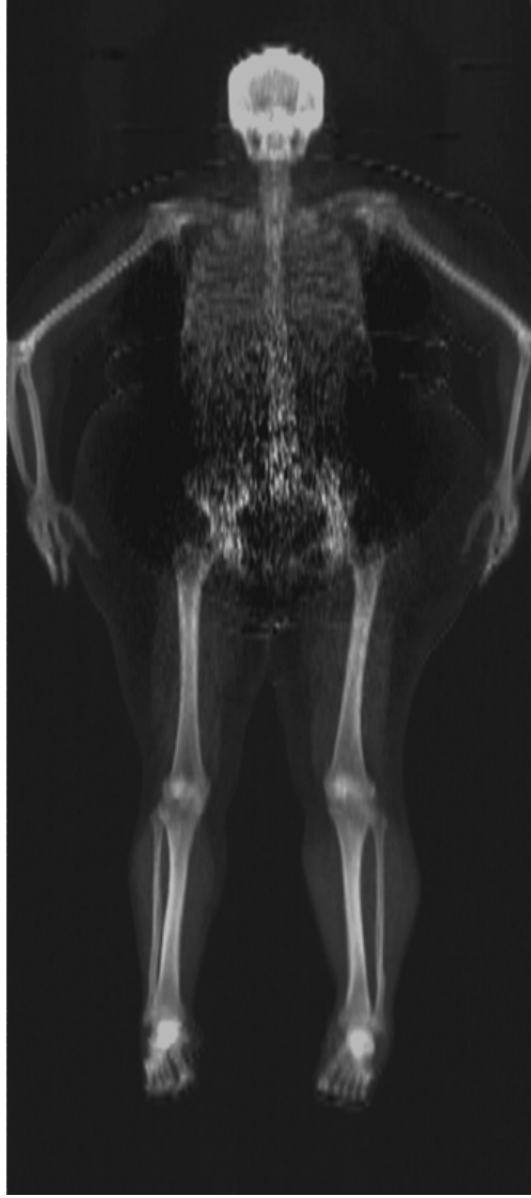
يمثل المرضى البدناء مشكلة في ماسحات ديكسا من عدة نواحٍ (الشكل ٢٢). فالمريض البدين سميك بدرجة كبيرة ويؤدي ذلك إلى إحداث توهين كبير في الأشعة السينية، مما يسفر عن رداءة جودة الصورة وإحصائيات قياس الامتصاص. وبالتالي ينخفض مستوى الدقة في حالة المرضى البدناء. وبالإضافة إلى ذلك، أشارت التقارير إلى حدوث تغييرات في الصور الخلفية الأمامية لكامل الجسم، والكثافة المساحية لمعادن العظام والمحتوى المعدني في العظام بعد فقدان الوزن في الوقت الذي لا بد أن تكون فيه تلك البارامترات في حقيقة الأمر مستقلة [٧١، ١١٩، ١٣١، ١٣٢].

ويمكن تفسير تلك الاستنتاجات بحدوث 'تقسية شعاعية' تزداد كلما ازداد سُمك الجسم الذي يمتص الإشعاع. ولم يلاحظ تأثير الوزن في قياس امتصاص الفوتونات المزدوجة الطاقة حيث كانت الصور المنخفضة الطاقة والصور المرتفعة الطاقة في الواقع أحادية اللون [١٣٣]. ومما يزيد من صعوبة ذلك عدم وجود خطأ متسق ناجم عن تغير الوزن بين الشركات المصنعة وطرق المسح [١٣٤-١٣٦] ولعل ذلك راجع على الأرجح إلى اختلاف الطرق المستخدمة في تصحيح التقسية الشعاعية.

٣-٦-٦ عوامل التباين في الإجراءات الأخرى

تحتوي عوامل التباين في التصوير بالرنين المغناطيسي، مثل الجادولينيوم، على رقم ذري كبير وكثافة كبيرة للغاية مقارنة بالأنسجة الرخوة الأخرى، مما يجعلها بتركيزها الكامل تبدو كعظام في نظام ديكسا، ويؤدي ذلك إلى تشوش النتائج [١٣٧]. ويحتوي أيضاً باريوم التباين المستخدم في المسح المقطعي الحاسوبي على رقم ذري كبير للغاية بتركيزه الكامل (الشكل ٢٣). ويؤدي التركيز الكامل لعامل التباين في الأوعية الدموية إلى حدوث ترسب على العظام في الصورة الإسقاطية مما يؤدي إلى زيادة الكثافة العظمية في تلك المنطقة. وعندما تنخفض التركيزات يبدو النسيج الرخو كما لو كان محتويًا على شحوم أقل ويزداد إجمالاً توهين الأشعة أكثر من اللازم في الأنسجة الرخوة، مما يقلل من قيم قياس كثافة العظام في نظام ديكسا.

وتؤدي أي تركيزات متبقية من تلك المواد في مناطق الجسم المفحوصة بنظام ديكسا إلى عيوب في الصور.



الشكل ٢٢ - مسح لمريض بدني يبين تشوش في منطقة البطن يمكن أن ينشأ عندما يقل كثيراً فيض الشعاع السيني النافذ في المريض. وتمسح معظم أجهزة ديكسا المرضى الذين يصل وزنهم إلى ٣٠٠ باوند (١٣٦ كيلوغراماً) وإن كان ذلك يتحدد أساساً بسطح الطاولة. ويمكن أن تنخفض أيضاً جودة المسح في الأوزان التي تقل عن ذلك كثيراً بسبب سُمك المريض (إهداء من ج. شيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).



الشكل ٢٣: باريوم في صورة مسح ديكسا عن طريق حقنة شرجية تحتوي على الباريوم (إهداء من ج. شيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

وبحث سالا وآخرون (Sala et al) [١٣٨] المستوى الذي تتداخل عنده النظائر المشعة التشخيصية ووسائط التباين المستخدمة في التصوير الإشعاعي مع صور مسح ديكسا على الجسم بكامله. واستخدم أحد الإجراءات التالية مع أربعين مريضاً، عشرة في

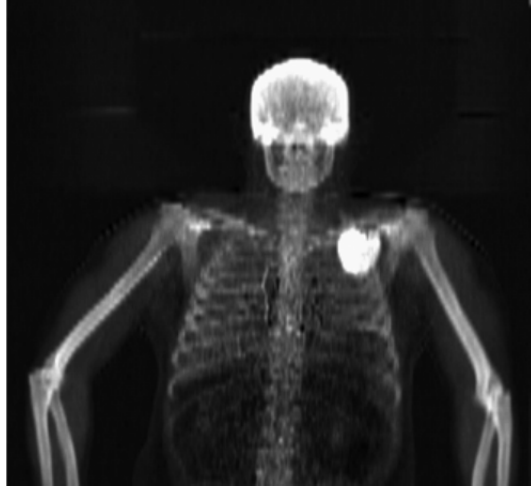
أربع مجموعات، كانوا قد عولجوا من قبل من ورم ليمفاوي خبيث أو أورام صلبة: مسح مقطعي حاسوبي (عن طريق الحقن الوريدي بمادة تحتوي على اليود (\pm مادة تباين عن طريق الفم)، والتصوير بالرنين المغناطيسي (باستخدام مادة تباين تحتوي على الجادولينيوم)، والمسح بالجاليوم، ومسح العظم بالتكنيتيوم. وأجري مسح ديسكا على الجسم بكامله (باستخدام نظام هولوجيك من طراز QDR-4500A) قبل (خط الأساس) وبعد تنفيذ الإجراء في نفس اليوم وبعد سبعة أيام. وبين الجدول ١٠ الفرق في قياسات ديسكا بين خط الأساس والمسح الذي أُجري لاحقاً في نفس اليوم. ولم تظهر بعد سبعة أيام أي فروق إحصائية معنوية بين قياسات ديسكا في اليوم السابع وقياسات خط الأساس. على أن المختصين بتكنولوجيا ديسكا المدربين تدريباً جيداً يرفضون المسح الذي يحتوي على مواد تباين لما يثيره ذلك من شكوك حول مستوى الدقة. وبالنظر إلى أن ديسكا قلما تمثل إجراء طارئاً، ينبغي انتظار ما يتراوح بين ٥ و ٧ أعمار نصفية لمواد التباين في الجسم. وتتعامل معظم المراكز الطبية بتحفظ مع هذا الخط التوجيهي وتنتظر ما يتراوح بين ١٠ و ١٤ يوماً بعد أي إجراء تستخدم فيه النظائر المشعة أو مواد التباين لتيسير تحديد المواعيد.

الجدول ١٠: النسبة المئوية لتغير قيم مسح ديسكا على الجسم بكامله قبل إجراءات التصوير الإشعاعي المحتوية على أوساط تباين وبعدها مباشرة [١٣٨]

| الإجراء | كتلة الجسم بكامله | المحتوى المعدني في العظام | كتلة الشحوم | كتلة أنسجة الجسم الخالية من الدهون |
|--------------------------|-------------------|---------------------------|-------------|------------------------------------|
| مسح مقطعي حاسوبي | $> 2\%$ | 12.5% | 75.4% | 11.0% |
| تصوير بالرنين المغناطيسي | NS | NS | NS | NS |
| مسح بالجاليوم | $> 2\%$ | NS | NS | NS |
| مسح العظم بالتكنيتيوم | NS | NS | NS | NS |
| $0.001 > p^*$ | | | | |

٦-٤ أجهزة تنظيم ضربات القلب

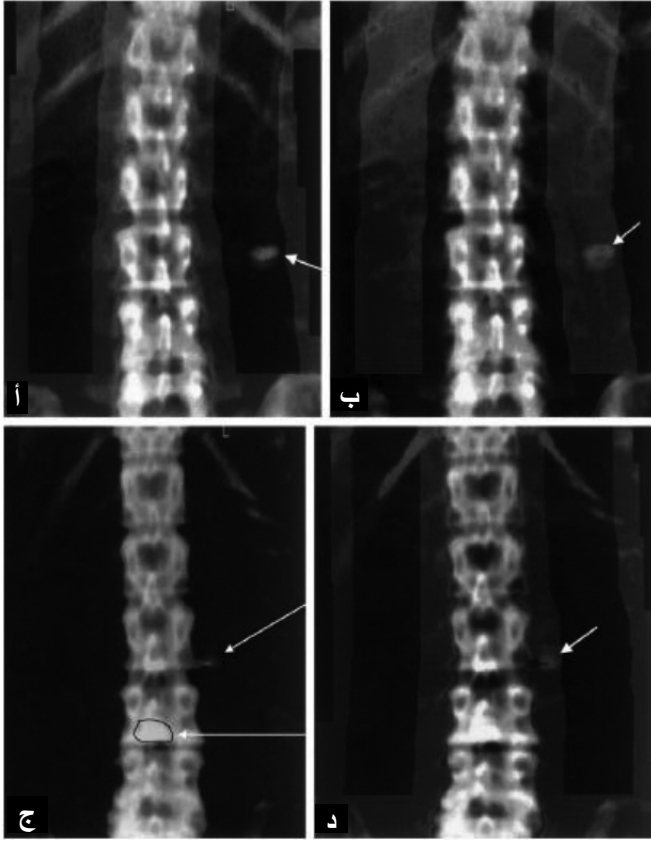
توجد أجهزة تنظيم ضربات القلب في أعلى الناحية اليسرى من الجذع. وتحتوي هذه الأجهزة على مواد معدنية وتظهر في صورة المسح كعظم كثيف مثلما في الشكل ٢٤. وتزيد أجهزة تنظيم ضربات القلب كتلة وكثافة عظام كامل الجسم ولكن كتلتها لا تتغير بمرور الوقت. ولذلك قد تسبب في حدوث أخطاء عند مقارنة بيانات المريض بالبيانات المرجعية، ولا تتداخل مع الدراسات الطولية. ومن الطرق الفعالة للتخلص من تأثير أجهزة تنظيم ضربات القلب استخدام خيار تحليل المسح النصفى (القسم ٦-٣).



الشكل ٢٤: مثال لجهاز تنظيم ضربات القلب في مسح للجسم بكامله (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٥-٦-٦ أقرص الكالسيوم

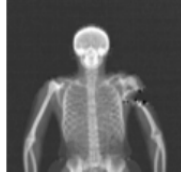
يمكن للأقرص التي تحتوي على الكالسيوم، مثل مكملات الكالسيوم ومضادات الحموضة المعدية أن تتسبب في زيادة نتائج الكثافة المساحية لمعادن العظام والمحتوى المعدني في العظام إذا تراكب القرص مع العظام، وبخاصة في صور مسح العمود الفقري. وأجرى كندلر وآخرون (Kendler et al) سلسلة من التجارب على الفانثومات والجسم الحي حيث وضعت أقرص محتوية على الكالسيوم على العمود الفقري [١٣٩] (الشكل ٢٥). وازدادت الكثافة المساحية لمعادن العظام في الفقرات القطنية من الأولى حتى الرابعة بنسبة $\geq 2,2$ في المائة بعد وضع قرص يحتوي على ٥٠٠ ملليغرام من الكالسيوم سواءً فوق الفانثوم أو لصقه بشريط على الشخص المفحوص. وتسببت الأقرص التي تحتوي على المزيد من الكالسيوم في تغيير بنسبة ١٢ في المائة في العمود الفقري للمرضى الذي تنخفض لديهم الكثافة المساحية لمعادن العظام. وتبين أن قرصاً واحداً من الكالسيوم لا يكفي لتغيير التصنيف التشخيصي للمريض في حالة استخدام الفقرات القطنية من الأولى حتى الرابعة. على أنه إذا استخدم عدد أقل من فقرات العمود الفقري في قياس مجموع الكثافة المساحية لمعادن العظام فإن ذلك يمكن أن يسفر عن خطأ في التصنيف. وبالإضافة إلى ذلك فإن دقة رصد الكثافة المساحية لمعادن العظام بمرور الوقت تتأثر سلباً إذا تراكب قرص الكالسيوم مباشرة على العظم ولم يكتشف.



الشكل ٢٥: صور ديكسا للفقرات القطنية باستخدام نظام جنرال إلكتريك لوناو وتعليق على الصورة من كندلر وآخرين [١٣٩] يبين أقراص كالسيوم ملصقة بشريط على جلد شخص منطوع. وتبين الصورة (أ) قرصاً واحداً يحتوي على ٥٠٠ ملليغرام من الكالسيوم محدد بشكل صحيح بأنه عيب في الصورة. وتبين الصورة (ب) نفس القرص كنسيج رخو مؤكدة بذلك تأثير اللوغاريتمات بالعيوب الصغيرة. ويظهر في الصورة (ج) قرصان يحتوي كل منهما على ٢٠٠ ملليغرام من الكالسيوم (الأسهم) متراكبان كلياً وجزئياً على العظم. وعندما يتراكب القرص (داخل الدائرة) بالكامل على العظم فهو يعتبر عظماً على الرغم من إمكانية حذفه يدوياً من التحليل إذا كان واضحاً، أو يمكن استبعاد كل العمود الفقري من التحليل. ويتداخل القرص المتراكب جزئياً على العظم (القوس العلوي) مع الكشف السليم للحافة؛ ويظهر القرص كعظم (إسقاط أخضر من حافة جسم الفقرة في الجانب الأيمن من الصورة) وجزئياً كحقل محايد (يظهر القرص كجسم بيضاوي أبيض مائل إلى اللون الرمادي عند رأس السهم العلوي). ويظهر في الصورة (د) حقل محايد مظلل باللون الأخضر ويشمل جزءاً من قرص الكالسيوم حسب ما جاء في شرح الصورة (ج). (بتصريح من مجلة قياس الكثافة العظمية الإكلينيكية، دار نشر إلزفير).

٦-٦-٦ حركة المريض

تبدو الحركة في أشد صورها كفجوة في العظم أو النسيج الرخو عندما لا يظهر من الملاحظة البصرية وجود أي شذوذ مادي (أي أذرع مفقودة أو عدم تناسق العظام الطويلة أو ما إلى ذلك) (الشكل ٢٦). وينبغي، إن أمكن، إعادة مسح المريض. وينبغي بعد ثلاث محاولات، مثلما في حالة الأطفال، استخدام أفضل مسح وافترض قياسات أجزاء الجسم المتأثرة بالحركة أو حذفها باستخدام تحليل المسح النصفى.



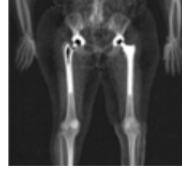
الشكل ٢٦: حركة الذراع الأيسر تبدو كعضد غير متصل (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٦-٦-٧ الأجسام المعدنية في حقل المسح: راب الفخذ والركبة بالكامل

تشكل الأجسام المعدنية مصدراً مهماً للأخطاء في مسح ديكسا وتظهر كعظام شديدة الكثافة. ويمكن لهذه الأجسام المعدنية إذا دخلت في المسح أن تؤدي بطريق الخطأ إلى زيادة كبيرة للغاية في الكثافة المساحية لمعادن العظام والمحتوى المعدني في العظام [١٣٧]. ويتطلب تحديد أثر العيوب على المحتوى المعدني في العظام والنسبة المئوية لكتلة الشحوم وضع إطار حول العيب ومنطقة مماثلة خالية من ذلك العيب وملاحظة الفرق بين النتيجتين (الشكلان ٢٧ و ٢٨). ويمكن أيضاً تحديد التأثير الكلي المحتمل للوسادة أو باروكة الشعر بوضع منطقة الجسم ذات الاهتمام في المساحة المعنية وملاحظة نتائج المساحة وأعمدة المحتوى المعدني في العظام. ويمثل رسم خرائط العظام أداة مفيدة أخرى لمعرفة كيفية تحليل العيوب (في العظم أو النسيج الرخو).



الشكل ٢٧: التحقق من مدى تأثير شريحة معدنية على المحتوى المعدني في العظام. ويمكن بمقارنة المحتوى المعدني للعظم في الساق اليمنى الخالية من الشرائح المعدنية بالساق اليسرى تحديد مدى الارتفاع في المحتوى المعدني في عظام الجسم بالكامل (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).



الشكل ٢٨: رأب لعظم الفخذ بالكامل من الناحية الجانبية (إهداء من ج. شيبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو).

٧- الإبلاغ عن النتائج

٧-١ المعلومات الديموغرافية المطلوبة

ينبغي أن يحدد تقرير قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة هوية المريض، وأن يسجل صلاحية الدراسة، وأن يتضمن تفسيراً واضحاً للفحص، وي طرح توصيات. وتناول منشور صادر عن الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية [١٤٠] من قبل وصف الأساس المنطقي الذي يستند إليه تحديد العناصر التي ينبغي إدراجها في تقرير ديكسا. وهناك حد أدنى من العناصر التي ينبغي أن يتضمنها التقرير بغض النظر عما إذا كان المسح مركزياً للكشف عن هشاشة العظام أو مسحاً لكل الجسم بغرض تقييم تركيب الجسم.

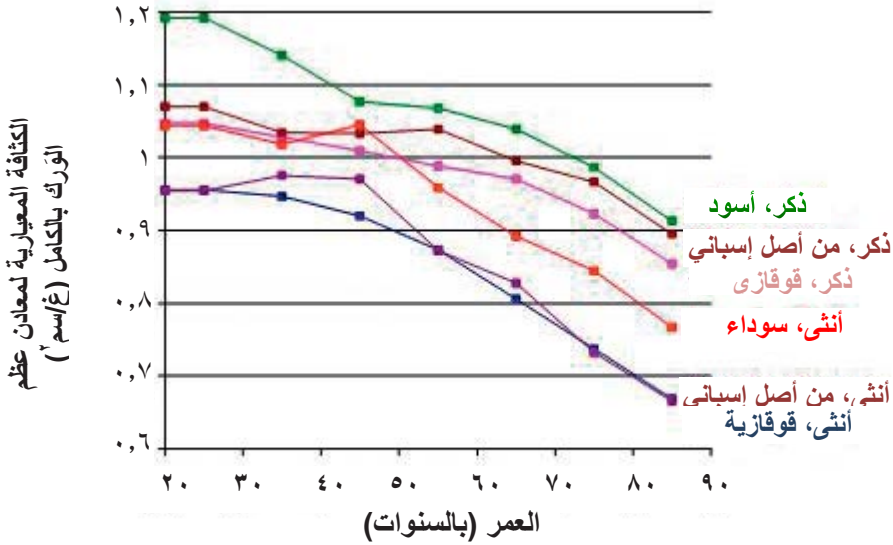
العناصر الأساسية في تقرير ديكسا

- (١) تاريخ الفحص.
- (٢) البيانات الديموغرافية عن المريض (اسمه، وتاريخ ميلاده أو عمره، وجنسه أو سلالة أو أصله العرقي، وطوله، ووزنه).
- (٣) الطبيب الذي طلب الفحص.
- (٤) أسماء من يتلقون نسخة من التقرير.
- (٥) إشارات إلى الاختبار.
- (٦) الشركة المصنعة وطراز الجهاز ونسخة البرنامج الحاسوبي المستخدم.
- (٧) قيمة (قيم) القياس.
- (٨) قاعدة البيانات المرجعية (إن وجدت) المستخدمة في تحديد الشريحة المئوية، وتقديرات مخاطر التعرض لكسور، ودرجة T ، و Z .
- (٩) الموضوع الهيكلي/المنطقة موضوع الفحص.
- (١٠) جودة الاختبار: ممتاز، أو محدود، أو غير مكتمل، أو رديء، أو ما إلى ذلك.
- (١١) قيود الاختبار إن وجدت.
- (١٢) المخاطر الإكلينيكية الأخرى المحددة في الفحص.
- (١٣) التقديرات المستندة إلى القياسات: خطر التعرض لكسور، والبدانة، وأمراض القلب بسبب تكتلات الشرايين، أو غير ذلك.
- (١٤) البيانات العامة التي تشير إلى مدى ملاءمة إجراء تقييم طبي للأسباب الثانوية وراء انخفاض الكثافة المساحية لمعادن العظام أو ارتفاع النسبة المئوية لكتلة الشحوم، أو انخفاض النسبة المئوية لكتلة الشحوم، أو ما إلى ذلك.
- (١٥) التوصية بإجراء مسح لمتابعة الحالة.

٢-٧ البيانات المرجعية والقيم ذات الصلة

تستخدم البيانات المرجعية لمقارنة الفرد بمجموعة من الأفراد. ويتباين متوسط القيم التي يتم الحصول عليها من مسح ديكسا، مثل الكثافة المساحية لمعادن العظام، والمحتوى المعدني في العظام، والنسبة المئوية لكتلة الشحوم، وغيرها، بين المجموعات تبعاً للعمر والجنس والأصل العرقي. ولذلك أجريت عدة دراسات تبين مجموعة من الأصول العرقية لكلا الجنسين. مثال ذلك أن الشكل ٢٩ يبين الكثافة المساحية لمعادن العظام في الورك بكامله مقابل العمر لدى الذكور والإناث القوقازيين المنحدرين من أصول إسبانية أو سود أو غير منحدرين من أصول إسبانية في الولايات المتحدة الأمريكية [١٤١]. ويجب توخي الدقة في مقارنة الأفراد بالمنحنيات المرجعية الأنسب لعمرهم وجنسهم وأصلهم العرقي للوصول إلى الحدود الطبيعية. مثال ذلك أنه عند

مقارنة الكثافة المساحية لمعادن عظام رجل أسود بالمنحنى المرجعي لرجل قوقازي فإن الكثافة المساحية لمعادن عظام الرجل الأسود ستبدو مرتفعة ارتفاعاً غير عادي بالنسبة لعمره بينما قد تكون طبيعية عند مقارنتها برجال سود آخرين. ويمكن عزو الكثير من تلك الفروق إلى حجم العظام.



الشكل ٢٩: بيانات مرجعية عن الورك من الاستقصاء الوطني الثالث للصحة والتغذية [١٤١]. وتظهر الكثافة المساحية لمعادن العظام بوحدات الكثافة المعيارية لمعادن العظام [الرسم التخطيطي مقدّم من ج. شبيرد، جامعة كاليفورنيا، سان فرانسيسكو].

وتستخدم البيانات المرجعية في نظم ديكسا لغرضين عمليين، هما تحديد خطر التعرض للإصابة بكسور العظام (درجات T) وتحديد مدى تماثل الشخص مع أقرانه (درجات Z). وعند تحديد خطر التعرض لكسور باستخدام قيم مثل درجة T ، قد يكون من الملائم مقارنة كل الرجال والنساء من مختلف الأصول العرقية بنفس المنحنى المرجعي بعد إدخال التعديلات اللازمة لمراعاة حجم العظام، بالنظر إلى أن قوة العظم خاصية مادية. وعلى ضوء ازدياد المعرفة بكيفية ارتباط الكثافة المساحية لمعادن العظام بخطر التعرض للكسور لدى النساء القوقازيات مقارنة بالرجال أو الأصول العرقية الأخرى، يوصى باستخدام النساء القوقازيات لحساب درجات T وتحديد كيفية ارتباط درجة T بخطر التعرض للكسور (انظر القسم ٢-٧-٢). وتوصي منظمة الصحة العالمية بحساب درجات T عند كل الأشخاص الكبار باستخدام القيم المرجعية للنساء القوقازيات المأخوذة عن الدراسة الاستقصائية الوطنية الثالثة للصحة والتغذية. ومن المهم الإشارة إلى أن البيانات المرجعية يتم الحصول عليها باستخدام بروتوكول تحديد الأوضاع المحدد من

الشركة المصنعة، وإجراءات التحليل ونسخة البرنامج الحاسوبي الخاص بالشركة. وإذا اختلفت وضعية المريض الإكلينيكي عن الوضعية المبينة في دليل المصنّع أو إذا أُجري التحليل باستخدام مناطق مختلفة في الجسم أو بالاعتماد على نسخة حاسوبية مختلفة، فإن ذلك يمكن أن يفضي إلى قدر كبير من التحيز. مثال ذلك أن التقارير أشارت إلى تباين كبير في الكثافة المساحية لمعادن عظام عنق كامل الفخذ بتباين زاوية التدوير [١٤٢].

١-٢-٧ استخدام البيانات المرجعية لتوليد درجات T و Z

درجة T هي القيمة التشخيصية الرئيسية المستخدمة في هشاشة العظام حيث ترتبط عكسياً بخطر الإصابة بالكسور لدى كبار السن والنساء في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث والرجال الذين تخطوا الخمسين. ودرجة T هي الفرق بين الكثافة المساحية لمعادن عظام المريض والكثافة المساحية لمعادن عظام الشخص المرجعي الصغير بوحدات الكثافة المعيارية لمعادن عظام المجموعة المرجعية. ومنذ صدور تقرير فريق الدراسة التابع لمنظمة الصحة العالمية في عام ١٩٩٤ [١٤٣]، باتت الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية واحدة من عدة منظمات معنية بوضع خطوط توجيهية لتفسير صور المسح استناداً إلى درجات T ودرجات Z [٧]. وبدأ استخدام درجة T لأول مرة في أواخر ثمانينات القرن الماضي وتُعرّف بأنها :

$$T \text{ score} = \frac{aBMD_{\text{patient}} - aBMD_{\text{Young Adult Mean}}}{SD_{\text{Young Adult Mean}}}$$

(٣٤)

وSD هي الانحراف المعياري لمجموعة البالغين الشباب. ويمكن أيضاً التعبير عن الكثافة المساحية لمعادن العظام بدرجة Z، وهي الفرق بين الكثافة المساحية لمعادن عظام المريض والأفراد الآخرين في نفس المجموعة العمرية، والكثافة المساحية لمعادن العظام المرجعية المناسبة عموماً للأصل العرقي ووحدات الكثافة المعيارية:

$$Z \text{ score} = \frac{aBMD_{\text{patient}} - aBMD_{\text{age-, ethnicity-matched adult mean}}}{SD_{\text{age-, ethnicity-matched adult mean}}}$$

(٣٥)

وتستخدم الدرجة T لتشخيص هشاشة العظام لدى البالغين الأكبر سناً، بينما تستخدم الدرجة Z لتشخيص انخفاض الكثافة العظمية لدى البالغين الشباب ولدى الأطفال. ويُفترض في كثير من الأحيان أن الدرجتين T و Z لا بد أن تكونا متقاربتين كثيراً أو متماثلتين لدى الأشخاص الأصغر سناً. على أن الخطوط التوجيهية الحالية تشتق قيمة T

من مجموعة مرجعية معيّنة من الأفراد. ويتضمن الجدول ١١ المعايير الأصلية التي وضعتها منظمة الصحة العالمية.

الجدول ١١: معايير منظمة الصحة العالمية لتشخيص هشاشة العظام باستخدام الدرجات T [١٤٣]. وينبغي ملاحظة أن هذا المعيار لا ينطبق إلا على النساء في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث والرجال الذين تخطوا الخمسين، ولا ينطبق على البالغين الأصغر سناً أو الأطفال

| الحالة | المعايير |
|------------------------------------|--|
| طبيعية | الكثافة المساحية لمعادن العظام في حدود وحدة واحدة من الكثافة المعيارية لدى الشاب البالغ 'الطبيعي' (الدرجة T - ١ فما فوق) |
| انخفاض الكثافة العظمية (قلة العظم) | تنخفض الكثافة المساحية لمعادن العظام بما يتراوح بين ١ و ٢,٥ وحدة كثافة معيارية عن الشاب البالغ 'الطبيعي' [الدرجة T تتراوح بين - ١ و - ٢,٥) |
| هشاشة العظم | الكثافة المساحية لمعادن العظام تنخفض بما مقداره ٢,٥ وحدة كثافة معيارية أو أكثر عن الشاب البالغ 'الطبيعي' (الدرجة T تبلغ - ٢,٥ أو أقل) |
| هشاشة العظم الشديد (المحدد) | الدرجة T تبلغ - ٢,٥ أو أقل مع الإصابة بكسر أو أكثر في العظام |

وبالإضافة إلى ذلك توصي منظمة الصحة العالمية بضرورة الاقتصار على اشتقاق درجات T في حالة تشخيص هشاشة العظم لدى الرجال والنساء لتحديد مدى انتشار المرض من خلال قيم الكثافة المساحية لمعادن عظم عنق الفخذ في الإناث القوقازيات اللاتي تتراوح أعمارهن بين ٢٠ و ٢٩ عاماً ومسجلات في قاعدة بيانات الدراسة الاستقصائية الوطنية الثالثة للصحة والتغذية [١٤٤]. وتستخدم هذه القيم في كل أنواع أجهزة قياس كثافة العظام الرئيسية بعد تحويلها إلى قيم المعايير الخاصة بكل جهاز. وتتعلق القيم الواردة في المرجع [١٤٤] بنظم هولوجيك ويرد ذكرها في الجدول ١٢.

الجدول ١٢: قيم T المرجعية للكثافة المساحية لمعادن عظام عنق الفخذ (غرام/سم^٢) وفقاً للمرحلة الأولى من الدراسة الاستقصائية الوطنية الثالثة للصحة والتغذية، ١٩٨٨-١٩٩١ [١٤٤]. وينبغي ملاحظة أن هذه القيم بوحدات معايرة هولوجيك

| الجنس (السلالة/الأصل العرقي) | النطاق العمري | العدد | متوسط الكثافة المساحية لمعادن العظام (غرام/سم ^٢) | الكثافة المعيارية (غرام/سم ^٢) |
|-------------------------------------|---------------|-------|--|---|
| إناث (من أصل غير إسباني/قوقازية) | ٢٠-٢٩ | ١٩٤ | ٠,٨٤٩ | ٠,١٠٩ |
| ذكور (من أصل غير إسباني/قوقازية) | ٢٠-٢٩ | ٢٠٧ | ٠,٩٣٠ | ٠,١٣٨ |

ولا يزال الجدل دائراً حول ما إذا كان ينبغي مقارنة الرجال بالبيانات المرجعية للإناث أو بمجموعة البيانات المرجعية للذكور. مثال ذلك أن الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية تشير في وثيقة موافقها إلى إمكانية تشخيص هشاشة العظام باستخدام درجة T تقل عن - ٢,٥ أو تساويها سواءً أكانت للعمود الفقري أو للورك بكامله أو عنق الفخذ أو ثلث الكعبرة، وأنه لا بد من مقارنة الرجال بالرجال والنساء بالنساء. على أن معايير منظمة الصحة العالمية لا تنطبق مباشرة على قياسات ديكسا لكثافة عظام مناطق غير العمود الفقري أو الورك أو ثلث الكعبرة. وينبغي ألا تطبق معايير منظمة الصحة العالمية على مقاييس كثافة العظام الأخرى، بما في ذلك المسح المقطعي الحاسوبي الكمي للعمود الفقري أو الفخذ أو نُظم قياس الكثافة المحيطية باستخدام الموجات فوق الصوتية، أو قياس الكثافة باستخدام ديكسا، أو التقنيات الأخرى التي تسمح الأصابع أو العظم السنعي أو العقب.

٢-٢-٧ نماذج مخاطر الكسور

تستند الخطوط التوجيهية الحالية لمنظمة الصحة العالمية بشأن تشخيص ومعالجة هشاشة العظام إلى النموذج الشامل لمخاطر التعرض للكسور المعروف باسم فراكس منظمة الصحة العالمية. ويُقدّر لوغاريتم فراكس منظمة الصحة العالمية احتمالات تعرض الشخص لكسر في الورك أو في عظم رئيسي آخر بسبب قلة العظم أو بسبب هشاشة العظام خلال فترة عشر سنوات. وأعدت المؤسسة الوطنية لهشاشة العظام دليل الأخصائيين الإكلينكيين لمرض هشاشة العظام الذي تناقش فيه تفاصيل نموذج فراكس واستخدام خطر التعرض لكسور العظام مقابل الكثافة المعدنية للعظام وحدها (انظر http://www.nof.org/professionals/NOF_Clinicians%20_Guide.pdf). وباختصار فإن الإطار النصي يتضمن التوصيات الرئيسية للطبيب الإكلينيكي بشأن تشخيص هشاشة العظام. ومع ذلك ينبغي أن يرجع الأطباء الإكلينيكيون إلى التفاصيل في التقرير الكامل الصادر عن المؤسسة الوطنية لهشاشة العظام.

ويتميز نموذج فراكس منظمة الصحة العالمية بسهولة استخدامه. ويتاح هذا النموذج في الموقع الشبكي لجامعة شيفيلد (<http://www.shef.ac.uk/FRAX/>). ومن المهم ملاحظة أن لوغاريتم فراكس منظمة الصحة العالمية لا يتعلق إلا بالأشخاص الذين لم يعالجوا من هشاشة العظام. ويبين الشكل ٣٠ مثلاً لإحدى لقطات شاشة النموذج. ولا يوجد حالياً أي نموذج لمخاطر كسور العظام لدى النساء بمجرد معالجتهن بمواد الوقاية الكيميائية. وتكمن ميزة استخدام نموذج فراكس منظمة الصحة العالمية في أنه يراعي عوامل الخطر الرئيسية وأنه قد تم التثبت منه في المجموعات التي خضعت للدراسة في أوروبا وأمريكا الشمالية وآسيا وأستراليا. على أن الحاجة لا تزال قائمة إلى حساب

درجات T لكثافة معادن العظام. ويصير نموذج فراكس منظمة الصحة العالمية على حساب درجات T باستخدام البيانات المرجعية المستمدة من الدراسة الاستقصائية الوطنية الثالثة للصحة والتغذية لدى الإناث القوقازيات بغض النظر عن الأصل العرقي والجنس. ويجب عند إدراج فروق إقليمية في عوامل المخاطرة استخدام نسخة الأداة الأنسب لوصف الأصل العرقي للمريض. وقامت المؤسسة الوطنية لهشاشة العظام في الولايات المتحدة الأمريكية بدمج نموذج فراكس في الخطوط التوجيهية للعلاج [١٤٥]. وترد التوصيات في نهاية هذا القسم. على أن الخطوط التوجيهية للعلاج يمكن أن تختلف من بلد إلى آخر. ويتناول القسم التالي كيفية الحصول على البيانات المرجعية المحلية المطلوبة لحساب درجات Z باستخدام بعض الأمثلة المأخوذة عن بعض ما كتب حول هذا الموضوع.

Calculation Tool

Please answer the questions below to calculate the ten year probability of fracture with BMD.



Weight Conversion:

pound:

Height Conversion:

inch:

Country: **US(Caucasian)**
Name / ID: Ms. Jane Doe
About the risk factors ⓘ

Questionnaire:

10. Secondary osteoporosis ☒ No ☐ Yes
11. Alcohol 3 more units per day ☒ No ☐ Yes
12. Femoral neck BMD

T-score:

1. Age (between 40-90 years) or Date of birth

Age:
Date of birth: Y: M: D:

2. Sex ☐ Male ☒ Female

3. Weight (kg)

4. Height (cm)

5. Previous fracture ☒ No ☐ Yes

6. Parent fractured hip ☐ No ☒ Yes

7. Current smoking ☒ No ☐ Yes

8. Glucocorticoids ☒ No ☐ Yes

9. Rheumatoid arthritis ☒ No ☐ Yes

BMD: 19.8
The ten year probability of fracture (%)

with BMD

| | |
|--------------------|-----|
| Major osteoporotic | 30 |
| Hip fracture | 2.7 |

الشكل ٣٠: لقطة لشاشة نموذج فراكس منظمة الصحة العالمية نقلًا عن الموقع الشبكي <http://www.shef.ac.uk/FRAX/>. ويتعلق المثال الوارد في الشكل بأنثى قوقازية تعيش في الولايات المتحدة الأمريكية. وتتاح أيضاً أمثلة من بلدان وأصول عرقية أخرى.

توصيات المؤسسة الوطنية للهشاشة العظام إلى الأطباء الإكلينيكين بشأن علاج هشاشة العظام [١٤٥].

في حالة النساء اللاتي بلغن مرحلة ما بعد انقطاع الطمث والرجال الذين تخطوا الخمسين فما فوق:

- (١) ينبغي توجيه المشورة إلى المرضى بشأن خطر هشاشة العظام وما يترتب عليها من كسور.
- (٢) ينبغي التحقق من الأسباب الثانوية.
- (٣) ينبغي إسداء المشورة بشأن الكميات الملائمة من الكالسيوم (ما لا يقل عن ١٢٠٠ ملليغرام يومياً، بما في ذلك تناول مكملات عند اللزوم) وفيتامين دال (ما يتراوح بين ٨٠٠ و ١٠٠٠ وحدة دولية يومياً من فيتامين دال ٣ للأفراد المعرضين لخطر نقص فيتامين دال).
- (٤) ينصح بممارسة تمارين تحمل وزن الجسم وتقوية العضلات للحد من خطر الوقوع والإصابة بكسور.
- (٥) ينبغي إسداء المشورة إلى المرضى لتجنب التدخين والإفراط في تناول المشروبات الكحولية.
- (٦) يوصى باختبار كثافة معادن عظام النساء في سن الخامسة والستين فما فوق والرجال في سن السبعين فما فوق.
- (٧) يوصى باختبار كثافة معادن عظام النساء اللاتي بلغن مرحلة ما بعد انقطاع الطمث والرجال الذين تتراوح أعمارهم بين ٥٠ و ٧٠ عاماً إذا كان هناك ما يبعث على القلق في سجل عوامل تعرضهم للخطر.
- (٨) يوصى باختبار كثافة معادن عظام الأشخاص الذين تعرضوا لكسور في العظام لتحديد درجة شدة المرض.
- (٩) ينبغي البدء في علاج الأشخاص المصابين بكسور (إكلينيكية أو بسبب تغير شكل العظام) في الورك أو العمود الفقري.
- (١٠) ينبغي بدء علاج الأشخاص الذين تقل درجة T لكثافة معادن عظامهم عن - ٢,٥ في عنق الفخذ أو الورك بكامله أو العمود الفقري بعد إجراء التقييم المناسب.
- (١١) ينبغي البدء في علاج النساء في مرحلة ما بعد انقطاع الطمث والرجال في سن الخمسين فما فوق ممن يعانون انخفاض الكتلة العظمية (درجة T تتراوح بين -١ و -٢,٥، قلة العظام) في عنق الفخذ أو الورك بكامله أو العمود الفقري واحتمالات إصابتهم بكسر في الورك لمدة عشر سنوات ≤ 3 في المائة أو إذا كان احتمال إصابتهم بكسر مرتبط بكل حالات هشاشة العظام الرئيسية لمدة عشر سنوات ≤ 20 في المائة استناداً إلى نموذج منظمة الصحة العالمية بشأن الخطر المطلق للكسور في الولايات المتحدة الأمريكية.

- (١٢) الخيارات الدوائية المعتمدة حالياً من إدارة الأغذية والدواء للوقاية من مرض هشاشة العظام و/أو علاجه هي البيسفوسفونات (أليندرونات، وإباندرونات، ورزيديرونيت، وزوليدرونيت)، والكالسوتينين، والإستروجين، و/أو العلاج الهرموني، والوكسيفين، وهرمون الغدة الجار درقية (PTH 1-34).
- (١٣) من المناسب إجراء اختبار لكثافة معادن العظام في مراكز ديكسا باستخدام تدابير ضمان الجودة لرصد فقد العظام (التوصية: كل سنتين). وينبغي عمومًا إجراء الفحص لدى المرضى الذين يتلقون علاجاً دوائياً بعد سنتين من بدء العلاج ثم كل سنتين بعد ذلك.

٣-٢-٧ استخدام درجات Z في الأطفال

انخفاض كثافة العظام لدى الأطفال ليس ظاهرة طبيعية ويرتبط في العادة بحالة ثانوية مثل استخدام الكورتيكوستيرويد، وأمراض المناعة الذاتية، وما إلى ذلك. وليس من المعقول تطبيق درجات T على الأشخاص الذين لم يصلوا إلى ذروة الكتلة العظمية؛ وبالتالي تستخدم درجات Z. وتشير الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية إلى أنه ينبغي النظر إلى الأطفال الذين تبلغ درجة Z عندهم - ٢ فما دونها في العمود الفقري أو الجسم بأكمله باعتبار أن لديهم "انخفاض في الكثافة العظمية" [١٤٦]. وليس من الملائم استخدام مصطلح هشاشة العظام إلا في كبار السن. ويمكن استخدام جداول البيانات المرجعية المأخوذة عن دراسة كثافة معادن العظام لدى الأطفال التي أجراها المعهد الوطني لصحة الطفل والتنمية البشرية [١٤٧] الواردة في الملحق الثالث لحساب درجات Z والشرائح المئوية عند استخدام نظم هولوجيك. وقسمت هذه الدراسة مجموعتها الإحصائية المؤلفة من ١٥٠٠ طفل سليم من الأولاد والفتيات حسب الأصل العرقي ونوع الجنس. وصُنف الأصل العرقي في الجداول إلى أصول عرقية سوداء وغير سواء. وتشمل الأصول العرقية غير السوداء الأطفال القوقازيين والآسيويين والأطفال المنحدرين من أصول إسبانية. وقد لا تمثل هذه البيانات المرجعية المتعلقة بالولايات المتحدة الأمريكية مجموعات السكان المحليين في الكثير من أنحاء العالم، وقد يلزم جمع بيانات مرجعية محلية لتكوين صورة صحيحة عن قيم الكثافة المساحية الطبيعية لمعادن العظام في إقليم معين. ونشرت أيضاً قيم مرجعية للأطفال في المملكة المتحدة [١٤٨] وهولندا [١٤٩]. ولا يزال النقاش دائراً على نطاق واسع حول أنسب طرق الإبلاغ عن الكتلة العظمية لدى الأطفال وأفضل طريقة لتصحيح الفروق في حجم الجسم والوضع عند البلوغ. ونشرت الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظمية الإكلينيكية مؤخراً عدة ورقات مواقف حول تلك المواضيع التي قد تهم القارئ [١٤٦].

٤-٢-٧ النطاقات المرجعية للنسبة المئوية لكتلة الشحوم

مما يؤسف له عدم التوصل إلى توافق في الآراء حول كيفية ارتباط شحوم الجسم بالاعتلال أو الوفاة. ولا تزال الدراسات في معظمها تستخدم حتى الآن مؤشر كتلة الجسم كمقياس بديل لشحوم الجسم. وبالتالي لم تكن قد نُشرت حتى وقت كتابة هذا التقرير أي نطاقات مقبولة لشحوم الجسم. وتوجد خطوط توجيهية عامة يستخدم فيها مؤشر كتلة الجسم المتعلق بنقص الوزن ($> 18,5$ كيلو غرام/متر مربع)، وزيادة الوزن (≤ 25 كيلو غرام/متر مربع) والبدانة (≤ 30 كيلو غرام/متر مربع). ومع ذلك فقد خلص غالاجار وآخرون (Gallagher et al) [١٥٠] إلى أن العلاقة بين مؤشر كتلة الجسم والنسبة المئوية للشحوم عندما تقاس بنظام ديكسا ليست علاقة بسيطة. وتتعلق أفضل التقديرات (أقل خطأ تقدير معياري وأعلى معامل ارتباط) بدوال تشمل العمر والجنس والأصل العرقي إلى جانب مؤشر كتلة الجسم للتنبؤ بالنسبة المئوية لشحوم الجسم. على أن هناك بعض الأدلة التي تثبت أن النسبة المئوية لشحوم الجسم قد تمثل تحسناً في الخصائص النمطية الظاهرية أكثر من مؤشر كتلة الجسم أو انخفاض الوزن البسيط. وخلص أليسون وآخرون (Alison et al) [١٥١] إلى أن انخفاض الوزن بين الأفراد الذين لا يعانون بدانة شديدة يرتبط بازدياد معدل الوفاة بينما يرتبط انخفاض الشحوم بانخفاض معدل الوفاة.

واستخلص غالاجار علاقة بين النسبة المئوية للشحوم المقاسة بنظام ديكسا ومؤشر كتلة الجسم الذي يشمل ارتباطات معنوية بنوع الجنس والعمر والأصل العرقي [١٥٠]. ويشمل نموذج النسبة المئوية لكتلة الشحوم باستخدام نظام ديكسا معامل ارتباط وخطأ معيارياً مماثلين لمؤشر كتلة الجسم على غرار النموذج الرباعي للنسبة المئوية لكتلة الشحوم (قيم $r = 0,90$ مقابل $0,89$ وخطأ التقدير المعياري $4,31$ في المائة مقابل $3,97$ في المائة على التوالي). ولا توجد فروق كبيرة بين قياسات النسبة المئوية لكتلة الشحوم باستخدام نظام ديكسا والنموذج الرباعي المكونات، ولكنها فروق كبيرة من حيث ما يلي:

$$PCTFAT_{DXA} = -1.7 + 1.06PCTFAT_{4C}$$

(٣٦)

حيث $r = 0,95$ وخطأ التقدير المعياري $= 3,2$ في المائة، وبلغ الميل والتقاطع مستويات مهمة إحصائياً حيث $p > 0,001$. على أن ذلك في النطاق الإكلينيكي الذي يتراوح بين ١٠ في المائة و٥٠ في المائة يسفر عن تحيُّز بنسبة تقل عن ١٥ في المائة. وبالتالي فإن الخطوط التوجيهية الحالية المتعلقة بمؤشر كتلة الجسم يمكن تحويلها إلى خطوط توجيهية تتعلق بالنسبة المئوية لكتلة الشحوم. على أن ذلك يؤدّي عبء فريدة تحدد

النسبة المئوية لكتلة الشحوم في حالات نقص الوزن والوزن الطبيعي والبدانة حسب الجنس والسلالة والعمر.

٥-٢-٧ طريقة جمع البيانات المرجعية المحلية

بالنظر إلى أن توحيد تشخيص هشاشة العظام يتم باستخدام قاعدة بيانات مرجعية واحدة حسب معايير منظمة الصحة العالمية فإن القيم المرجعية المحلية يمكن تقييمها أساساً لتحليل تركيب الجسم وكذلك لتحديد درجات Z لدى مجموعات (الأطفال) الأصغر سناً. ويمكن تحديد القيم المرجعية المحلية باعتبارها 'سليمة'، أو 'نموجية'، أو 'طبيعية'. ومما يؤسف له عدم وجود أي تعاريف موحدة لتلك المصطلحات. مثال ذلك أن دراسة كثافة معادن العظام في مرحلة الطفولة المبكرة تمثل مجموعة سليمة يستبعد منها كل الأطفال المصابين بأمراض العظام، والأطفال الذين يخضعون لأي علاجات قد تؤثر على كثافة العظام، والأطفال المصابين بكسور متعددة، وغيرهم [١٤٧]. وتمثل الدراسة الاستقصائية الوطنية الثالثة للصحة والتغذية مجموعة من النساء اللاتي وقع الاختيار عليهن حسب رمزن البريدي في كل أنحاء الولايات المتحدة الأمريكية بغض النظر عن حالتهم الصحية [١٤٤].

ويحاكي دليل النطاقات المعيارية دليل أحد الباحثين المستخدم في إحدى الشركات المصنعة. ويستند عدد الأشخاص الذين تم فحصهم وتوزيعاتهم العمرية إلى مبررات إحصائية لم ترد الإشارة إليها هنا. وإذا خرج الباحث كثيراً عن هذا البروتوكول، قد تفقد البيانات الإحصائية قوتها وأهميتها، وبخاصة عند جمع بيانات عن أعداد أقل.

وفيما يلي بيان لإجراءات جمع بيانات مرجعية عن الكبار البالغين. وسوف يتعين على الباحث تعيين ما لا يقل عن ٣٠٠ مشارك في كل مجموعة حسب الجنس والأصل العرقي. مثال ذلك أن الوصف الوافي لمجموعتين عرقيتين مختلفتين من كلا الجنسين يتطلب ١٢٠٠ مشارك (أي ٥٠ شخصاً تتراوح أعمارهم بين ٢٠ و ٨٠ عاماً في كل عقد وجنس وأصل عرقي) (الجدول ١٣). وسوف يتعين أيضاً على الباحث جمع كل المعلومات البيولوجية. ويتعين إجراء مسح فانتوم مراقبة الجودة على الأقل في الأيام التي يجري فيها مسح الشخص، وإن كان يفضل إجراؤه ثلاث مرات أسبوعياً أو مرة يومياً. وتتوقف القياسات وصور مسح مناطق الجسم التي يحصل عليها الباحث على احتياجاته. فإذا كانت احتياجاته تقتصر على تقدير كثافة العظام لدى الكبار البالغين فسوف يكون من الملائم إجراء قياس ديكسا في العمود الفقري والورك والساعد. ويتعين إدراج الجسم بأكمله في الدراسات التي تتعلق بتركيب الجسم. ويقاس كل موضع مرة واحدة لدى كل شخص وتسجل النتائج في استمارة تقرير الحالة. وترسل استمارات تقارير الحالات بعد ذلك إلى خبير إحصائي لتحليلها.

الجدول ١٣: أهداف التعيين في دراسة البيانات المرجعية للبالغين من كل جنس ومجموعة عرقية

| العقد العمري | مجموع عدد الأشخاص |
|--------------|-------------------|
| ٢٩-٢٠ | ٥٠ |
| ٣٩-٣٠ | ٥٠ |
| ٤٩-٤٠ | ٥٠ |
| ٥٩-٥٠ | ٥٠ |
| ٦٩-٦٠ | ٥٠ |
| ٧٩-٧٠ | ٥٠ |
| المجموع | ٣٠٠ |

وينبغي الإشارة إلى الخصائص الديموغرافية والتاريخ الطبي والعلاجات الدوائية في استبيان معلومات المريض بعد استيفائه حسب ما هو مبين في الملحق الثاني. ويدور بعض الجدل حول الأسلوب الإحصائي المستخدم لتقييم البيانات المرجعية. وأبسط تحليل هو قياس متوسط المجموعة والانحراف المعياري لكل مجموعة في كل عقد عمري. ويمكن توليد قيم Z بعد ذلك من خلال مقارنة قياسات المريض بالقيم المرجعية لمجموعة العقد العمري. وأشار آخرون إلى أن تحليل المتوسطات كل خمس سنوات [١٥٢] يتيح حلاً أفضل لحسم مسألة الفصل بين النساء قبل وبعد انقطاع الطمث مقارنة بالطرق الملائمة الأخرى. ويمكن استخدام نماذج الانحدار لزيادة الدقة العمرية والاستقرار في قيم درجات Z في كل عقد عمري. ويمكن استخدام عدة طرق؛ واستخدمت من قبل النماذج غير الخطية والنماذج الخطية المؤلفة من مجموعة من المتغيرات. ويحدد المقياس في النموذج غير الخطي على أساس العمر. وينبغي النظر إلى أعلى انحدار (أي العمر، ومربع العمر، ومكعب العمر) يحقق تحسناً ملموساً في نموذج الانحدار التالي الأقل ترتيباً باعتباره الأساس الذي تستند إليه معادلة البيانات المرجعية النهائية. وتحسب درجات Z بعد ذلك باستخدام هذه المعادلة للحصول على متوسط القياس والانحراف المعياري لعمر المريض. ويستخدم خطأ التقدير المعياري في حساب متوسط الانحراف المعياري في كل النطاق العمري. على أن ذلك يفترض توزيعات طبيعية حول القيم الوسطية.

وأما النهج الأكثر تعقيداً فهو مراعاة التواء التوزيعات حول القيم الوسطية. وقد وضع كول (Cole) نموذجاً واستحدث برنامجاً حاسوبياً لحساب المنحنيات المئوية بدون افتراض أي توزيعات طبيعية. ويمثل هذا الأسلوب الذي يطلق عليه LMS، إجراءً ملائماً تستخدم فيه الوصلات التكعيبية للحصول على تقديرات مئوية للعمر أو الحجم المرتبط بالنمو [١٥٣]. ويقدم T. Cole برنامجاً مجانياً لإجراء هذا النوع من التحليل

(<http://homepage.mac.com/tjcole/FileSharing1.html>). ويمثل المنحنى L الالتواء، وهو منحنى تحويل قوة المتغير المحسوب باستخدام طريقة بوكس- كوكس؛ ويمثل المنحنى M وسيط المقياس (مثل الكثافة المساحية لمعادن العظام)، ويمثل المنحنى S معامل تغير المقياس. ويمكن الحصول على درجات Z والنقاط المئوية من قيم S، M، L. وتستخدم المعادلة التالية للحصول على درجة Z لدى شخص بعينه:

$$Z = [(measurement/M)L - 1]/(L \times S) \quad (37)$$

حيث القياس يمثل النتيجة التي يسفر عنها مسح ديكسا (الكثافة المساحية لمعادن العظام، والمحتوى المعدني في العظام، والنسبة المئوية لكتلة الشحوم، وغيرها)، و S، M، L هي القيم الخاصة بكل عمر. ويتم بالمثل الحصول على النقاط المئوية للعمر باستخدام المعادلة التالية:

$$centile = M(1 + L \times S \times Z)1/L \quad (38)$$

حيث S، M، L هي العمر والجنس المطلوبان، و Z هو الانحراف الطبيعي المعياري في النقطة المئوية المقابلة (منها مثلاً النقطة المئوية الخمسين، Z = صفر). ومن أمثلة هذا النوع من منحني البيانات المرجعية أشكال النمو البيانية التي وضعها مركز مراقبة الأمراض [١٥٤] ومنحنيات البيانات المرجعية للكثافة المساحية لمعادن عظام الأطفال والمحتوى المعدني في عظام الأطفال التي وضعها كالكوورف (Kalkwarf) [١٤٧]. ويتضمن الجدول ١٤ الوارد في الملحق الثالث استعراضاً للبيانات المرجعية المعروفة عن الأطفال. وترد أيضاً في الجدول ١٥ بيانات مرجعية من كالكوورف عن كثافة معادن عظام العمود الفقري في الولايات المتحدة، وفي الجدول ١٦ بالنسبة لكثافة معادن عظام الجسم بكامله في الولايات المتحدة الأمريكية، وفي الجدول ١٧ بالنسبة للمحتوى المعدني لعظام العمود الفقري في الولايات المتحدة، وفي الجدول ١٨ بالنسبة للمحتوى المعدني لعظام الجسم بكامله في الولايات المتحدة.

الملحق الأول

تقرير مراقبة الجودة عند قياس كثافة العظام باستخدام تقنية ديكسا

(يُرجى نسخ هذه الاستمارة واستيفائها شهرياً. وتوضع الاستمارات بعد استيفائها في سجل مراقبة الجودة الخاص بالموقع)

اسم الموقع ومكانه:

الرقم المسلسل للماسح: _____ رقم فانتوم العمود الفقري: _____
(١) هل يستخدم ماسح جديد/مختلف مع أي مرضى منذ تاريخ كتابة آخر تقرير؟
نعم لا إذا كان الأمر كذلك فما هو طراز الماسح الجديد؟

(أ) هل وافق كل باحثي الدراسة المرتبطين بهذا النظام على تغيير الماسح؟
نعم لا من جانب من؟ _____
(٢) هل طرأت أي تغييرات على البرنامج الحاسوبي؟
نعم لا إذا كانت الإجابة نعم، يرجى بيان ما يلي:
نسخة الإصدار القديم من البرنامج الحاسوبي: _____
نسخة الإصدار الجديد من البرنامج الحاسوبي: _____
تاريخ تركيب البرنامج: _____
(أ) هل وافق كل باحثي الدراسة المرتبطين بهذا النظام سلفاً على تغيير البرنامج الحاسوبي؟
نعم لا من جانب من؟ _____
(٣) هل طرأت أي تغييرات على المُشغِّل؟
نعم لا إذا كانت الإجابة نعم، يرجى التغييرات:

| المُشغِّل | مضاف/منصرف | تاريخ التغيير | تاريخ التدريب المقدّم من المُصنّع |
|-----------|------------|---------------|--------------------------------------|
| _____ | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ | _____ |

(٤) هل كانت هناك أي مشاكل تتعلق بالصيانة/إعادة المعايرة/الإصلاح؟
نعم لا إذا كانت الإجابة نعم، يرجى تحديد تلك المشاكل:

| الخدمة المقدمة | تاريخ الخدمة |
|----------------|--------------|
| | |
| | |
| | |
| | |

يرجى إرفاق نسخة من تقرير الخدمة إن وجد

(٥) تعليقات إضافية (يستخدم الوجه الخلفي للاستمارة عند اللزوم)

المُشغَّل الرئيسي: _____ التاريخ: _____
رقم الهاتف: _____

الملحق الثاني

استبيان للمرضى الذين يخضعون لفحص بتقنية ديكسا

(يعتمد هذا الاستبيان على العينة المقّدمة من الجمعية الدولية لقياس الكثافة العظيمة الإكلينيكية في موقعها الشبكي (<http://www.iscd.org>).

يرجى تعبئة هذا الاستبيان قبل إجراء الفحص. ويمكن مراجعة هذه الوثيقة مع أحد الفنيين. وسوف يقوم موظف مختص بقياس وزنك وطولك.

الاسم (بحروف كبيرة): _____

التاريخ: _____

تاريخ الميلاد: _____

- هل هناك أي احتمالات للحمل؟ نعم لا
هل أجري لك فحص بالأشعة السينية والباريوم في الأسبوعين الماضيين؟ نعم لا
هل أجري لك مسح نووي أو حقن بصبغة أشعة سينية في الأسبوع الماضي؟ نعم لا
هل لديك فرط في نشاط الغدة الجار درقية أو ارتفاع في مستوى الكالسيوم في الدم؟ نعم لا
هل أجريت لك أي جراحة في العمود الفقري أو الورك؟ نعم لا

إذا كانت الإجابة نعم لأي من الأسئلة الواردة أعلاه، يرجى إبلاغها فوراً لموظف الاستقبال.

- (١) الجنس: ذكر أنثى
(٢) يرجى وضع علامة على إجابة واحدة:
_____ أبيض _____ أسود
_____ أصل إسباني _____ أخرى
_____ بلد المولد:

- (٣) هل أجريت لك من قبل أي فحوص لاختبار كثافة العظام؟ نعم لا
إذا كانت الإجابة نعم، فما هو تاريخ إجراء الفحص ومكانه؟

- (٤) هل طرأ مؤخراً أي تغيير على وزنك؟ نعم لا
إذا كانت الإجابة نعم، يرجى الإشارة إلى ذلك التغيير: _____

(٥) أطول ارتفاع للقامة (أواخر مرحلة المراهقة أو بداية البلوغ):

(٦) هل تعرضت من قبل لكسر في العظام؟ نعم لا

| العظم المصاب بالكسر | سقوط بسيط؟ | إذا لم يكن سقوطاً بسيطاً، يرجى وصف الظروف | العمر وقت حدوث الإصابة |
|---------------------|------------|---|------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

(٧) هل أصيب أحد الوالدين أو أحد الأشقاء بكسر في الورك نتيجة لسقوط بسيط أو بسبب القفز؟ نعم لا

(٨) هل أصيب أحد الوالدين أو الأشقاء بأي نوع آخر من كسور العظام بسبب سقوط بسيط أو نتيجة للقفز؟ نعم لا

(٩) كم عدد المرات التي تعرضت فيها للسقوط في السنة الماضية؟ _____

(١٠) هل أجريت لك جراحة من قبل في العمود الفقري أو الورك أو الساقين أو الذراعين؟ نعم لا

إذا كانت الإجابة نعم، يرجى وصف نوع الجراحة التي أجريت لك والجانب المصاب:

(١١) هل تتعاطى حالياً أو هل تعاطيت من قبل أقراص بريدنيزون (كورتيزون)؟ نعم، حالياً _____ نعم، من قبل _____ لا _____

إذا كانت الإجابة نعم فما هي المدة؟ _____ وما هي الجرعة؟ _____ ملليغرام أو قرص يومياً

(١٢) يرجى ذكر الأدوية التي وصفها لك الطبيب:

(١٣) هل تتعاطى حالياً أو تعاطيت من قبل أيّاً من الأدوية التالية؟

| ما هي المدة | نعم | لا | |
|-------------|-----|----|---|
| | | | أدوية مضادة للتشنجات أو الصرع |
| | | | علاج كيماوي للسرطان |
| | | | علاج لسرطان البروستاتا |
| | | | علاج للوقاية من رفض الجسم لعضو مزروع في الجسم |

(١٤) هل شُخصت لديك أي من الحالات التالية؟

| الحالة | متى؟ | تعليقات |
|--|------|---------|
| مرض مزمن في الكُلى | | |
| مرض مزمن في الكبد | | |
| فرط نشاط الغدة الجار درقية | | |
| فرط هرمون الحليب في الدم | | |
| توقف الدورة الشهرية قبل مرحلة انقطاع الطمث (باستثناء فترة الحمل) | | |
| استئصال المبيض لدى النساء اللاتي تقل أعمارهن عن ٥٠ عاماً | | |
| قصور الغدد التناسلية | | |
| التهاب المفاصل الروماتويدي | | |
| التهاب الفقرات الروماتويدي | | |
| داء باجيت | | |
| سرطان | | |
| هشاشة عظام مؤكدة | | |

(١٥) هل عولجت من قبل بأي من الأدوية التالية؟

| العلاج | من قبل؟ | حالياً؟ | إذا كان العلاج يجري حالياً فما هي مدته؟ |
|------------------------------------|---------|---------|---|
| علاج استبدال الهرمون (إستروجين) | | | |
| ستيرويد أكثر من ٥٠ ملليغرام يومياً | | | |
| علاج مضاد للتشنجات | | | |
| تاموكسوفين | | | |
| رالوكسوفين (إفيستا) | | | |
| تستوستيرون | | | |
| إيتيدرونيت (ديدرونيل/ديدروكال) | | | |
| أليندرونيت (فوساماكس) | | | |
| ريزيدرونيت (أكتونيل) | | | |
| باميدرونيت - حقن (أريديا) | | | |
| كلودرونيت (بونيفوس، أوستاك) | | | |
| كالسيتونين(مياكالسين بخاخ للأنف) | | | |
| هرمون الغدة الجار درقية (فورتيو) | | | |
| حمض الزوليدرونيك (زوميتا) | | | |
| فلوريد الصوديوم (فلوتيك) | | | |

(١٦) هل تتعاطى أي مكملات للكالسيوم؟ نعم لا

(١٧) هل تتعاطى أي مكملات لفيتامين دال (بما في ذلك المكملات المتعددة الفيتامينات وزيت كبد الحوت)؟ نعم لا

(١٨) هل تدخن؟ نعم لا

للنساء فقط

(١٩) هل لا تزالين في مرحلة ما قبل انقطاع الطمث؟ نعم لا

(٢٠) هل توقفت الدورة الشهرية في أي وقت من الأوقات قبل مرحلة انقطاع الطمث لمدة ستة أشهر أو أكثر، باستثناء فترة الحمل؟ نعم لا

(٢١) هل بلغت مرحلة انقطاع الطمث؟ نعم لا

إذا كانت الإجابة نعم، ففي أي عمر؟ _____

(٢٢) هل أجريت لك عملية استئصال الرحم؟ نعم لا

إذا كانت الإجابة نعم، ففي أي عمر؟ _____

(٢٣) هل استؤصل المبيضان؟ نعم لا

إذا كانت الإجابة نعم، ففي أي عمر؟ _____

الملحق الثالث

بيانات ديكسا المعيارية في الأطفال

الجدول ١٤ : ملخص البيانات المعيارية للأطفال نقلاً عن غوردون وآخرين (١٥٥)
(الجنس في كل الحالات هو الذكور والإناث ما لم يتم الإشارة إلى خلاف ذلك)

| الموضع | الأصل العرقي/الجنسية | العمر | العدد | نظام ديكسا | [المراجع] | سنة النشر |
|---|--|-------|-------|--------------------------|-----------|-----------|
| عنق الفخذ، العمود الفقري (الفقرات القطنية من الثانية حتى الرابعة) | قوقازي (سويسري) | ١٨-٩ | ٢٠٧ | Hologic 1000 | [١٥٦] | ١٩٩١ |
| عنق الفخذ، الورك بكامله، والجسم بكامله، والعمود الفقري (الفقرات القطنية من الثانية حتى الرابعة) | آسيوي، أسود، من أصل إسباني، قوقازي | ٢٥-٩ | ١٤٢٣ | Hologic 1000 pencil beam | [١٥٧] | ١٩٩٩ |
| مجموع كثافة معادن العظام، والمحتوى المعدني في العظام، ومساحة العظم | قوقازي (دانمركي) | ١٩-٥ | ٣٤٣ | Hologic 1000 pencil beam | [١٥٨] | ١٩٩٧ |
| العمود الفقري، وعظم الفخذ القريب والبعيد | قوقازي، أسود، أصول عرقية أخرى | ١٨-٣ | ٢٥٦ | Hologic 1000/2000 | [١٥٩] | ٢٠٠٢ |
| الجسم بكامله (بعد تصحيحه لمرعاة الحجم) | قوقازي، أسود، أصل إسباني | ١٨-٥ | ٩٨٢ | Hologic 2000 | [١٦٠] | ٢٠٠١ |
| عنق الفخذ، والجسم بكامله، والعمود الفقري (الفقرات القطنية من الأولى حتى الرابعة) | قوقازي (كندا) | ١٧-٨ | ١٢٣٤ | Hologic 2000 (array) | [١٦١] | ١٩٩٦ |
| الفقرات القطنية، ومجموع المحتوى المعدني في العظام، وكثافة معادن العظام | قوقازي (كندا) | ١٦-٨ | ٢٣٤ | Hologic 2000 FB | [١٦٢] | ١٩٩٣ |
| العمود الفقري، والورك بكامله، والجسم بكامله | غير معروف (الولايات المتحدة الأمريكية) | ٢٠-٣ | ١٠٠٠< | Hologic 4500 | [١٦٣] | ٢٠٠٥ |
| المحتوى المعدني في عظام الجسم بكامله (مسح مقطعي حاسوبي كمي محيطي لقصبية الساق) | قوقازي في معظم الأحوال | ٢٢-٥ | ٢٣١ | Hologic 4500 | [١٦٤] | ٢٠٠٢ |

الجدول ١٤ : ملخص البيانات المعيارية للأطفال نقلاً عن غوردون وآخرين (١٥٥) (تابع)
(الجنس في كل الحالات هو الذكور والإناث ما لم يتم الإشارة إلى خلاف ذلك)

| الموضع | الأصل العرقي/الجنسية | العمر | العدد | نظام ديكسا | [المراجع] | سنة النشر |
|---|---|-------|-------|-----------------------------|-----------|-----------|
| الجسم بكامله، والعمود الفقري، وعظم الفخذ القريب | كندي | ١٨-٣ | ١٧٩ | Hologic 4500 A + Discovery | [١٦٥] | ٢٠٠٧ |
| العمود الفقري، والجسم بكامله، وعنق الفخذ، والثلاث البعيد من الكعبرة | عربي/لبناني | ١٧-١٠ | ٣٦٣ | Hologic 4500A | [١٦٦] | ٢٠٠٤ |
| العمود الفقري، والجسم بكامله، وعنق الفخذ، والثلاث البعيد من الكعبرة (قياس حجمي) | عربي/لبناني | ١٧-١٠ | ٣٦٣ | Hologic 4500A | [١٦٦] | ٢٠٠٤ |
| المحتوى المعدني في عظام الجسم بكامله + تركيب الجسم | كندي | ١٨-٣ | ١٧٩ | Hologic 4500A + Discovery A | [١٦٧] | ٢٠٠٧ |
| العمود الفقري، وكثافة معادن عظام الفخذ، وحجم كثافة معادن العظام | تركي | ١٨-٢ | ٣٤٥ | Hologic QDR 4500 | [١٦٨] | ٢٠٠٦ |
| العمود الفقري، والورك، والجسم بكامله، والساعد | قوقازي، أسود، من أصل إسباني | ١٧-٧ | ١٥٥٤ | Hologic QDR 4500 | [١٤٧] | ٢٠٠٧ |
| الفقرات القطنية من الثانية حتى الرابعة، وكثافة معادن عظام عنق الفخذ | قوقازي، أسود (الولايات المتحدة الأمريكية) | ١٨-١٢ | ٣٤٢٢ | Hologic QDR 4500 W | [١٦٩] | ٢٠٠٤ |
| العمود الفقري، والورك، والجسم بكامله | بريطاني | ١٧-٦ | ٤٤٢ | Hologic QDR Discovery | [١٤٨] | ٢٠٠٧ |
| المحتوى المعدني في العظام وكثافة معادن العظام في العمود الفقري | قوقازي (البرازيل) | ١٤-٦ | ٢٥٥ | Lunar DPX | [١٧٠] | ٢٠٠١ |

الجدول ١٤ : ملخص البيانات المعيارية للأطفال نقلاً عن غوردون وآخرين (١٥٥) (تابع)
(الجنس في كل الحالات هو الذكور والإناث ما لم يتم الإشارة إلى خلاف ذلك)

| الموضع | الأصل العرقي/الجنسية | العمر | العدد | نظام ديكسا | [المراجع] | سنة النشر |
|--|------------------------------------|-------------------|-------|------------------------------|-----------|-----------|
| العمود الفقري (الفقرات القطنية من الأولى حتى الرابعة)، وعتق الفخذ، ومن منتصف حتى قصبية الساعد | قوقازي (أستراليا) | ٢٧-٥ | ٢٠٩ | Lunar DPX | [١٧١] | ١٩٩٦ |
| الجسم بكامله (بعد تصحيحه لمراعاة كتلة الجسم الخالية من الدهون) | قوقازي | ٣-٣ | ٤٥٩ | Lunar DPX | [١٧٢] | ٢٠٠٣ |
| العمود الفقري، والجسم بكامله | بولندي | ١٨-٥ | ٥٦٢ | Lunar DPX to L | [١٧٣] | ٢٠٠٥ |
| العمود الفقري، والجسم بكامله (بعد تصحيحه لمراعاة كتلة الجسم الخالية من الدهون) | غير معروف (المملكة المتحدة) | ١٨-٥ | ٦٤٦ | Lunar DPX L pencil beam | [١٧٤] | ٢٠٠٤ |
| العمود الفقري (الفقرات القطنية من الثانية حتى الرابعة) | قوقازي (إسبانيا) | ٣ أشهر – ٢١ عاماً | ٤٧١ | Lunar DPX to L | [١٧٥] | ١٩٩٤ |
| العمود الفقري، وكثافة معادن عظام الجسم بكامله، والكثافة الظاهرية لمعادن العظام | قوقازي، أسود آسيوي | ١٨-٥ | ١٥٠٨ | Lunar DPX to L/GE or Prodigy | [١٧٦] | ٢٠٠٥ |
| المحتوى المعدني في عظام الجسم بكامله، وكثافة معادن العظام | قوقازي، أسود، آسيوي، من أصل إسباني | ١٨-٦ | ١٢١٨ | Lunar DPX, DPX to L | [١٧٧] | ٢٠٠٤ |
| الجسم بكامله، والعمود الفقري (الفقرات القطنية من الأولى حتى الرابعة)، وتركيب الجسم، والكثافة الظاهرية لمعادن العظام، ومرحلة Tanner | قوقازي (هولندا) | ٢-٤ | ٤٤٤ | Lunar DPXL/PED | [١٤٩] | ٢٠٠٢ |

الجدول ١٤ : ملخص البيانات المعيارية للأطفال نقلاً عن غوردون وآخرين (١٥٥) (تابع)
(الجنس في كل الحالات هو الذكور والإناث ما لم يتم الإشارة إلى خلاف ذلك)

| الموضع | الأصل العرقي/الجنسية | العمر | العدد | نظام ديكسا | [المراجع] | سنة النشر |
|--|----------------------------|-------|-------|-------------------------------|-----------|-----------|
| العمود الفقري، والجسم بكامله، وكتلة الجسم، وحجم كثافة معادن العظام | قوقازي هولندي، أسود، آسيوي | ٢٠-٤٠ | ٥٠٠ | Lunar DPXL/PED | [١٧٨] | ١٩٩٧ |
| الجسم بكامله، والعمود الفقري، وعنق الفخذ، والكعبرة، والمَنُور | قوقازي (الأرجنتين) | ٢٠-٢٠ | ٧٧٨ | Norland XR to 26 | [١٧٩] | ١٩٩٥ |
| كثافة معادن العظام في الفقرات القطنية من الثانية حتى الرابعة، والكعبرة البعيدة (المحتوى المعدني في العظام) | صيني | ١٣-١٢ | ١٧٩ | Norland XR to 26, Norland 278 | [١٨٠] | ١٩٩٨ |
| العمود الفقري، وكثافة معادن عظام عنق الفخذ | تركي | ١٥-٣٠ | ١٠٢ | Norland XR to 35 | [١٦٨] | ٢٠٠٤ |

[†] يتجاوز عدد عمليات المسح التي شملها قواعِد البيانات عدد الأشخاص الذين تم فحصهم نظراً لتكرار عمليات مسح الأشخاص في هذه الدراسات الطولية.
[‡] جميع الأشخاص الذين تم فحصهم من الإناث.

الجدول ١٥ : الكثافة المساحية لمعادن العظام في الفقرات لقطيئة: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح المنوية حسب الجنس والسلالة والعمر
(نقلًا عن كوكوروف وآخرين [١٤٧] بتصريح من جمعية الغدد الصماء)

| أنثى، غير سوداء | | | | | | | | | | ذكر، غير أسود | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|----|-------|--|---------|---------|--------|--------|--------|-------|----|--|--|
| بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | |
| السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | |
| ٠,٦٦٨ | ٠,٦١٨ | ٠,٥٢٨ | ٠,٤٥٨ | ٠,٤٣١ | ٠,١١٦ | ٠,٦١٦- | (١٤٧) | ٧ | ٠,٦٤٣ | ٠,٦٠٥ | ٠,٥٢٧ | ٠,٤٥٥ | ٠,٤٢٣ | ٠,١١١ | ٠,٤٧٤ | (١٣٥) | ٧ | | |
| ٠,٦٩٨ | ٠,٦٤٦ | ٠,٥٥٣ | ٠,٤٧٩ | ٠,٤٤٩ | ٠,١١٧ | ٠,٥٢٤- | (١٧٧) | ٨ | ٠,٦٧٥ | ٠,٦٣٤ | ٠,٥٥٢ | ٠,٤٧٦ | ٠,٤٤٢ | ٠,١١٢ | ٠,٤٧٧ | (١٥٨) | ٨ | | |
| ٠,٧٣٠ | ٠,٦٧٦ | ٠,٥٧٨ | ٠,٤٩٩ | ٠,٤٦٧ | ٠,١١٨ | ٠,٤٣٨- | (١٥٢) | ٩ | ٠,٧٠٣ | ٠,٦٦١ | ٠,٥٧٤ | ٠,٤٩٤ | ٠,٤٥٩ | ٠,١١٣ | ٠,٤٨٤ | (١٣٢) | ٩ | | |
| ٠,٧٧٧ | ٠,٧١٨ | ٠,٦١٠ | ٠,٥٢٣ | ٠,٤٨٧ | ٠,١٢٤ | ٠,٣١٤- | (١٧٤) | ١٠ | ٠,٧٢٩ | ٠,٦٨٥ | ٠,٥٩٥ | ٠,٥١١ | ٠,٤٧٤ | ٠,١١٤ | ٠,٥١٩ | (١٥٧) | ١٠ | | |
| ٠,٨٦١ | ٠,٧٩١ | ٠,٦٦٠ | ٠,٥٥٢ | ٠,٥٠٨ | ٠,١٤٠ | ٠,٠٤٨- | (١٧٨) | ١١ | ٠,٧٥٨ | ٠,٧١٢ | ٠,٦١٨ | ٠,٥٢٩ | ٠,٤٨٩ | ٠,١١٦ | ٠,٦١٦ | (١٧٤) | ١١ | | |
| ٠,٩٧١ | ٠,٨٩٤ | ٠,٧٤٢ | ٠,٦٠٥ | ٠,٥٤٦ | ٠,١٥٢ | ٠,٤٤٣- | (١٧٥) | ١٢ | ٠,٨٠٠ | ٠,٧٥٣ | ٠,٦٥٣ | ٠,٥٥٥ | ٠,٥١٠ | ٠,١١٨ | ٠,٨٧٢ | (١٥٨) | ١٢ | | |
| ١,٠٠١ | ٠,٩٨١ | ٠,٨٣٣ | ٠,٦٨٨ | ٠,٦٢٢ | ٠,١٣٧ | ٠,٨٧٠ | (١٥٩) | ١٣ | ٠,٨٦٥ | ٠,٨١٥ | ٠,٧٠٧ | ٠,٥٩٥ | ٠,٥٤٠ | ٠,١٢١ | ١,٢٥٠ | (١٣١) | ١٣ | | |
| ١,١١٩ | ١,٠٥٢ | ٠,٩١٠ | ٠,٧٧٤ | ٠,٧١٢ | ٠,١١٩ | ٠,٧٨١ | (١٥٧) | ١٤ | ٠,٩٦٢ | ٠,٩٠٧ | ٠,٧٨٤ | ٠,٦٥٥ | ٠,٥٩٣ | ٠,١٢٥ | ١,٢٨٨ | (١٥٧) | ١٤ | | |
| ١,١٦٤ | ١,٠٩٧ | ٠,٩٥٨ | ٠,٨٢٨ | ٠,٧٦٩ | ٠,١١٠ | ٠,٥٨٢ | (١٦٤) | ١٥ | ١,٠٨٧ | ١,٠١٨ | ٠,٨٧٣ | ٠,٧٢٦ | ٠,٦٧٤ | ٠,١٢٦ | ٠,٦٩٢ | (١٥٠) | ١٥ | | |
| ١,١٨٥ | ١,١١٨ | ٠,٩٨٢ | ٠,٨٥٥ | ٠,٧٩٩ | ٠,١٠٥ | ٠,٤٧١ | (١٠٥) | ١٦ | ١,١٩٤ | ١,١١٢ | ٠,٩٥٠ | ٠,٨٠٧ | ٠,٧٤٦ | ٠,١٢٥ | ٠,٢١٣ | (١٤٤) | ١٦ | | |
| | | | | | | | | | ١,٢٧٣ | ١,١٧٩ | ١,٠٠٣ | ٠,٨٥٩ | ٠,٨٠٠ | ٠,١٢٣ | ٠,٢١١- | (٧٠) | ١٧ | | |

الجدول ١٥: الكثافة المساحية لمعادن العظام في الفقرات لقطيئية: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح المنوية حسب الجنس والسلالة والعمر (تابع)

(نقلًا عن كوالكوروف وآخرين [١٤٧] بتصريح من جمعية الغدد الصماء)

نكر، أسود

أنثى، سوداء

| بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | العمر (n) | | بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | العمر (*n) | |
|--|---------|---------|--------|--------|-------|--------|-----------------|---------|---------|-----------|--------|--|-------|-----------------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|--|------------|--|
| M | | | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | | |
| السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | |
| ٠,٦٩٨ | ٠,٦٥٧ | ٠,٥٧٠ | ٠,٤٨٥ | ٠,٤٤٦ | ٠,١١٨ | ٠,٨١٤ | ٠,٦٤٢ | ٠,٦١٥ | ٠,٥٤٩ | ٠,٤٦٦ | ٠,٤١٥ | ٠,١٠٣ | ٢,٧٧٩ | ٠,٦٤٢ | ٠,٦١٥ | ٠,٥٤٩ | ٠,٤٦٦ | ٠,٤١٥ | ٠,١٠٣ | ٢,٧٧٩ | | | |
| ٠,٧٢٤ | ٠,٦٨١ | ٠,٥٩٠ | ٠,٥٠٢ | ٠,٤٦٣ | ٠,١١٨ | ٠,٧٥٩ | ٠,٦٩٠ | ٠,٦٥٨ | ٠,٥٨٣ | ٠,٤٩١ | ٠,٤٣٩ | ٠,١١٠ | ٢,٣٧١ | ٠,٦٩٠ | ٠,٦٥٨ | ٠,٥٨٣ | ٠,٤٩١ | ٠,٤٣٩ | ٠,١١٠ | ٢,٣٧١ | | | |
| ٠,٧٦٠ | ٠,٧١٤ | ٠,٦١٨ | ٠,٥٢٧ | ٠,٤٨٦ | ٠,١١٨ | ٠,٦٨٥ | ٠,٧٢٧ | ٠,٦٩١ | ٠,٦٠٨ | ٠,٥١١ | ٠,٤٥٨ | ٠,١١٤ | ٢,٠٥٠ | ٠,٧٢٧ | ٠,٦٩١ | ٠,٦٠٨ | ٠,٥١١ | ٠,٤٥٨ | ٠,١١٤ | ٢,٠٥٠ | | | |
| ٠,٨١٨ | ٠,٧٦٨ | ٠,٦٦٤ | ٠,٥٦٧ | ٠,٥٢٤ | ٠,١١٨ | ٠,٥٧٦ | ٠,٧٥٧ | ٠,٧١٧ | ٠,٦٢٨ | ٠,٥٢٦ | ٠,٤٧٣ | ٠,١١٨ | ١,٧٧٩ | ٠,٧٥٧ | ٠,٧١٧ | ٠,٦٢٨ | ٠,٥٢٦ | ٠,٤٧٣ | ٠,١١٨ | ١,٧٧٩ | | | |
| ٠,٩١٢ | ٠,٨٥٤ | ٠,٧٣٧ | ٠,٦٣٠ | ٠,٥٨٤ | ٠,١١٨ | ٠,٤٣٣ | ٠,٧٩٤ | ٠,٧٥٠ | ٠,٦٥١ | ٠,٥٤٥ | ٠,٤٩٢ | ٠,١٢٢ | ١,٤٧١ | ٠,٧٩٤ | ٠,٧٥٠ | ٠,٦٥١ | ٠,٥٤٥ | ٠,٤٩٢ | ٠,١٢٢ | ١,٤٧١ | | | |
| ١,٠٢٩ | ٠,٩٦٢ | ٠,٨٢٩ | ٠,٧١٠ | ٠,٦٥٩ | ٠,١١٨ | ٠,٢٦٩ | ٠,٨٥٩ | ٠,٨٠٦ | ٠,٦٩٢ | ٠,٥٧٩ | ٠,٥٢٦ | ٠,١٢٨ | ١,١٢١ | ٠,٨٥٩ | ٠,٨٠٦ | ٠,٦٩٢ | ٠,٥٧٩ | ٠,٥٢٦ | ٠,١٢٨ | ١,١٢١ | | | |
| ١,١٣٥ | ١,٠٥٩ | ٠,٩١١ | ٠,٧٨١ | ٠,٧٢٧ | ٠,١١٩ | ٠,١١٣ | ٠,٩٦١ | ٠,٨٩٤ | ٠,٧٥٨ | ٠,٦٣٤ | ٠,٥٨٠ | ٠,١٣٤ | ١,٠٣١ | ٠,٩٦١ | ٠,٨٩٤ | ٠,٧٥٨ | ٠,٦٣٤ | ٠,٥٨٠ | ٠,١٣٤ | ١,٠٣١ | | | |
| ١,٢١٤ | ١,١٣١ | ٠,٩٧١ | ٠,٨٣٤ | ٠,٧٧٧ | ٠,١١٩ | ٠,٠٢١- | ١,٠٧٩ | ٠,٩٩٨ | ٠,٨٤١ | ٠,٧٠٦ | ٠,٦٤٩ | ٠,١٣٥ | ١,٠٧٩ | ٠,٩٩٨ | ٠,٨٤١ | ٠,٧٠٦ | ٠,٦٤٩ | ٠,١٣٥ | ٠,١٣٥ | ١,٠٧٩ | | | |
| ١,٢٦٨ | ١,١٧٩ | ١,٠١١ | ٠,٨٧٠ | ٠,٨١١ | ٠,١١٩ | ٠,١٢٧- | ١,١٨٥ | ١,٠٩٥ | ٠,٩٢٤ | ٠,٧٨١ | ٠,٧٢٢ | ٠,١٣٢ | ١,١٨٥ | ١,٠٩٥ | ٠,٩٢٤ | ٠,٧٨١ | ٠,٧٢٢ | ٠,١٣٢ | ٠,١٣٢ | ١,١٨٥ | | | |
| ١,٣٠٧ | ١,٢١٤ | ١,٠٤٠ | ٠,٨٩٥ | ٠,٨٣٦ | ٠,١١٩ | ٠,٢١٢- | ١,٢٥٢ | ١,١٥٧ | ٠,٩٨١ | ٠,٨٣٥ | ٠,٧٧٥ | ٠,١٢٧ | ١,٢٥٢ | ١,١٥٧ | ٠,٩٨١ | ٠,٨٣٥ | ٠,٧٧٥ | ٠,١٢٧ | ٠,١٢٧ | ١,٢٥٢ | | | |
| | | | | | | | ١,٢٨٧ | ١,١٩ | ١,٠١٢ | ٠,٨٠٦ | ٠,٨٠٦ | ٠,١٢٤ | ١,٢٨٧ | ١,١٩ | ١,٠١٢ | ٠,٨٠٦ | ٠,٨٠٦ | ٠,١٢٤ | ٠,١٢٤ | ١,٢٨٧ | | | |

* تستوفي قيم الشرائح المنوية للأطفال الذين لم يحن تاريخ ميلادهم التالي.

+ عدد الملاحظات في تلك الفئة العمرية.

الجدول ١٦: الكثافة المساحية لمعادن عظام الجسم بكامله: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح المنوية حسب الجنس والسلالة والعمر
(نقلاً عن كوكوروف وآخرين [١٤٧]، بتصريح من جمعية الغدد الصماء)

| بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | العمر (n) | | بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | العمر (*n) | |
|--|---------|---------|--------|--------|-------|--------|----------|-------|-------|-----------|-------|--|---------|---------|----------|--------|---|---|--|--|--|------------|--|
| M | | | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | | |
| السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | |
| ٠,٨٠٥ | ٠,٧٦٦ | ٠,٦٩٥ | ٠,٦٣٦ | ٠,٦١٢ | ٠,٠٧٢ | ١,١١٨- | (١٤٦) ٧ | ٠,٨٢٨ | ٠,٧٩٣ | ٠,٧٢٣ | ٠,٦٦٢ | ٠,٦٣٦ | ٠,٠٧٠ | ٠,٤٣٣- | (١٣٤) ٧ | | | | | | | | |
| ٠,٨٤٦ | ٠,٨٠٦ | ٠,٧٣٢ | ٠,٦٧٠ | ٠,٦٤٤ | ٠,٠٧٢ | ٠,٩٥٢- | (١٧٣) ٨ | ٠,٨٧٠ | ٠,٨٣٣ | ٠,٧٦٢ | ٠,٦٩٩ | ٠,٦٧٣ | ٠,٠٦٨ | ٠,٤٧١- | (١٥٤) ٨ | | | | | | | | |
| ٠,٨٨٤ | ٠,٨٤٤ | ٠,٧٦٧ | ٠,٧٠٢ | ٠,٦٧٤ | ٠,٠٧٢ | ٠,٧٩٢- | (١٥٠) ٩ | ٠,٩٠٦ | ٠,٨٦٩ | ٠,٧٩٧ | ٠,٧٣٣ | ٠,٧٠٦ | ٠,٠٦٦ | ٠,٥٠٦- | (١٢٨) ٩ | | | | | | | | |
| ٠,٩٢٧ | ٠,٨٨٥ | ٠,٨٠٥ | ٠,٧٣٦ | ٠,٧٠٦ | ٠,٠٧٢ | ٠,٦١٨- | (١٧٣) ١٠ | ٠,٩٣٨ | ٠,٩٠٠ | ٠,٨٢٧ | ٠,٧٦٢ | ٠,٧٣٥ | ٠,٠٦٥ | ٠,٥٣٨- | (١٥٦) ١٠ | | | | | | | | |
| ٠,٩٧٧ | ٠,٩٣٣ | ٠,٨٤٧ | ٠,٧٧٢ | ٠,٧٤٠ | ٠,٠٧٤ | ٠,٤١٤- | (١٧٦) ١١ | ٠,٩٦٨ | ٠,٩٢٩ | ٠,٨٥٥ | ٠,٧٨٩ | ٠,٧٦١ | ٠,٠٦٤ | ٠,٥٦٨- | (١٧٢) ١١ | | | | | | | | |
| ١,٠٤٢ | ٠,٩٩٤ | ٠,٩٠٠ | ٠,٨١٦ | ٠,٧٨٠ | ٠,٠٧٧ | ٠,١٥٤- | (١٧١) ١٢ | ١,٠٠٤ | ٠,٩٦٤ | ٠,٨٨٦ | ٠,٨١٨ | ٠,٧٨٩ | ٠,٠٦٤ | ٠,٦٠٢- | (١٥٦) ١٢ | | | | | | | | |
| ١,١١٣ | ١,٠٦٤ | ٠,٩٦٣ | ٠,٨٧١ | ٠,٨٣٠ | ٠,٠٧٨ | ٠,١٤٨ | (١٥٧) ١٣ | ١,٠٥٣ | ١,٠١٠ | ٠,٩٢٦ | ٠,٨٥٣ | ٠,٨٢٢ | ٠,٠٦٦ | ٠,٦٤٥- | (١٣٠) ١٣ | | | | | | | | |
| ١,١٧٣ | ١,١٢٣ | ١,٠٢١ | ٠,٩٢٥ | ٠,٨٨٢ | ٠,٠٧٦ | ٠,٤٣٣ | (١٥٦) ١٤ | ١,١٢٢ | ١,٠٧٢ | ٠,٩٧٧ | ٠,٨٩٦ | ٠,٨٦١ | ٠,٠٧٠ | ٠,٦٩٦- | (١٥٦) ١٤ | | | | | | | | |
| ١,٢٠٧ | ١,١٥٩ | ١,٠٥٩ | ٠,٩٦٣ | ٠,٩١٩ | ٠,٠٧٢ | ٠,٦٣٨ | (١٦١) ١٥ | ١,٢٠٥ | ١,١٤٦ | ١,٠٣٨ | ٠,٩٤٦ | ٠,٩٠٧ | ٠,٠٧٥ | ٠,٧٥٥- | (١٥١) ١٥ | | | | | | | | |
| ١,٢٢٤ | ١,١٧٧ | ١,٠٧٩ | ٠,٩٨٣ | ٠,٩٣٩ | ٠,٠٧٠ | ٠,٧٥٤ | (١٥٠) ١٦ | ١,٢٨٧ | ١,٢٢١ | ١,٠٩٨ | ٠,٩٩٦ | ٠,٩٥٤ | ٠,٠٧٩ | ٠,٨١٥- | (١٤٠) ١٦ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | ١,٣٥٨ | ١,٢٨٥ | ١,١٥١ | ١,٠٤١ | ٠,٩٩٦ | ٠,٠٨٢ | ٠,٨٧٢- | (٧٠) ١٧ | | | | | | | | |

أنثى، غير سوداء

ذكر، غير أسود

الجدول ١٦: الكثافة المساحية لمعادن عظام الجسم بكامله: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح السنوية حسب الجنس والسلالة والعمر (تابع)
(نقلا عن كوالكوروف وآخرين [١٤٧]، بتصريح من جمعية الغدد الصماء)
نكر، أسود

| بارامترات LMS نموذج الشريحة السنوية | | | | | | | | | | (n) العمر | | بارامترات LMS نموذج الشريحة السنوية | | (*n) العمر | |
|--|---------|---------|--------|--------|-------|--------|-----------------|---------|---------|-----------|--------|--|-------|------------|--|
| M | | | | | | | | | | | | M | | | |
| السابغ والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | السابغ والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | |
| ٠,٨٣٤ | ٠,٨١٠ | ٠,٧٥٣ | ٠,٦٩٠ | ٠,٦٥٧ | ٠,٠٦٢ | ٢,٤٠٢ | (٣٧) ٧ | ٠,٨٥٩ | ٠,٨٣٥ | ٠,٧٧٨ | ٠,٧٠٦ | ٠,٠٦٤ | ٣,٧٥٦ | (٣٥) ٧ | |
| ٠,٨٧٦ | ٠,٨٤٩ | ٠,٧٨٧ | ٠,٧٢٠ | ٠,٦٨٧ | ٠,٠٦٣ | ٢,٠١٢ | (٤٩) ٨ | ٠,٩١٠ | ٠,٨٨٣ | ٠,٨٢٠ | ٠,٧٤٤ | ٠,٠٦٥ | ٣,٢٤١ | (٤٣) ٨ | |
| ٠,٩١٤ | ٠,٨٨٤ | ٠,٨١٧ | ٠,٧٤٧ | ٠,٧١٣ | ٠,٠٦٥ | ١,٦٣٥ | (٤٥) ٩ | ٠,٩٥٤ | ٠,٩٢٥ | ٠,٨٥٧ | ٠,٧٧٩ | ٠,٠٦٦ | ٢,٧٨٠ | (٤٦) ٩ | |
| ٠,٩٦٢ | ٠,٩٢٨ | ٠,٨٥٥ | ٠,٧٨١ | ٠,٧٤٦ | ٠,٠٦٧ | ١,١٦٤ | (٥٣) ١٠ | ٠,٩٩٢ | ٠,٩٦١ | ٠,٨٩٠ | ٠,٨٠٩ | ٠,٠٦٦ | ٢,٣٦٤ | (٤٥) ١٠ | |
| ١,٠٣٦ | ٠,٩٩٦ | ٠,٩١٢ | ٠,٨٣٢ | ٠,٧٩٦ | ٠,٠٧٠ | ٠,٥٢٥ | (٤٧) ١١ | ١,٠٢٧ | ٠,٩٩٤ | ٠,٩١٨ | ٠,٨٣٥ | ٠,٠٦٧ | ١,٩٧٩ | (٤٩) ١١ | |
| ١,١٢١ | ١,٠٧٢ | ٠,٩٧٥ | ٠,٨٨٩ | ٠,٨٥١ | ٠,٠٧٣ | ٠,١٧٤- | (٥٨) ١٢ | ١,٠٦٦ | ١,٠٢٩ | ٠,٩٤٧ | ٠,٨٦١ | ٠,٠٦٩ | ١,٥٧٣ | (٤٦) ١٢ | |
| ١,١٩٢ | ١,١٣٣ | ١,٠٢٥ | ٠,٩٣٣ | ٠,٨٩٥ | ٠,٠٧٦ | ٠,٧٨٦- | (٥٣) ١٣ | ١,١٢٦ | ١,٠٨٢ | ٠,٩٨٧ | ٠,٨٩١ | ٠,٠٧٥ | ١,٠٧٩ | (٥١) ١٣ | |
| ١,٢٥٤ | ١,١٨٦ | ١,٠٦٦ | ٠,٩٧٠ | ٠,٩٣٢ | ٠,٠٧٨ | ١,٢٩٣- | (٥٨) ١٤ | ١,٢١٨ | ١,١٦١ | ١,٠٤٣ | ٠,٩٢٩ | ٠,٠٨٧ | ٠,٦٢٣ | (٥٥) ١٤ | |
| ١,٣٠٤ | ١,٢٢٨ | ١,٠٩٨ | ٠,٩٩٩ | ٠,٩٦٠ | ٠,٠٨٠ | ١,٦٧٧- | (٤٧) ١٥ | ١,٣١٤ | ١,٢٤٦ | ١,١٠٧ | ٠,٩٧٨ | ٠,٠٩٤ | ٠,٣٧٥ | (٤٥) ١٥ | |
| ١,٣٣٦ | ١,٢٥٣ | ١,١١٧ | ١,٠١٦ | ٠,٩٧٧ | ٠,٠٨١ | ١,٩١٨- | (٢٢) ١٦ | ١,٣٧٤ | ١,٣٠٤ | ١,١٦٢ | ١,٠٣٢ | ٠,٠٩١ | ٠,٢٤٢ | (٤٣) ١٦ | |
| | | | | | | | | ١,٤٠٠ | ١,٣٣٤ | ١,٢٠١ | ١,٠٨٠ | ١,٠٢٧ | ٠,١١٧ | (١٩) ١٧ | |

* تستوفي قيم الشرائح السنوية للأطفال الذين لم يحن تاريخ ميلادهم التالي.

+ عدد الملاحظات في تلك الفئة العمرية.

الجدول ١٧: المحتوى المعنوي في عظام الفقرات الفُطْنِيَّة: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح المنوية حسب الجنس والسلالة والعمر
(نقلًا عن كوكوروف وآخرين [١٤٧]، بتصريح من جمعية غدد الصماء)

| أنثى، غير سوداء | | | | | | | | | | العمر (n) | | | | | | | | | | العمر (*n) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|----------|------|------|-----------------------|-----------------|---------|---------|--------|----------|------|------|------|------|-----------------------|-------|-----------------|----------|---------|--------|--------|------|------|-------|-------|----------|------|------|------|------|------|-------|-------|----------|-------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٢٣,٨ | ٢١,٥ | ١٧,٦ | ١٤,٨ | ١٣,٧ | ٠,١٤٦ | ٠,٥٨٤- | (١٤٧) ٧ | ٢٤,٣ | ٢٢,٤ | ١٨,٧ | ١٥,٤ | ١٤,١ | ٠,١٤٦ | ٠,٢٥٩ | (١٣٥) ٧ | ٢٦,٦ | ٢٤,٩ | ٢٠,٧ | ١٧,١ | ١٥,٦ | ٠,١٤٦ | ٠,٢٦١ | (١٥٨) ٨ | ٢٩,٧ | ٢٧,٣ | ٢٢,٧ | ١٨,٧ | ١٧,١ | ٠,١٤٧ | ٠,٢٦٣ | (١٣٢) ٩ | ٣٢,٥ | ٣٠,٢ | ٢٦,٠ | ٢٢,٠ | ١٨,٥ | ٠,١٤٨ | ٠,٢٦٥ | (١٥٧) ١٠ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٢٦,٦ | ٢٣,٩ | ١٩,٥ | ١٦,٢ | ١٤,٩ | ٠,١٥٣ | ٠,٥٥٣- | (١٧٧) ٨ | ٢٧,٠ | ٢٤,٩ | ٢٠,٧ | ١٧,١ | ١٥,٦ | ٠,١٤٦ | ٠,٢٥٩ | (١٣٥) ٧ | ٢٩,٧ | ٢٧,٣ | ٢٢,٧ | ١٨,٧ | ١٧,١ | ٠,١٤٧ | ٠,٢٦٣ | (١٣٢) ٩ | ٣٢,٥ | ٣٠,٢ | ٢٦,٠ | ٢٢,٠ | ١٨,٥ | ٠,١٤٨ | ٠,٢٦٥ | (١٥٧) ١٠ | ٣٤,٩ | ٣٢,٦ | ٢٨,١ | ٢٨,١ | ١٩,٩ | ٠,١٥٠ | ٠,٢٦٦ | (١٧٤) ١١ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٢٩,٦ | ٢٦,٥ | ٢١,٤ | ١٧,٦ | ١٦,٢ | ٠,١٥٩ | ٠,٥١٥- | (١٥٢) ٩ | ٢٩,٧ | ٢٧,٣ | ٢٢,٧ | ١٨,٧ | ١٧,١ | ٠,١٤٧ | ٠,٢٦٣ | (١٣٢) ٩ | ٣٢,٥ | ٣٠,٢ | ٢٦,٠ | ٢٢,٠ | ١٨,٥ | ٠,١٤٧ | ٠,٢٦٣ | (١٣٢) ٩ | ٣٤,٩ | ٣٢,٦ | ٢٨,١ | ٢٨,١ | ١٩,٩ | ٠,١٥٠ | ٠,٢٦٦ | (١٧٤) ١١ | ٣٧,٥ | ٣٥,٢ | ٣٠,٩ | ٢٧,٦ | ٢٤,١ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٣٣,٥ | ٢٩,٨ | ٢٣,٨ | ١٩,٤ | ١٧,٧ | ٠,١٦٨ | ٠,٤٥٠- | (١٧٤) ١٠ | ٣٢,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ١٨,٥ | ٠,١٤٨ | ٠,٢٦٥ | (١٥٧) ١٠ | ٣٥,٠ | ٣٢,٦ | ٢٨,١ | ٢٨,١ | ١٩,٩ | ٠,١٥٠ | ٠,٢٦٦ | (١٧٤) ١١ | ٣٧,٥ | ٣٥,٢ | ٣٠,٩ | ٢٧,٦ | ٢٤,١ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٣٩,٥ | ٣٦,٧ | ٢٩,٧ | ٢٤,١ | ٢١,٨ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٣٩,٧ | ٣٥,٢ | ٢٧,٧ | ٢٢,١ | ٢٠,٠ | ٠,١٨٢ | ٠,٢٩٥- | (١٧٨) ١١ | ٣٥,٠ | ٣٢,٦ | ٢٨,١ | ٢٨,١ | ١٩,٩ | ٠,١٥٠ | ٠,٢٦٦ | (١٧٤) ١١ | ٣٧,٥ | ٣٤,٩ | ٢٧,٦ | ٢٨,١ | ١٩,٩ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٣٩,٥ | ٣٦,٧ | ٢٩,٧ | ٢٤,١ | ٢١,٨ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٤١,٨ | ٣٩,٥ | ٣٤,٩ | ٢٧,٦ | ٢٤,١ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٤٩,٠ | ٤٣,٦ | ٣٤,٠ | ٢٦,٥ | ٢٣,٥ | ٠,١٩٥ | ٠,١٠٠ | (١٧٥) ١٢ | ٤٨,٠ | ٤٣,٥ | ٣٦,٧ | ٢٩,٧ | ٢٤,١ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٤٨,٠ | ٤٣,٥ | ٣٦,٧ | ٢٩,٧ | ٢٤,١ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٤٨,٠ | ٤٣,٥ | ٣٦,٧ | ٢٩,٧ | ٢٤,١ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٨,٠ | ٣٦,٠ | ٣٦,٠ | ٢٨,١ | ٢٨,١ | ١٩,٩ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٥٩,٢ | ٥٣,٢ | ٤١,٨ | ٣٢,٢ | ٢٨,٢ | ٠,١٩٦ | ٠,٣٢٦ | (١٥٩) ١٣ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥٣,٢ | ٥٠,٩ | ٤٦,٣ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٦٦,٤ | ٦٠,٢ | ٤٨,١ | ٣٧,٥ | ٣٣,٠ | ٠,١٨٤ | ٠,٤٧١ | (١٥٧) ١٤ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥٣,٢ | ٥٠,٩ | ٤٦,٣ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٧٠,١ | ٦٤,٠ | ٥٢,٠ | ٤١,٢ | ٣٦,٥ | ٠,١٧٢ | ٠,٥١٠ | (١٦٤) ١٥ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥٣,٢ | ٥٠,٩ | ٤٦,٣ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ٧١,٩ | ٦٦,٠ | ٥٤,١ | ٤٣,٤ | ٣٨,٨ | ٠,١٦٢ | ٠,٥٢٢ | (١٠٥) ١٦ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥١,٠ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | ٥٣,٢ | ٥٠,٩ | ٤٦,٣ | ٤٦,٣ | ٢٩,٧ | ٢٤,٧ | ٢٠,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,٢٦٩ | (١٥٨) ١٢ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | </ |

الجدول ١٧: المحتوى المعدني في عظام الفقرات القطنية: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح المنوية حسب الجنس والسلالة والعمر (تابع)
(نقلاً عن كوالكوروف وآخرين [١٤٧]، بتصريح من جمعية غدد الصماء)

| أنثى، سوداء | | | | | | | | | | العمر (*n) | | بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | العمر (*n) | | | |
|-----------------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|---------|------|------|------------|-----------------|-------------------------------------|---------|--------|---------|---------------------------|---|------------|--|--|--|
| M | | | | | | | | | | M | | | | | | LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | |
| السايع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | السايع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | |
| ٢٥,٢ | ٢٢,٦ | ١٨,٥ | ١٥,٧ | ١٤,٦ | ٠,١٤٢ | ٠,٩٤٧- | (٣٧) ٧ | ٢٤,٥ | ٢٢,٩ | ١٩,٣ | ١٥,٨ | ١٤,١ | ٠,١٤٣ | ١,٠٣٩ | (٣٥) ٧ | | | | | | |
| ٢٧,٤ | ٢٤,٥ | ٢٠,٠ | ١٦,٧ | ١٥,٥ | ٠,١٤٩ | ٠,٧٨٥- | (٥٠) ٨ | ٢٧,٧ | ٢٥,٨ | ٢١,٦ | ١٧,٦ | ١٥,٧ | ٠,١٤٨ | ٠,٨٧١ | (٤٤) ٨ | | | | | | |
| ٣٠,٥ | ٢٧,٣ | ٢٢,٠ | ١٨,٢ | ١٦,٧ | ٠,١٥٩ | ٠,٥٥٦- | (٤٥) ٩ | ٣٠,٩ | ٢٨,٥ | ٢٣,٨ | ١٩,٣ | ١٧,٣ | ٠,١٥٢ | ٠,٦٧٣ | (٤٧) ٩ | | | | | | |
| ٣٦,٠ | ٣٢,٢ | ٢٥,٦ | ٢٠,٦ | ١٨,٧ | ٠,١٧٤ | ٠,٢٤٣- | (٥٥) ١٠ | ٣٤ | ٣١,٢ | ٢٥,٨ | ٢٠,٩ | ١٨,٨ | ٠,١٥٧ | ٠,٤٤٥ | (٤٥) ١٠ | | | | | | |
| ٤٥,٠ | ٤٠,٣ | ٣١,٧ | ٢٤,٩ | ٢٢,٢ | ٠,١٨٨ | ٠,٠١٧ | (٤٨) ١١ | ٣٨,١ | ٣٤,٧ | ٢٨,٢ | ٢٢,٨ | ٢٠,٦ | ٠,١٦٣ | ٠,١٣٩ | (٤٩) ١١ | | | | | | |
| ٥٥,٥ | ٤٩,٨ | ٣٩,٣ | ٣٠,٨ | ٢٧,٥ | ٠,١٨٧ | ٠,١٠٢ | (٦١) ١٢ | ٤٥,٠ | ٤٠,٢ | ٣١,٩ | ٢٥,٧ | ٢٣,٣ | ٠,١٧٤ | ٠,٢٧٩- | (٤٦) ١٢ | | | | | | |
| ٦٣,٦ | ٥٧,٥ | ٤٥,٩ | ٣٦,٣ | ٣٢,٤ | ٠,١٧٩ | ٠,٢٠٣ | (٥٨) ١٣ | ٥٥,٩ | ٤٨,٩ | ٣٧,٧ | ٣٠,٠ | ٢٧,١ | ٠,١٩٠ | ٠,٥٠٣- | (٥٢) ١٣ | | | | | | |
| ٧٠,٠ | ٦٣,٣ | ٥٠,٨ | ٤٠,٤ | ٣٦,٣ | ٠,١٧٥ | ٠,١٥٢ | (٦٣) ١٤ | ٦٨,٤ | ٥٩,٩ | ٤٥,٨ | ٣٥,٦ | ٣١,٨ | ٠,٢٠٣ | ٠,٢٤٥- | (٥٧) ١٤ | | | | | | |
| ٧٤,٣ | ٦٧,١ | ٥٤,٠ | ٤٣,٤ | ٣٩,٢ | ٠,١٧٠ | ٠,٠٣٢ | (٤٩) ١٥ | ٧٩,٦ | ٧٠,٦ | ٥٤,٣ | ٤١,٦ | ٣٦,٧ | ٠,٢٠٦ | ٠,٠٦٣ | (٤٤) ١٥ | | | | | | |
| ٧٧,٠ | ٦٩,٦ | ٥٦,٢ | ٤٥,٦ | ٤١,٤ | ٠,١٦٥ | ٠,٠٧٢- | (٢٦) ١٦ | ٨٦,٨ | ٧٧,٤ | ٦٠,٣ | ٤٦,٥ | ٤١,١ | ٠,١٩٨ | ٠,١٣٧ | (٤٤) ١٦ | | | | | | |
| | | | | | | | | ٩٠,٧ | ٨١,٦ | ٦٣,٨ | ٤٩,٩ | ٤٤,٥ | ٠,١٨٩ | ٠,٠٦٥ | (٢١) ١٧ | | | | | | |

* تستوفي قيم الشرائح المنوية للأطفال الذين لم يحن تاريخ ميلادهم التالي.
+ عدد الملاحظات في تلك الفئة العمرية.

الجدول ١٨ : المحتوى المعدني في عظام الجسم بكامله: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح العنوية حسب الجنس والسلالة والعمر
(نقلاً عن كوكوروف وآخرين) [١٤٧] بتصريح من جمعية غدد الصماء)

نكر، غير أسود

أنثى، غير سوداء

| بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | بارامترات LMS نموذج الشريحة المنوية | | | | | العمر (*n) | |
|--|---------|---------|--------|--------|-------|--------|----------|----------------|---------|--|--------|--------|-------|--------|------------|--|
| M | | | | | | | | | | M | | | | | | |
| السلع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | السلع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | |
| ١٠٠٦,١ | ٩٣٠,٦ | ٧٩٩,٥ | ٦٩٨,٣ | ٦٥٨,٦ | ٠,١١٢ | ٠,٨٠٦- | (١٤٦) ٧ | ١٠٣٥,٨ | ٩٦٤,٦ | ٨٣٣,٦ | ٧٢٦,٣ | ٦٨٢,٨ | ٠,١١١ | ٠,٤٠٤- | (١٣٤) ٧ | |
| ١١١٢,٧ | ١٠٢٩,٤ | ٨٨٤,٧ | ٧٧٣,١ | ٧٢٩,٣ | ٠,١١١ | ٠,٨١٣- | (١٧٣) ٨ | ١١٥٢,٤ | ١٠٧٣,٦ | ٩٢٨,٣ | ٨٠٨,٧ | ٧٦٠,٠ | ٠,١١٠ | ٠,٣٧٧- | (١٥٤) ٨ | |
| ١٢٢٠,٢ | ١١٢٨,٣ | ٩٦٩,٠ | ٨٤٦,٥ | ٧٩٨,٤ | ٠,١١٢ | ٠,٨٢٢- | (١٥٠) ٩ | ١٢٦٥,٢ | ١١٧٩,٤ | ١٠٢٠,٦ | ٨٨٩,٤ | ٨٣٥,٨ | ٠,١١٠ | ٠,٣٥٣- | (١٢٨) ٩ | |
| ١٣٦٣,٣ | ١٢٥٥,٢ | ١٠٦٩,٣ | ٩٢٧,٨ | ٨٧٢,٧ | ٠,١١٧ | ٠,٨٠٣- | (١٧٣) ١٠ | ١٣٧٣,٦ | ١٢٨٠,٩ | ١١٠٨,٩ | ٩٦٦,٣ | ٩٠٨,٠ | ٠,١١٠ | ٠,٣٣- | (١٥٦) ١٠ | |
| ١٦٠١,٦ | ١٤٥٦,٦ | ١٢١٠,٢ | ١٠٢٥,٤ | ٩٥٤,٤ | ٠,١٣٦ | ٠,٦٤٢- | (١٧٦) ١١ | ١٤٩٧,٨ | ١٣٩٦,٢ | ١٢٠٧,١ | ١٠٥٠,٠ | ٩٨٥,٧ | ٠,١١١ | ٠,٣٠٢- | (١٧٢) ١١ | |
| ١٩١١,٢ | ١٧٣٣,١ | ١٤١٢,١ | ١١٥٧,٢ | ١٠٥٦,٣ | ٠,١٥٨ | ٠,١٤١- | (١٧١) ١٢ | ١٦٧٨,٩ | ١٥٦٠,٩ | ١٣٤١,٥ | ١١٥٩,٦ | ١٠٨٥,٢ | ٠,١١٦ | ٠,٢٥٩- | (١٥٦) ١٢ | |
| ٢١٥٨,٩ | ١٩٨٦,٤ | ١٦٤٠,٩ | ١٣٢٧,٥ | ١١٩٢,١ | ٠,١٥٧ | ٠,٥١٤ | (١٥٧) ١٣ | ١٩٦٠,٢ | ١٨١٠,٨ | ١٥٣٤,٤ | ١٣٠٦,٨ | ١٢١٤,٣ | ٠,١٢٧ | ٠,١٩٢- | (١٣٠) ١٣ | |
| ٢٣٢١,٤ | ٢١٦٣,٣ | ١٨٢٩,٧ | ١٥٠٣,٠ | ١٣٥٢,٩ | ٠,١٤١ | ٠,٨٨٤ | (١٥٦) ١٤ | ٢٣٤٩,٩ | ٢١٥٤,٦ | ١٧٩٥,٠ | ١٥٠١,٤ | ١٣٨٢,٩ | ٠,١٤١ | ٠,١٢١- | (١٥٦) ١٤ | |
| ٢٤١٧,٦ | ٢٢٧٠,٠ | ١٩٥٣,١ | ١٦٣٣,٩ | ١٤٨٣,٧ | ٠,١٢٧ | ١,٠٤٢ | (١٦١) ١٥ | ٢٧٥٤,٢ | ٢٥١٨,٧ | ٢٠٨٦,١ | ١٧٣٤,١ | ١٥٩٢,٤ | ٠,١٤٦ | ٠,١٠٤- | (١٥١) ١٥ | |
| ٢٤٦٦,٢ | ٢٣٢٦,٩ | ٢٠٢٥,٠ | ١٧١٦,٦ | ١٥٦٩,٧ | ٠,١١٨ | ١,١٤٠ | (١٠٥) ١٦ | ٣٠٨١,٢ | ٢٨١٨,٥ | ٢٣٣٩,١ | ١٩٥١,٦ | ١٧٩٦,٣ | ٠,١٤٣ | ٠,١٥٨- | (١٤٠) ١٦ | |
| | | | | | | | | ٣٣٢٢,٠ | ٣٠٤٠,٥ | ٢٥٣٢,٣ | ٢١٢٦,٣ | ١٩٦٤,٧ | ٠,١٣٩ | ٠,٢٥٦- | (٧٠) ١٧ | |

الجدول ١٨ : المحتوى المعدني في عظام الجسم بكامله: قيم LMS ومجموعة مختارة من نماذج الشرائح المنوية حسب الجنس والسلالة والعمر (تابع)
(نقلًا عن كوالكوروف وآخرين) [١٤٧] بتصريح من جمعية غدد الصماء)

| أنثى، سوداء | | | | | | | | | | بارامترات LMS | | | | | | | | | | العمر (*n) | |
|-----------------------|---------|---------|--------|--------|-------|--------|------|----|--------|-----------------------|-----------------|---------|---------|--------|--------|--------|------|----|--|------------|--|
| نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | نموذج الشريحة المنوية | | | | | | | | | | العمر (*n) | |
| M | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | | |
| السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | | السابع والتسعون | التسعون | الخمسون | العاشر | الثالث | S | L | | | | |
| ١٠٨٣,٢ | ١٠١١,٢ | ٨٨٣,٧ | ٧٨٣,٢ | ٧٤٣,٢ | ٠,٠٩٩ | ٠,٨٦٠- | (٣٧) | ٧ | ١٠٥٣,٩ | ١٠١١,٢ | ٩١١,٢ | ٧٩٤,٩ | ٧٣٢,٣ | ٠,٠٩٢ | ٢,٢٦٦ | (٣٥) | ٧ | | | | |
| ١١٩٠,٣ | ١١٠٦,٨ | ٩٥٩,٥ | ٨٤٤,١ | ٧٩٨,٣ | ٠,١٠٥ | ٠,٧٩٣- | (٤٩) | ٨ | ١١٨٩,٢ | ١١٣٦,٤ | ١٠١٤,٥ | ٨٧٦,٢ | ٨٠٣,٦ | ٠,٠٩٩ | ١,٩٨٠ | (٤٣) | ٨ | | | | |
| ١٣٠٥,٦ | ١٢١٠,٤ | ١٠٤١,٨ | ٩٠٩,٠ | ٨٥٦,٣ | ٠,١١١ | ٠,٦٧١- | (٤٥) | ٩ | ١٣٣١,١ | ١٢٦٦,٢ | ١١١٩,٠ | ٩٥٧,٠ | ٨٧٤,٤ | ٠,١٠٧ | ١,٦٩٠ | (٤٦) | ٩ | | | | |
| ١٤٧٢,٠ | ١٣٦٤,٨ | ١١٦٧,٧ | ١٠٠٦,١ | ٩٤٠,٥ | ٠,١١٩ | ٠,٣٠٣- | (٥٣) | ١٠ | ١٤٩٠,٣ | ١٤٠٩,٧ | ١٢٣٠,٩ | ١٠٤١,٦ | ٩٤٨,٤ | ٠,١١٦ | ١,٣٨٣ | (٤٥) | ١٠ | | | | |
| ١٧٢٩,١ | ١٦١٢,٥ | ١٣٧٩,٦ | ١١٦٨,٣ | ١٠٧٦,٧ | ٠,١٢٦ | ٠,٣٩٤ | (٤٧) | ١١ | ١٦٨٩,١ | ١٥٨٥,٦ | ١٣٦٣,٢ | ١١٣٩,٥ | ١٠٣٤,٣ | ٠,١٢٨ | ١,٠٣٩ | (٤٩) | ١١ | | | | |
| ٢٠٣٠,٩ | ١٨٩٨,٣ | ١٦٢٥,٤ | ١٣٦٧,٩ | ١٢٥٢,٩ | ٠,١٢٧ | ٠,٦٤٦ | (٥٨) | ١٢ | ١٩٥٦,٣ | ١٨١٦,٩ | ١٥٣٠,٨ | ١٢٦٢,٢ | ١١٤٢,٩ | ٠,١٤١ | ٠,٦٥٤ | (٤٦) | ١٢ | | | | |
| ٢٢٨٢,٠ | ٢١٢٨,٠ | ١٨١٨,٥ | ١٥٣٥,٦ | ١٤١٢,٣ | ٠,١٢٧ | ٠,٤٤٩ | (٥٣) | ١٣ | ٢٣٠٧,٥ | ٢١١٤,٤ | ١٧٤١,١ | ١٤١٨,٣ | ١٢٨٣,٤ | ٠,١٥٦ | ٠,٢٧٢ | (٥١) | ١٣ | | | | |
| ٢٤٩٩,٩ | ٢٣١٧,٦ | ١٩٦٧,١ | ١٦٦٤,٨ | ١٥٣٨,٢ | ٠,١٢٩ | ٠,١٠٦ | (٥٨) | ١٤ | ٢٧٠٤,٤ | ٢٤٤٩,٤ | ١٩٨٣,٠ | ١٦٠٦,٧ | ١٤٥٦,٦ | ٠,١٦٤ | ٠,٠١٩- | (٥٥) | ١٤ | | | | |
| ٢٦٦٤,٧ | ٢٤٥٦,٦ | ٢٠٧٠,٣ | ١٧٥١,٣ | ١٦٢١,٥ | ٠,١٣٢ | ٠,١٣١- | (٤٧) | ١٥ | ٣٠٥٣,٢ | ٢٧٥٧,١ | ٢٢٢٨,١ | ١٨١٢,٤ | ١٦٤٩,٢ | ٠,١٦٤ | ٠,١٥٠- | (٤٥) | ١٥ | | | | |
| ٢٧٧٧,٤ | ٢٥٤٩,٨ | ٢١٣٧,٠ | ١٨٠٥,٤ | ١٦٧٢,٧ | ٠,١٣٥ | ٠,٢٦٦- | (٢٢) | ١٦ | ٣٢٩٤,٥ | ٢٩٩٣,٩ | ٢٤٥١,٥ | ٢٠١٩,٧ | ١٨٤٨,٤ | ٠,١٥٤ | ٠,١٥٧- | (٤٣) | ١٦ | | | | |
| | | | | | | | | | | ٣٤٥٣,٧ | ٣١٧,٢ | ٢٦٤٧,٥ | ٢٢١٩,٣ | ٢٠٤٦,٢ | ٠,١٣٩ | ٠,١٢٠- | (١٩) | ١٧ | | | |

* تستوفي قيم الشرائح المنوية للأطفال الذين لم يحن تاريخ ميلادهم التالي.

+ عدد الملاحظات في تلك الفئة العمرية.

المراجع

- [1] KELLY, T.L., SLOVIK, D.M., NEER, R.M., Calibration and standardization of bone mineral densitometers, *J. Bone Miner. Res.* 4 5 (1989) 663–669.
- [2] LASKEY, M., PHIL, D., Dual-energy X ray absorptiometry and body composition, *Nutrition* 12 1 (1996) 45–51.
- [3] KELLY, T.L., BERGER, N., RICHARDSON, T.L., DXA body composition: Theory and practice, *Appl. Rad. Isot.* 49 5–6 (1998) 511–513.
- [4] PIETROBELLI, A., et al., Dual-energy X ray absorptiometry body composition model: Review of physical concepts, *Am. J. Physiol.* 271 6 Pt 1 (1996) E941–951.
- [5] BLAKE, G.M., FOGELMAN, I., Technical principles of dual energy X ray absorptiometry, *Sem. Nucl. Med.* 27 3 (1997) 210–228.
- [6] ROSS, P.D., et al., Body size accounts for most differences in bone density between Asian and Caucasian women. The EPIC (early postmenopausal interventional cohort) study group, *Calcif. Tissue Int.* 59 5 (1996) 339–343.
- [7] BAIM, S., et al., Official positions of the International Society for Clinical Densitometry and executive summary of the 2007 ISCD position development conference, *J. Clin. Densitom.* 11 1 (2008) 75–91.
- [8] KOOT, V.C., et al., Evaluation of the Singh index for measuring osteoporosis, *J. Bone Joint Surg. Br.* 78 5 (1996) 831–834.
- [9] KAWASHIMA, T., UHTHOFF, H.K., Pattern of bone loss of the proximal femur: A radiologic, densitometric, and histomorphometric study, *J. Orthop. Res.* 9 5 (1991) 634–640.
- [10] SHEPHERD, J.A., et al., Metacarpal index and bone mineral density in healthy African-American women, *Osteoporosis Int.* 16 12 (2005) 1621–1626.
- [11] COSMAN, F., et al., Radiographic absorptiometry: A simple method for determination of bone mass, *Osteoporosis Int.* 2 1 (1991) 34–38.
- [12] YATES, A.J., et al., Radiographic absorptiometry in the diagnosis of osteoporosis, *Am. J. Med.* 98 2A (1995) 41S–47S.
- [13] SCHMITT, J.C., KRANER, H., A Bone Density Scanner Using Gamma Ray Attenuation with a Ge(hp) Detector, BNL, Upton (1972).
- [14] KRANER, H., PATERSON, J.F., SMITH, J.C., Combined cortical thickness and bone density determination by photon absorptiometry, *Physics Med. Biol.* 23 (1978) 1101–1114.

- [15] WAHNER, H.W., DUNN, W.L., RIGGS, B.L., Noninvasive bone mineral measurements, *Semin. Nucl. Med.* 13 3 (1983) 282–289.
- [16] GENANT, H.K., BOYD, D., Quantitative bone mineral analysis using dual energy computed tomography, *Invest. Radiol.* 12 6 (1977) 545–551.
- [17] RICHARDSON, M.L., et al., Assessment of metabolic bone diseases by quantitative computed tomography, *Clin. Orthop.* 195 (1985) 224–238.
- [18] STEIN, J.A., LAZEWATSKY, J.L., HOCHBERG, A.M., Dual energy X ray bone densitometer incorporating an internal reference system, *Radiology* 165(P) (1987) 313.
- [19] KELLY, T., et al., Quantitative digital radiography versus dual photon absorptiometry of the lumbar spine, *J. Clin. Endocr. Metabol.* 67 (1988) 839–844.
- [20] WAHNER, H.W., et al., Comparison of dual-energy X ray absorptiometry and dual photon absorptiometry for bone mineral measurements of the lumbar spine, *Mayo Clin. Proc.* 63 11 (1988) 1075–1084.
- [21] SHENG, H.P., HUGGINS, R.A., A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat, *Am. J. Clin. Nutr.* 32 3 (1979) 630–647.
- [22] GILSANZ, V., Bone density in children: A review of the available techniques and indications, *Eur. J. Radiol.* 26 2 (1998) 177–182.
- [23] SCHONAU, E., The development of the skeletal system in children and the influence of muscular strength, *Horm. Res.* 49 1 (1998) 27–31.
- [24] NELSON, D.A., KOO, W.W., Interpretation of absorptiometric bone mass measurements in the growing skeleton: Issues and limitations, *Calcif. Tissue Int.* 65 1 (1999) 1–3.
- [25] VAN RIJN, R.R., et al., Bone densitometry in children: A critical appraisal, *Eur. Radiol.* 13 4 (2003) 700–710.
- [26] LEHMANN, L.A., et al., Generalized image combinations in dual KVP digital radiography, *Med. Phys.* 8 5 (1981) 659–667.
- [27] GENANT, H.K., et al., Universal standardization for dual X ray absorptiometry: Patient and phantom cross-calibration results, *J. Bone Miner. Res.* 9 10 (1994) 1503–1514.
- [28] ITO, M., et al., Relationship of osteophytes to bone mineral density and spinal fracture in men, *Radiology* 189 2 (1993) 497–502.

- [29] YU, W., et al., Influence of degenerative joint disease on spinal bone mineral measurements in postmenopausal women, *Calcif. Tissue Int.* 57 3 (1995) 169–174.
- [30] VON DER RECKE, P., et al., The impact of degenerative conditions in the spine on bone mineral density and fracture risk prediction, *Osteoporosis Int.* 6 1 (1996) 43–49.
- [31] RAND, T., et al., Impact of spinal degenerative changes on the evaluation of bone mineral density with dual energy X ray absorptiometry (DXA), *Calcif. Tissue Int.* 60 5 (1997) 430–433.
- [32] FROHN, J., et al., Effect of aortic sclerosis on bone mineral measurements by dual-photon absorptiometry, *J. Nucl. Med.* 32 2 (1991) 259–262.
- [33] DRINKA, P.J., et al., The effect of overlying calcification on lumbar bone densitometry, *Calcif. Tissue Int.* 50 6 (1992) 507–510.
- [٣٤] منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة العمل الدولية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية، ومنظمة الصحة العالمية، معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية، سلسلة وثائق الأمان – العدد رقم ١١٥، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، (١٩٩٦).
- [35] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.5, IAEA, Vienna (2002).
- [36] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Applying Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures Using X Rays, Safety Reports Series No. 39, IAEA, Vienna (2006).
- [37] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION, Biological Effects and Exposure Limits for “Hot Particles”, NCRP Rep. No. 130, National Council on Radiation Protection & Measurement, Bethesda, MD (1999).
- [38] BLAKE, G.M., NAEEM, M., BOUTROS, M., Comparison of effective dose to children and adults from dual X ray absorptiometry examinations, *Bone* 38 6 (2006) 935–942.
- [39] THOMAS, S.R., et al., Effective dose of dual-energy X ray absorptiometry scans in children as a function of age, *J. Clin. Densitom.* 8 4 (2005) 415–422.
- [40] STEEL, S.A., BAKER, A.J., SAUNDERSON, J.R., An assessment of the radiation dose to patients and staff from a lunar expert-xl fan beam densitometer, *Physiol. Meas.* 19 1 (1998) 17–26.

- [41] NJEH, C.F., et al., Radiation dose and in vitro precision in paediatric bone mineral density measurement using dual X ray absorptiometry, *Br. J. Radiol.* 70 835 (1997) 719–727.
- [42] BEZAKOVA, E., COLLINS, P.J., BEDDOE, A.H., Absorbed dose measurements in dual energy X ray absorptiometry (DXA), *Br. J. Radiol.* 70 (1997) 172–179.
- [43] NJEH, C.F., et al., Radiological assessment of a new bone densitometer-the lunar expert, *Br. J. Radiol.* 69 820 (1996) 335–340.
- [44] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, UNSCEAR focuses on Chernobyl accident in general assembly report, Press Release GA/9718, UNSCEAR, Vienna (2000).
- [45] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION, Recommendations of the International Commission on Radiation Protection, ICRP Publ. 60, Pergamon Press, Oxford (1990).
- [46] LARKIN, A., et al., QA/acceptance testing of DEXA X ray systems used in bone mineral densitometry, *Radiat. Prot. Dosimetry* (2008).
- [47] LLOYD, T., et al., Radiation dose from DXA scanning to reproductive tissues of females, *J. Clin. Densitom.* 1 4 (1998) 379–383.
- [48] DAMILAKIS, J., et al., Embryo/fetus radiation dose and risk from dual X ray absorptiometry examinations, *Osteoporosis Int.* 13 9 (2002) 716–722.
- [49] BOUDOUSQ, V., et al., Total dose incurred by patients and staff from BMD measurement using a new 2d digital bone densitometer, *Osteoporosis Int.* 14 3 (2003) 263–269.
- [50] BLAKE, G.M., et al., New generation DXA scanners increase radiation dose to patients and staff, *JBMR* 11 S1 (1996) P267.
- [51] SHEAHAN, N.F., et al., Commissioning and quality assurance protocol for dual energy X ray absorptiometry (DEXA) systems, *Radiat. Prot. Dosimetry* 117 1–3 (2005) 288–290.
- [52] HOBBIIE, R.K., *Intermediate Physics for Medicine and Biology*, 3rd edn, Springer Verlag, New York (1997).
- [53] WEBB, S., *The Physics of Medical Imaging*, Taylor & Francis, London (1996).
- [54] CRC Handbook of Chemistry and Physics, LIDE, D.R. (Ed.), 89th edn, CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, FL (2009).

- [55] WANG, J., et al., Body-fat measurement in patients with acquired immunodeficiency syndrome: Which method should be used? *Am. J. Clin. Nutr.* 56 6 (1992) 963–967.
- [56] HEYMSFIELD, S.B., WAKI, M., Body composition in humans: Advances in the development of multicompartiment chemical models, *Nutr. Rev.* 49 4 (1991) 97–108.
- [57] MENDEZ, J., et al., Density of fat and bone mineral of mammalian body, *Metabolism* 9 (1960) 472–477.
- [58] WITHERS, R.T., et al., Comparisons of two-, three-, and four-compartment models of body composition analysis in men and women, *J. Appl. Physiol.* 85 1 (1998) 238–245.
- [59] GURR, M., HARWOOD, J., *Lipid Biochemistry*, 4th edn, Giegy Pharmaceuticals, Ardsley, NY (1962).
- [60] DIEM, K., *Constituents of Living Matter*, 6th edn, Giegy Pharmaceuticals, Ardsley, NY (1962).
- [61] SNYDER, W., et al., Report of the Task Group on Reference Man, Pergamon Press, Oxford (1984).
- [62] ALLEN, T.H., KRZYWICKI, H.J., ROBERTS, J.E., Density, fat, water and solids in freshly isolated tissues, *J. Appl. Physiol.* 14 (1959) 1005–1008.
- [63] RICHMOND, C.R., ICRP publication on reference man, *Br. J. Radiol.* 58 690 (1985) 576–577.
- [64] NORD, R., PAYNE, H., Body composition by dual-energy X ray absorptiometry: A review of the technology, *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 4 (1995) 167–171.
- [65] SHEPHERD, J.A., et al., Novel use of single X ray absorptiometry for measuring breast density, *Technol. Cancer Res. Treat.* 4 2 (2005) 173–182.
- [66] LIBOUBAN, H., et al., Comparison of pencil-, fan-, and cone-beam dual X ray absorptiometers for evaluation of bone mineral content in excised rat bone, *J. Clin. Densitom.* 5 4 (2002) 355–361.
- [67] BLAKE, G.M., PARKER, J.C., BUXTON, F.M.A., FOGELMAN, I., Dual X ray absorptiometry: A comparison between fan beam and pencil beam scans, *Br. J. Radiol.* 66 790 (1993) 902–906.
- [68] EIKEN, P., et al., Switching from DXA pencil-beam to fan-beam. I: Studies in vitro at four centers, *Bone* 15 6 (1994) 667–670.

- [69] ELLIS, K.J., SHYPALO, R.J., Bone mineral and body composition measurements: Cross-calibration of pencil-beam and fan-beam dual-energy X ray absorptiometers, *J. Bone Miner. Res.* 13 10 (1998) 1613–1618.
- [70] RUETSCHKE, A.G., et al., Differences between dual X ray absorptiometry using pencil beam and fan beam modes and their determinants in vivo and in vitro, *J. Clin. Densitom.* 3 2 (2000) 157–166.
- [71] TOTHILL, P., HANNAN, W.J., WILKINSON, S., Comparisons between a pencil beam and two fan beam dual energy X ray absorptiometers used for measuring total body bone and soft tissue, *Br. J. Radiol.* 74 878 (2001) 166–176.
- [72] YAGI, D., Evaluation of the usefulness of whole body bone mineral measurement using dual energy X ray absorptiometry for the diagnosis of osteoporosis in Japanese women, *Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi* 56 1 (1996) 37–41.
- [73] HENZELL, S., et al., Comparison of pencil-beam and fan-beam DXA systems, *J. Clin. Densitom.* 6 3 (2003) 205–210.
- [74] GRIFFITHS, M.R., NOAKES, K.A., POCOCK, N.A., Correcting the magnification error of fan beam densitometers, *J. Bone Miner. Res.* 12 1 (1997) 119–123.
- [75] POCOCK, N., et al., Magnification error of femoral geometry using fan beam densitometers, *Calcif. Tissue Int.* 60 (1997) 8–10.
- [76] WAHNER, H.W., FOGELMAN, I., *The Evaluation of Osteoporosis: Dual Energy X Ray Absorptiometry in Clinical Practice*, Martin Dunitz, London (1994).
- [77] MILLER, P.D., et al., Clinical utility of bone mass measurements in adults: Consensus of an international panel, *The Society for Clinical Densitometry, Semin. Arthritis Rheum.* 25 6 (1996) 361–372.
- [78] FRANCK, H., MUNZ, M., SCHERRER, M., Evaluation of dual-energy X ray absorptiometry bone mineral measurement-comparison of a single-beam and fan-beam design: The effect of osteophytic calcification on spine bone mineral density, *Calcif. Tissue Int.* 56 3 (1995) 192–195.
- [79] YU, W., et al., Spinal bone mineral assessment in postmenopausal women: A comparison between dual X ray absorptiometry and quantitative computed tomography, *Osteoporosis Int.* 5 6 (1995) 433–439.
- [80] JERGAS, M., et al., Which vertebrae should be assessed using lateral dual-energy X ray absorptiometry of the lumbar spine, *Osteoporosis Int.* 5 3 (1995) 196–204.

- [81] RUPICH, R.C., et al., Lateral dual-energy radiography: Artifact error from rib and pelvic bone, *J. Bone Miner. Res.* 7 1 (1992) 97–101.
- [82] HERD, R.J., et al., Total body studies in normal British women using dual energy X ray absorptiometry, *Br. J. Radiol.* 66 784 (1993) 303–308.
- [83] LASKEY, M.A., Dual-energy X ray absorptiometry and body composition, *Nutrition* 12 1 (1996) 45–51.
- [84] STEIGER, P., et al., Morphometric X ray absorptiometry of the spine: Correlation in vivo with morphometric radiography, *Osteoporosis Int.* 4 5 (1994) 238–244.
- [85] KIM, J., et al., Total-body skeletal muscle mass: Estimation by a new dual-energy X ray absorptiometry method, *Am. J. Clin. Nutr.* 76 2 (2002) 378–383.
- [86] ROSS, R., Magnetic resonance imaging provides new insights into the characterization of adipose and lean tissue distribution, *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 74 6 (1996) 778–785.
- [87] THOMAS, L.W., The chemical composition of adipose tissue of man and mice, *Q. J. Exp. Physiol. Cogn. Med. Sci.* 47 (1962) 179–188.
- [88] ABATE, N., et al., Estimation of adipose tissue mass by magnetic resonance imaging: Validation against dissection in human cadavers, *J. Lipid Res.* 35 8 (1994) 1490–1496.
- [89] SHEN, W., et al., Adipose tissue quantification by imaging methods: A proposed classification, *Obes. Res.* 11 1 (2003) 5–16.
- [90] WONG, S., JANSSEN, I., ROSS, R., Abdominal adipose tissue distribution and metabolic risk, *Sports Med.* 33 10 (2003) 709–726.
- [91] VAGUE, J., The degree of masculine differentiation of obesities: A factor determining predisposition to diabetes, atherosclerosis, gout, and uric calculous disease, *Nutrition* 15 1 (1999) 89–90.
- [92] ELBERS, J.M., et al., Reproducibility of fat area measurements in young, non-obese subjects by computerized analysis of magnetic resonance images, *Int. J. Obes. Relat. Metabol. Disord.* 21 12 (1997) 1121–1129.
- [93] SEIDELL, J.C., BAKKER, C.J., VAN DER KOOY, K., Imaging techniques for measuring adipose-tissue distribution — a comparison between computed tomography and 1.5-t magnetic resonance, *Am. J. Clin. Nutr.* 51 6 (1990) 953–957.

- [94] STATEN, M.A., TOTTY, W.G., KOHRT, W.M., Measurement of fat distribution by magnetic resonance imaging, *Invest. Radiol.* 24 5 (1989) 345–349.
- [95] GERARD, E.L., et al., Overall body fat and regional fat distribution in young women: Quantification with MR imaging, *AJR Am. J. Roentgenol.* 157 1 (1991) 99–104.
- [96] HILL, A.M., et al., Estimating abdominal adipose tissue with DXA and anthropometry, *Obesity (Silver Spring)* 15 2 (2007) 504–510.
- [97] TREUTH, M.S., HUNTER, G.R., KEKES-SZABO, T., Estimating intraabdominal adipose tissue in women by dual-energy X ray absorptiometry, *Am. J. Clin. Nutr.* 62 3 (1995) 527–532.
- [98] SVENDSEN, O.L., et al., Accuracy of measurements of body composition by dual-energy X ray absorptiometry in vivo, *Am. J. Clin. Nutr.* 57 5 (1993) 605–608.
- [99] KAMEL, E.G., MCNEILL, G., VAN WIJK, M.C., Usefulness of anthropometry and DXA in predicting intra-abdominal fat in obese men and women, *Obes. Res.* 8 1 (2000) 36–42.
- [100] BLUNT, B., et al., Hologic whole body phantom: Using in vitro data to correct in vivo whole body data, *J. Bone Miner. Res.* 15 Suppl. 1 (2000) S398.
- [101] LOVEJOY, J.C., SMITH, S.R., ROOD, J.C., Comparison of regional fat distribution and health risk factors in middle-aged Caucasian and African American women: The healthy transitions study, *Obes. Res.* 9 1 (2001) 10–16.
- [102] SMITH, S.R., et al., Contributions of total body fat, abdominal subcutaneous adipose tissue compartments, and visceral adipose tissue to the metabolic complications of obesity, *Metabolism* 50 4 (2001) 425–435.
- [103] KELLEY, D., et al., Subdivisions of subcutaneous abdominal adipose tissue and insulin resistance, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metabol.* 278 5 (2000) E941.
- [104] NORTON, K., OLDS, T., *Anthropometrica*, UNSW Press, Sydney, Australia (1996).
- [105] HUI, S.L., et al., Universal standardization of bone density measurements: A method with optimal properties for calibration among several instruments, *J. Bone Miner. Res.* 12 9 (1997) 1463–1470.
- [106] LU, Y., et al., Standardization of bone mineral density at femoral neck, trochanter and Ward’s triangle, *Osteoporosis Int.* 12 6 (2001) 438–444.

- [107] SHEPHERD, J.A., et al., Universal standardization of forearm bone densitometry, *J. Bone Miner. Res.* 17 4 (2002) 734–745.
- [108] CARTER, D.R., BOUXSEIN, M.L., MARCUS, R., New approaches for interpreting projected bone densitometry data, *J. Bone Miner. Res.* 7 2 (1992) 137–145.
- [109] BRISMAR, T., et al., Whole-body bone mineral apparent density (WBMD) — introduction of a new variable for evaluation of paediatric skeletal status, *Osteoporosis Int.* 11 Suppl. 3 (2000) S18.
- [110] JERGAS, M., et al., Estimates of volumetric bone density from projectional measurements improve the discriminatory capability of dual X ray absorptiometry, *J. Bone Miner. Res.* 10 7 (1995) 1101–1110.
- [111] MAZESS, R.B., et al., Normalization of spine densitometry, *J. Bone Miner. Res.* 9 4 (1994) 541–548.
- [112] FOGELHOLM, G.M., et al., Bone mineral density during reduction, maintenance and regain of body weight in premenopausal, obese women, *Osteoporosis Int.* 12 3 (2001) 199–206.
- [113] BROWNBILL, R.A., ILICH, J.Z., Measuring body composition in overweight individuals by dual energy X ray absorptiometry, *BMC Med. Imaging* 5 1 (2005) 1.
- [114] TATARANNI, P.A., RAVUSSIN, E., Use of dual-energy X ray absorptiometry in obese individuals, *Am. J. Clin. Nutr.* 62 4 (1995) 730–734.
- [115] KOO, W.W., HOCKMAN, E.M., HAMMAMI, M., Dual energy X ray absorptiometry measurements in small subjects: Conditions affecting clinical measurements, *J. Am. Coll. Nutr.* 23 3 (2004) 212–219.
- [116] PICAUD, J.C., et al., First all-solid pediatric phantom for dual X ray absorptiometry measurements in infants, *J. Clin. Densitom.* 6 1 (2003) 17–23.
- [117] SHEPHERD, J.A., et al., Cross-calibration and minimum precision standards for dual-energy X ray absorptiometry: The 2005 ISCD official positions, *J. Clin. Densitom.* 9 1 (2006) 31–36.
- [118] GENANT, H.K., et al., Noninvasive assessment of bone mineral and structure: State of the art, *J. Bone Miner. Res.* 11 6 (1996) 707–730.
- [119] PATEL, R., et al., Long-term precision of DXA scanning assessed over seven years in forty postmenopausal women, *Osteoporosis Int.* 11 1 (2000) 68–75.

- [120] SHEPHERD, J.A., LU, Y., A generalized least significant change for individuals measured on different DXA systems, *J. Clin. Densitom.* 10 3 (2007) 249–258 (comments *J. Clin. Densitom.* 12 3 407–410).
- [121] FARRELL, T.J., WEBBER, C.E., The error due to fat inhomogeneity in lumbar spine bone mineral measurements, *Clin. Phys. Physiol. Meas.* 10 1 (1989) 57–64.
- [122] FORMICA, J.V., REGELSON, W., Review of the biology of quercetin and related bioflavonoids, *Food Chem. Toxicol.* 33 12 (1995) 1061–1080.
- [123] SVENDSEN, O.L., et al., Are soft tissue composition of bone and non-bone pixels in spinal bone mineral measurements by DXA similar? Impact of weight loss, *Clin. Physiol. Funct. Imaging* 22 1 (2002) 72–77.
- [124] TOTHILL, P., PYE, D.W., Errors due to non-uniform distribution of fat in dual X ray absorptiometry of the lumbar spine, *Br. J. Radiol.* 65 777 (1992) 807–813.
- [125] TOTHILL, P., AVENELL, A., REID, D.M., Precision and accuracy of measurements of whole-body bone mineral: Comparisons between Hologic, Lunar, and Norland dual-energy X ray absorptiometers, *Br. J. Radiol.* 67 (1994) 1210–1217.
- [126] HANGARTNER, T.N., JOHNSTON, C.C., Influence of fat on bone measurements with dual-energy absorptiometry, *Bone Miner.* 9 1 (1990) 71–81.
- [127] SVENDSEN, O.L., et al., Impact of soft tissue on in vivo accuracy of bone mineral measurements in the spine, hip, and forearm: A human cadaver study, *J. Bone Miner. Res.* 10 6 (1995) 868–873.
- [128] KUIPER, J.W., et al., Accuracy and the influence of marrow fat on quantitative CT and dual-energy X ray absorptiometry measurements of the femoral neck in vitro, *Osteoporosis Int.* 6 1 (1996) 25–30.
- [129] BOLOTIN, H.H., Inaccuracies inherent in dual-energy X ray absorptiometry in vivo bone mineral densitometry may flaw osteopenic/osteoporotic interpretations and mislead assessment of antiresorptive therapy effectiveness, *Bone* 28 5 (2001) 548–555.
- [130] BOLOTIN, H.H., Analytic and quantitative exposition of patient-specific systematic inaccuracies inherent in planar DXA-derived in vivo BMD measurements, *Med. Phys.* 25 2 (1998) 139–151.
- [131] TOTHILL, P., et al., Anomalies in the measurement of changes in total-body bone mineral by dual-energy X ray absorptiometry during weight change, *J. Bone Miner. Res.* 12 11 (1997) 1908–1921.

- [132] REVILLA, M., et al., Influence of weight and gonadal status on total and regional bone mineral content and on weight-bearing and non-weight-bearing bones, measured by dual-energy X ray absorptiometry, *Maturitas* 28 1 (1997) 69–74.
- [133] MARTIN, P., et al., Influence of patient's weight on dual-photon absorptiometry and dual-energy X ray absorptiometry measurements of bone mineral density, *Osteoporosis Int.* 3 4 (1993) 198–203.
- [134] SPECTOR, E., LEBLANC, A., SHACKELFORD, L., Hologic QDR 2000 whole-body scans: A comparison of three combinations of scan modes and analysis software, *Osteoporosis Int.* 5 6 (1995) 440–445.
- [135] PATEL, R., et al., The effect of weight change on DXA scans in a 2-year trial of etidronate therapy, *Calcif. Tissue Int.* 61 5 (1997) 393–399.
- [136] TOTHILL, P., Dual-energy X ray absorptiometry measurements of total-body bone mineral during weight change, *J. Clin. Densitom.* 8 1 (2005) 31–38.
- [137] ANDRICH, M.P., CAWLEY, M., CHEN, C.C., Artifacts caused by nonionic contrast media and a portacath on a dual-energy X ray absorptiometry whole-body composition study, *Clin. Nucl. Med.* 21 5 (1996) 407–408.
- [138] SALA, A., et al., Effect of diagnostic radioisotopes and radiographic contrast media on measurements of lumbar spine bone mineral density and body composition by dual-energy X ray absorptiometry, *J. Clin. Densitom.* 9 1 (2006) 91–96.
- [139] KENDLER, D.L., et al., Effect of calcium tablets on interpretation of lumbar spine DXA scans, *J. Clin. Densitom.* 9 1 (2006) 97–104.
- [140] BINKLEY, N., et al., Official positions of the International Society for Clinical Densitometry and executive summary of the 2005 position development conference, *J. Clin. Densitom.* 9 1 (2006) 4–14.
- [141] LOOKER, A.C., et al., Updated data on proximal femur bone mineral levels of US adults, *Osteoporosis Int.* 8 5 (1998) 468–489.
- [142] SVENDSEN, O.L., et al., Measurements of bone mineral density of the proximal femur by two commercially available dual energy X ray absorptiometric systems, *Eur. J. Nucl. Med.* 19 1 (1992) 41–46.
- [143] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Assessment of Fracture Risk and its Application to Screening for Postmenopausal Osteoporosis, Rep. of a WHO Study Group, WHO, Tech. Rep. Ser. 843 (1994) 1–129.
- [144] LOOKER, A.C., et al., Proximal femur bone mineral levels of US adults, *Osteoporosis Int.* 5 5 (1995) 389–409.

- [145] Physician's guide to prevention and treatment of osteoporosis, National Osteoporosis Foundation, Washington, D.C. (2008).
- [146] BAIM, S., et al., Official positions of the International Society for Clinical Densitometry and executive summary of the 2007 ISCD pediatric position development conference, *J. Clin. Densitom.* 11 1 (2008) 6–21.
- [147] KALKWARF, H.J., et al., The bone mineral density in childhood study: Bone mineral content and density according to age, sex, and race, *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 92 6 (2007) 2087–2099.
- [148] WARD, K.A., et al., UK reference data for the Hologic Qdr discovery dual-energy X ray absorptiometry scanner in healthy children and young adults aged 6–17 years, *Arch. Dis. Child* 92 1 (2007) 53–59.
- [149] VAN DER SLUIS, I.M., et al., Reference data for bone density and body composition measured with dual energy X ray absorptiometry in Caucasian children and young adults, *Arch. Dis. Child* 87 4 (2002) 341–347.
- [150] GALLAGHER, D., et al., Healthy percentage body fat ranges: An approach for developing guidelines based on body mass index, *Am. J. Clin. Nutr.* 72 3 (2000) 694–701.
- [151] ALLISON, D.B., et al., Weight loss increases and fat loss decreases all cause mortality rate: Results from two independent cohort studies, *Int. J. Obes. Relat. Metabol. Disord.* 23 6 (1999) 603–611.
- [152] TRUSCOTT, J.G., et al., Variation in lumbar spine and femoral neck bone mineral measured by dual energy X ray absorption: A study of 329 normal women, *Br. J. Radiol.* 66 786 (1993) 514–521.
- [153] COLE, T.J., GREEN, P.J., Smoothing reference centile curves: The IMS method and penalized likelihood, *Stat. Med.* 11 10 (1992) 1305–1319.
- [154] OGDEN, C.L., et al., Centers for disease control and prevention 2000 growth charts for the United States: Improvements to the 1977 national center for health statistics version, *Pediatrics* 109 1 (2002) 45–60.
- [155] GORDON, C.M., et al., Special report on the 2007 pediatric position development conference of the International Society for Clinical Densitometry, *South Med. J.* (2008).
- [156] BONJOUR, J.P., et al., Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence, *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 73 3 (1991) 555–563.

- [157] BACHRACH, L.K., et al., Bone mineral acquisition in healthy Asian, Hispanic, Black, and Caucasian youth: A longitudinal study, *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 84 12 (1999) 4702–4712.
- [158] MOLGAARD, C., et al., Whole body bone mineral content in healthy children and adolescents, *Arch. Dis. Child* 76 1 (1997) 9–15.
- [159] HENDERSON, R.C., et al., Pediatric reference data for dual X ray absorptiometric measures of normal bone density in the distal femur, *AJR, Am. J. Roentgenol.* 178 2 (2002) 439–443.
- [160] ELLIS, K.J., et al., Z score prediction model for assessment of bone mineral content in pediatric diseases, *J. Bone Miner. Res.* 16 9 (2001) 1658–1664.
- [161] FAULKNER, R.A., et al., Bone densitometry in Canadian children 8–17 years of age, *Calcif. Tissue Int.* 59 5 (1996) 344–351.
- [162] FAULKNER, R.A., et al., Regional and total body bone mineral content, bone mineral density, and total body tissue composition in children 8–16 years of age, *Calcif. Tissue Int.* 53 1 (1993) 7–12.
- [163] KELLY, T., SPECKER, B., BINKLEY, N., Pediatric BMD reference database for US Caucasian children, *Bone* 36 Suppl. 1 (2005) S30.
- [164] BINKLEY, T.L., SPECKER, B.L., WITTIG, T.A., Centile curves for bone densitometry measurements in healthy males and females ages 5–22 yr, *J. Clin. Densitom.* 5 4 (2002) 343–353.
- [165] WEBBER, C.E., et al., Age-predicted values for lumbar spine, proximal femur, and whole-body bone mineral density: Results from a population of normal children aged 3 to 18 years, *Can. Assoc. Radiol. J.* 58 1 (2007) 37–45.
- [166] ARABI, A., et al., Sex differences in the effect of body-composition variables on bone mass in healthy children and adolescents, *Am. J. Clin. Nutr.* 80 5 (2004) 1428–1435.
- [167] SALA, A., et al., Whole-body bone mineral content, lean body mass, and fat mass measured by dual-energy X ray absorptiometry in a population of normal Canadian children and adolescents, *Can. Assoc. Radiol. J.* 58 1 (2007) 46–52.
- [168] HASANOGLU, A., TURNER, L., EZGU, F., Vertebra and femur bone mineral density values in Turkish children, *Turk. J. Pediatr.* 46 (2004) 298–302.
- [169] CROMER, B.A., et al., Reference values for bone mineral density in 12- to 18-year-old girls categorized by weight, race, and age, *Pediatr. Radiol.* 34 10 (2004) 787–792.

- [170] FONSECA, A.S., et al., Bone mineral density of the lumbar spine of Brazilian children and adolescents aged 6 to 14 years, *Braz. J. Med. Biol. Res.* 34 3 (2001) 347–352.
- [171] LU, P.W., et al., Volumetric bone mineral density in normal subjects, aged 5–27 years, *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 81 4 (1996) 1586–1590.
- [172] HOGLER, W., et al., Importance of lean mass in the interpretation of total body densitometry in children and adolescents, *J. Pediatr.* 143 1 (2003) 81–88.
- [173] PLUDOWSKI, P., et al., Reference values for the indicators of skeletal and muscular status of healthy Polish children, *J. Clin. Densitom.* 8 2 (2005) 164–177.
- [174] CRABTREE, N., et al., UK paediatric DXA reference data (GE lunar prodigy): Effects of ethnicity, gender, and pubertal status, *Bone* 36 (2005) S42.
- [175] DEL RIO, L., et al., Bone mineral density of the lumbar spine in Caucasian Mediterranean Spanish children and adolescents: Changes related to age, sex, and puberty, *Pediatr. Res.* 35 3 (1994) 362–366.
- [176] CRABTREE, N.J., et al., The relationship between lean body mass and bone mineral content in paediatric health and disease, *Bone* 35 4 (2004) 965–972.
- [177] HORLICK, M., et al., Prediction models for evaluation of total-body bone mass with dual-energy X ray absorptiometry among children and adolescents, *Pediatrics* 114 3 (2004) 337–345.
- [178] BOOT, A.M., et al., Bone mineral density in children and adolescents: Relation to puberty, calcium intake, and physical activity, *J. Clin. Endocrinol. Metabol.* 82 1 (1997) 57–62.
- [179] ZANCHETTA, J.R., PLOTKIN, H., ALVAREZ FILGUEIRA, M.L., Bone mass in children: Normative values for the 2–20-year-old population, *Bone* 16 4 Suppl. (1995) 393S–399S.
- [180] CHENG, J.C., et al., Determinants of axial and peripheral bone mass in Chinese adolescents, *Arch. Dis. Child* 78 6 (1998) 524–530.

المساهمون في الصياغة والاستعراض

| | |
|-----------------|---|
| Al-Amiri, H. A. | Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait |
| Davidsson, L. | International Atomic Energy Agency |
| Ellis, K. | Baylor College of Medicine, United States of America |
| Heymsfield, S. | Merck & Co. Inc., United States of America |
| Hills, A. | Queensland University of Technology, Australia |
| Le Heron, J.C. | International Atomic Energy Agency |
| Lohman, T. | Tuscon, Arizona, United States of America |
| McLean, D. | International Atomic Energy Agency |
| Pettifore, J.M. | Univeristy of the Witwatersrand, South Africa |
| Shepherd, J. | University of California at San Francisco, United States of America |
| Sherman, M. | Universtity of California at San Francisco, United States of America |
| Wilson, K. | Hologic, Inc., United States of America |

اجتماع الخبراء الاستشاريين

فيينا، النمسا: ١٤-١٦ أيار/مايو ٢٠٠٧

الاجتماعات التقنية

فيينا، النمسا: ١٥-١٧ أيلول/سبتمبر ٢٠٠٨، ٢٨-٣٠ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٩

ساهمت الوكالة في تطوير ونقل الخبرة الفنية في مجال استخدام قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة (ديكسا) في الدول الأعضاء عن طريق دعم مشاريع التغذية الوطنية والإقليمية من خلال برنامج التعاون التقني ومشاريع البحوث المنسقة التي تعالج مجالات التغذية ذات الأولوية. ويتضمن هذا المنشور معلومات عن الخلفية النظرية والتطبيق العملي لآخر منهجيات قياس كثافة معادن العظام وتقييم تركيب الجسم باستخدام تقنية ديكسا. وهذا المنشور أعده فريق من الخبراء الدوليين، وهو موجه إلى المختصين بالتغذية، والمختصين بالتكنولوجيا الإشعاعية، والباحثين، والمهنيين الصحيين.

سلسلة الصحة البشرية الصادرة عن الوكالة

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

VIENNA

ISBN 978-92-0-643210-5

ISSN 2075-3772