



Artigo de revisão

Marina Kanthack Paccini¹
Maria Fátima Glaner²

DENSIDADE MINERAL ÓSSEA E ABSORTOMETRIA DE RAIO-X DE DUPLA ENERGIA

BONE MINERAL DENSITY AND DUAL-ENERGY X-RAY ABSORPTIOMETRY

RESUMO

O objetivo desta revisão foi reunir as informações relevantes na literatura sobre os temas: tecido ósseo, validações e limitações da absorptometria de raio-X de dupla energia. Para tanto, foram analisados estudos nacionais e internacionais indexados no banco de dados *PubMed*, *Lilacs* e *Nutreses*. Os aspectos discutidos foram: maturação do tecido ósseo, tecido ósseo em diferentes populações, impacto de programas de intervenção sobre o tecido ósseo, absorptometria de raio-X de dupla energia, bem como suas validações e limitações. A partir dos dados encontrados na literatura, algumas constatações podem ser realizadas. A densidade mineral óssea se modifica durante as diferentes fases da vida, infância, adolescência, idade adulta e terceira idade; pode ser influenciada, além da idade, pela etnia, sexo, fatores genéticos e estilo de vida. Fica evidente, tanto para a saúde quanto para os aspectos sociais e econômicos da sociedade, a importância do monitoramento da densidade mineral óssea. Neste sentido, vários estudos confirmam a validade da absorptometria de raio-X de dupla energia para a mensuração da composição corporal (osso, gordura e músculo). No entanto, em estudos mais recentes, porém escassos, são evidenciadas algumas limitações no uso da absorptometria de raio-X de dupla energia, que afetam a sua acuracidade. Desta forma, verifica-se a necessidade de novos estudos que tratem do assunto, com o objetivo de definir, claramente, até que ponto a utilização deste aparelho pode ser feita de forma acurada.

Palavras-chave: Densidade óssea; Densitometria por raios X; Validade dos testes; Composição corporal.

ABSTRACT

The objective of this review article is to gather the relevant information on bone tissue and the validation and limitations of dual-energy X-ray absorptiometry. To this end, national and international studies indexed on the *Pubmed*, *Lilacs* and *Nutreses* databases were analyzed. The features discussed were: bone tissue maturation, bone tissue in different populations, the impact of intervention programs on bone tissue, dual-energy X-ray absorptiometry, and its validation and limitations. According to data found in the literature, certain observations can be made. Bone mineral density changes during the different stages of life, childhood, adolescence, adulthood and old age; it can also be influenced by race, sex, genetic factors and life style in addition to by age. The importance of monitoring bone mineral density, both to good health and to social and economic aspects of society, is evident. Studies have confirmed the efficacy of dual-energy X-ray absorptiometry for measuring body composition (bone, fat and muscle). However, in recent studies, although few in number, some limitations of using this equipment have been noted, which may affect its accuracy. It is therefore understood that there is a need for further studies into this subject, with the intention of defining the accuracy of this equipment.

Key words: Bone density; Densitometry; X-ray; Validity of tests; Body composition.

¹ Bolsista da CAPES.

² Universidade Católica de Brasília - DF.

INTRODUÇÃO

O tecido ósseo, assim como outros tecidos, apresenta um processo maturacional desde as primeiras semanas de vida embrionária até a idade adulta. Na infância e adolescência, a formação óssea ocorre de maneira mais acentuada e, na idade adulta, o organismo alcança o pico de massa óssea¹, definido como o valor máximo de massa óssea atingida antes do início de sua perda². A partir dos 45-50 anos, a tendência natural do organismo é de sofrer uma redução gradativa da densidade mineral óssea (DMO), que é a quantificação da massa óssea, expressa em g/cm². Entretanto, esta perda pode ocorrer de forma exagerada, caracterizando a osteoporose, que tem como consequência o aumento da fragilidade esquelética e do risco de fraturas¹.

Alguns instrumentos para detectar a perda da DMO foram desenvolvidos ao longo do tempo, e o mais utilizado ultimamente é a absorptometria de raio-x de dupla energia (AXDE). Muitos estudos confirmam a validade e a precisão da AXDE tanto para medidas de DMO³⁻⁵ quanto de adiposidade⁶ e massa muscular/massa magra⁷.

No entanto, algumas limitações técnicas são assumidas como, o cálculo da DMO ser baseado em uma área bidimensional projetada, a forma dos ossos investigados^{8,9} e, os erros de medidas encontrados a partir de diferentes aparelhos¹⁰, *softwares* e técnicas¹¹. Deve-se considerar também os erros humanos na análise de um exame de DMO, resultantes de vários fatores, entre eles a dificuldade de se delimitar a mesma quantidade de tecido ósseo^{12,13}.

Muitos estudos têm sido realizados, utilizando a AXDE para a estimativa da composição corporal (osso, gordura e músculo) em diversas populações¹⁴⁻¹⁶, sejam elas saudáveis^{8,17}, ou não^{17,18}. Outros estudos buscam, por meio da AXDE, identificar alterações nestes componentes do corpo com o decorrer da idade¹⁹ ou, ainda, antes e após um programa de intervenção, como dietas²⁰ e medicamentos²¹.

Estudos semelhantes a estes são amplamente realizados na área da Educação Física, evidenciando a relação entre atividade física e DMO²²⁻²⁴, e também baseando suas afirmações nas medidas fornecidas pela AXDE.

Pode-se observar que é relativamente comum encontrar na literatura estudos referentes ao tecido ósseo e à AXDE. No entanto, pouco se sabe acerca da validação e das limitações deste aparelho. Portanto, existe a necessidade de reunir as informações relevantes, existentes na literatura sobre estes temas (tecido ósseo, validações e limitações da AXDE). Assim, os profissionais da área da saúde, bem como a população em geral, terão melhor compreensão e poderão analisar criticamente os delineamentos experimentais, os métodos e procedimentos empregados nos estudos sobre estes temas.

Para tanto, serão abordados os seguintes tópicos: maturação do tecido ósseo, tecido ósseo em diferentes populações, impacto de programas de intervenção

sobre o tecido ósseo, AXDE e estudos sobre a AXDE (validação e limitações).

Os estudos selecionados para compor esta revisão foram obtidos junto ao banco de dados eletrônicos *PubMed*, *Lilacs* e *Nutres*. Foram escolhidos estudos originais e de revisão, publicados nos últimos 15 anos, com exceção dos textos clássicos, que tratassem dos temas abordados neste estudo. Para tanto, foram digitados nestes bancos de dados, termos como densidade mineral óssea (*bone mineral density*), DMO e atividade física (*bone mineral density and physical activity*), osteoporose (*osteoporosis*), AXDE (*dual-energy X-ray absorptiometry - DXA*), AXDE e validade (*DXA and validity*), AXDE e limitação (*DXA and limitation*).

Maturação e perda do tecido ósseo

O osso se desenvolve a partir do mesoderma do embrião, que dá origem ao tecido conjuntivo, e que sofrerá, ao longo do tempo, transformações em sua composição. O tecido ósseo apresenta um processo de maturação que se inicia nas primeiras semanas de vida do embrião e se estende até a idade adulta¹.

Este processo de maturação caracteriza-se pela produção de uma matriz protéica que, em nível extracelular, é mineralizada sob a ação de enzimas específicas. Esta matriz mineralizada sofre um processo cíclico de produção e reabsorção óssea, cujo equilíbrio se modifica ao longo da vida. Por exemplo, na infância e adolescência, a produção óssea predomina sobre a reabsorção, enquanto que na idade adulta os dois processos permanecem em equilíbrio. Este quadro vai se revertendo, até que, finalmente, a reabsorção predomina sobre a produção óssea, principalmente nas mulheres, a partir dos 45-50 anos¹.

Durante os três primeiros anos de vida, o aumento da DMO é elevado, com diminuição progressiva até o início da puberdade. Acredita-se que 50% do aumento total da DMO ocorre desde os primeiros meses de vida até o início do desenvolvimento puberal. Durante a puberdade, o aumento anual da DMO eleva-se, chegando a um ponto máximo nos estágios III e IV de maturação (escala de Tanner). Cerca de 30% do aumento total da DMO ocorre nesta fase²⁵.

Ao término da puberdade, o aumento anual da DMO, que até então apresentava uma forte ascensão, passa a apresentar um aumento gradativo, porém muito mais lento². Aproximadamente 20% do aumento total da DMO acontece durante a adolescência tardia, até a idade de 21-25 anos²⁵. Quando o indivíduo atinge esta idade, a DMO se estabiliza e é justamente nessa fase que o indivíduo alcança seu pico de massa óssea. Este é definido como a quantidade máxima de massa óssea que um indivíduo acumula desde o nascimento até a maturidade do esqueleto, ou seja, o valor máximo de massa óssea atingida antes do início de sua perda².

O pico de massa óssea não é o mesmo em todas as pessoas, e esta diferença pode ser influenciada por vários fatores, dentre eles: hereditariedade, sexo, raça, hábitos dietéticos, atividade física e composição corporal. Quanto maior o pico de massa óssea, maior

será a reserva óssea durante a fase adulta e terceira idade. Portanto, se o ganho mineral ósseo puder ser otimizado durante a puberdade, é provável que o indivíduo adulto seja menos suscetível a sofrer as complicações da osteoporose²⁶.

A partir dos 21-25 anos, a DMO mantém-se constante até a 4ª, 5ª década de vida, quando se inicia uma perda fisiológica gradual, proporcional ao avanço da idade que, nas mulheres, associa-se à perda peri e pós-menopausa²⁵. Tal perda é consequência do desequilíbrio entre produção e reabsorção óssea, natural a partir desta idade. No entanto, quando esta perda é exacerbada, caracteriza-se um caso patológico, denominado de osteoporose, que, de acordo com o Consenso Brasileiro de Osteoporose²⁷, é um distúrbio osteometabólico, caracterizado pela diminuição da DMO, com deterioração da microarquitetura óssea. Este processo leva a um aumento da fragilidade esquelética e ao risco de fraturas.

A osteoporose, como outras doenças crônicas, tem etiologia multifatorial. Consideram-se maiores fatores de risco para osteoporose e fraturas: sexo feminino, baixa DMO, fratura prévia, raça asiática ou caucasica, idade avançada em ambos os sexos, história materna de fratura do colo femoral e/ou osteoporose, menopausa precoce não tratada (antes dos 40 anos), e tratamento com corticóides. Já, entre os fatores menores estão: amenorréia primária ou secundária, hipogonadismo primário ou secundário em homens, perda de peso após os 25 anos ou baixo índice de massa corpórea ($IMC < 19 \text{ kg/m}^2$), tabagismo, alcoolismo, sedentarismo, tratamento com outras drogas que induzem perda de massa óssea como a heparina, varfarina, anticonvulsivantes (fenobarbital, fenitoína, carbamazepina), lítio e metotrexate, imobilização prolongada, dieta pobre em cálcio e doenças que induzem a perda de massa óssea²⁷.

Em um estudo realizado na Alemanha²⁸, encontrou-se que, em 2003, 7,8 milhões de pessoas com 50 anos ou mais (26% desta população) adquiriram osteoporose. Verificou-se, ainda, que a prevalência é maior entre as mulheres (39%) do que entre os homens (9,7%) e, estima-se que mais de 6 em cada 10 mulheres acima de 75 anos terão osteoporose. Com relação a fraturas, este estudo²⁸ constatou que em pessoas com 45 anos ou mais, pelo menos 60% de todas as fraturas de quadril e coluna podem ser atribuídas à osteoporose. Quando considerada a faixa etária dos 85 anos ou mais, este valor aumenta para 85%. Além disto, estima-se que um custo de 5,4 bilhões de euros foi diretamente atribuído à osteoporose no ano de 2003²⁸.

Estas informações sugerem que a osteoporose é um grave problema de saúde pública, cuja incidência e custos para a sociedade vêm aumentando consideravelmente. Certamente, este quadro seria revertido se houvesse uma política de prevenção da osteoporose, pela monitoração freqüente da massa óssea, no intuito de detectar, previamente, uma possível perda exacerbada da mesma. É importante ressaltar que a massa óssea pode ser mensurada tanto em termos de conteúdo mineral ósseo (CMO,

expresso em gramas), como de DMO (expressa em g/cm^2), que é a razão entre o CMO (g) e a área total (cm^2) do local ósseo mensurado. Portanto, a DMO é dependente da quantidade do CMO. Assim sendo, tornam-se de extrema importância informações acerca da mensuração de DMO/CMO para um diagnóstico acurado.

Tecido ósseo em diferentes populações

Além do ganho mineral ósseo durante a juventude, outros fatores parecem influenciar a DMO, como a idade, a etnia e o sexo.

Quanto à influência da idade, foi observado²⁹ que a DMO na coluna lombar (L2-L4) aumentou progressivamente (54% nos meninos e 59% nas meninas) entre 6 e 14 anos de idade. Na idade de 6 a 10 anos, as meninas apresentaram um leve aumento. Tanto em meninas como em meninos acima de 10 anos foi identificado aumento, que se manteve até os 13 anos, quando uma nova queda na velocidade de mineralização ocorreu. Aos 14 anos, os valores médios da DMO dos meninos e meninas, respectivamente, corresponderam a 81 e 85% da densidade óssea esperada para homens e mulheres brasileiros caucasianos, de 35 a 40 anos de idade.

Em outro estudo¹ foi encontrado que até os 7 e 8 anos, a criança já adquiriu cerca de 50% da massa óssea. Observou-se correlação positiva entre DMO, tanto de coluna lombar quanto de corpo inteiro, com a idade óssea (radiografia de punho e mão esquerda). Isso significa que a DMO também pode ser considerada um parâmetro de maturação óssea.

Com relação à influência do **sexo** e da **etnia**, foi encontrado¹⁶ que homens negros têm maiores valores médios de DMO regional na coluna do que todos os não negros estudados. Já, os homens brancos e asiáticos têm maiores médias de DMO do que os hispânicos. Quanto às mulheres, as negras têm maiores valores médios de DMO, tanto regional quanto volumétrica, em todos os locais mensurados (fêmur, corpo inteiro e coluna) do que todas as outras mulheres estudadas. As asiáticas têm menor DMO do fêmur e do corpo inteiro que os sujeitos (tanto homens quanto mulheres) hispânicos e brancos. Foi encontrado que a aquisição de DMO nas mulheres acelerou e atingiu um platô antes do que os homens¹⁶. Mulheres e homens asiáticos e mulheres brancas tendem a alcançar o platô antes que os outros sujeitos estudados. Foi evidenciado também¹⁴ que mulheres chinesas-americanas têm DMO menor ($p < 0,05$) do que as caucasianas, na coluna lombar e fêmur, bem como menores valores de pico de massa óssea.

Impacto de programas de intervenção sobre o tecido ósseo

Sabe-se que juntamente com os fatores anteriormente citados, os relacionados ao estilo de vida, como atividade física e nutrição também parecem influenciar a DMO.

Com relação à atividade física, sabe-se que sua prática, durante a mocidade, parece ser importante

para a aquisição de massa óssea e essencial para a manutenção da DMO durante toda a vida²⁴. Corroborando com estes achados, foi encontrada³⁰ uma probabilidade de 96% de que idosas não praticantes de atividade física durante a vida, tenham tido maior perda óssea na menopausa do que aquelas que praticaram.

A aplicação de um programa de treinamento, em idosas, combinando alongamento, exercícios de equilíbrio e coordenação motora, proporcionou um significativo aumento da DMO no triângulo de *Wards* (5,3%), trocânter (6,3%), coluna lombar (3,1%), e braços (1,5%), em relação ao grupo controle³¹. Também foram observados ossos mais fortes em idosas que participavam de aulas de ginástica recreacional³² e em meninas praticantes de handebol³³, quando comparadas aos respectivos pares não praticantes. Com relação ao treinamento resistido, de alta intensidade, foi encontrado que em mulheres pré-menopausadas, este tipo de exercício pode ser eficaz no aumento da DMO da coluna, mas possivelmente isso não aconteça no fêmur³⁴. Isto pode ter ocorrido, provavelmente, porque durante a análise dos exames, exista maior dificuldade de delimitar a área das vértebras lombares do que do fêmur¹³.

Sabe-se que, para indivíduos com osteoporose, outra contribuição da atividade física, além do aumento da DMO, é promover melhoras no equilíbrio e na força muscular, com conseqüente diminuição de quedas e fraturas³⁵.

O papel atribuído à **nutrição** relaciona-se ao desenvolvimento da maior e melhor massa óssea possível, durante o crescimento, e à proteção do esqueleto contra a perda de cálcio em longo prazo. A DMO adequada a cada indivíduo está associada a uma boa nutrição, que deve ser constituída de uma dieta balanceada. A vitamina D e o cálcio são importantes para a integridade mecânica e estrutural do esqueleto²⁷.

Em relação ao esqueleto, o nutriente mais importante é o cálcio. Sua ingestão está relacionada com a obtenção de um maior pico de massa óssea, assim como a prevenção e o tratamento da osteoporose²⁷. A importância da alimentação rica em cálcio, principalmente durante a puberdade, foi evidenciada em um estudo³⁶ com meninas de 11 a 14 anos. Foi encontrada, nesta população, uma retenção de cálcio 4,5 vezes maior, quando comparadas a mulheres adultas. Outra evidência é que, meninas com ingestão inadequada de cálcio durante a fase de crescimento, quando comparadas às com ingestão adequada, tiveram menor mineralização óssea³⁶. A suplementação de cálcio também é importante para os adultos, já que reduz a taxa de perda óssea relacionada à idade³⁷.

A combinação de cálcio e vitamina D3 pode reverter o hiperparatiroidismo secundário senil e reduzir perda óssea e risco de fratura do quadril em idosas³⁸.

Todos os estudos anteriormente citados tiveram seus valores de DMO baseados em exames

de AXDE. Portanto, é importante explicar o conceito que norteia esta técnica.

Absortometria de raio-X de dupla energia

Com o intuito de estimar a DMO, alguns aparelhos foram desenvolvidos ao longo do tempo, sendo que o mais utilizado na atualidade é o de AXDE. Existem três modelos comercializados de AXDE (Hologic QDR, Lunar DPX e Norland XR), e todos medem a DMO, CMO, massa gorda e massa magra. Cada modelo é baseado em uma diferente configuração de *hardware* e *software*³⁹.

O conceito que norteia a tecnologia da AXDE é o de que a atenuação do *photon in vivo* é uma função da composição de cada tecido. O acesso à composição corporal pela AXDE assume que o corpo consiste em três componentes, que são distinguíveis por suas propriedades de atenuação do raio-X: gordura, osso e tecido livre de gordura. O exame é realizado com o corpo supinado, dividindo o corpo em séries de *pixels* e, dentro de cada um destes, a atenuação do *photon* é mensurada em duas diferentes energias⁴⁰. A AXDE, portanto, permite a estimativa da composição corporal, a partir de medidas da atenuação da radiação do raio-X de base *pixel-por-pixel* sobre toda a superfície corporal¹⁷.

Dentro de qualquer *pixel*, as proporções de dois componentes podem ser separadas pela diferente absorção de duas energias de *photon*. Tecidos moles, formados em grande parte por água e compostos orgânicos, reduzem o fluxo de *photon* quando comparados ao osso. *Pixels* contendo osso são, de forma relativa, facilmente distinguidos daqueles sem a presença de osso. Em áreas onde o osso não está presente, a calibração adequada permite que frações gordas e magras sejam distinguidas. Os algoritmos para realizar estas extrapolações variam entre os diferentes modelos de equipamento, e não foram divulgados publicamente⁴⁰.

Ao ser examinado pela referida técnica, o sujeito recebe baixa exposição à radiação. Em um exame de corpo inteiro, por exemplo, o nível de radiação varia entre 0,05 millirem (mrem) a 1,5 mrem, dependendo da velocidade e do equipamento utilizado. Justamente por sua baixa exposição à radiação, é uma técnica amplamente aplicada em humanos de todas as idades.

Para se obter um entendimento global da AXDE, é importante conhecer alguns estudos que validaram sua utilização, bem como os que apontaram suas limitações.

Estudos sobre a absortometria de raio-X de dupla energia

A seguir serão contemplados alguns estudos nos quais se constatou a validação da AXDE para a estimativa da composição corporal.

Neste sentido, foi encontrado¹⁷ que uma única medida de AXDE permite uma válida estimativa dos três maiores componentes da composição corporal,

tanto em pessoas saudáveis como em portadores da síndrome da imuno deficiência adquirida e fibrose cística.

Mediante comparação com a tomografia computadorizada, constatou-se que a AXDE fornece um método válido para estimar a adiposidade abdominal⁶. Além disso, foi encontrado que a AXDE detecta sensivelmente as alterações na gordura abdominal na região L1–L4; e, que a determinação da região de interesse L1–L4 foi altamente reprodutível e independente de erros do operador. Esta última constatação foi realizada mediante a comparação da região de interesse (L1–L4), determinada por três diferentes técnicos, em 43 exames. Não houve diferença nas análises de massa total ($p = 0,76$), massa gorda ($p = 0,98$) e massa corporal magra ($p = 0,54$) e foi encontrada excelente confiabilidade, com valores de correlação intraclassa de 0,94, 0,97 e 0,89 (todos com $p < 0,0001$), respectivamente.

Tanto a tomografia computadorizada como o modelo tetracompartimental foram utilizados como critério para validar a AXDE na mensuração da massa muscular e massa livre de gordura, respectivamente⁷. Foi encontrado que ambas variáveis, quando estimadas pela AXDE, são positivamente associadas e estatisticamente maiores do que os valores obtidos pelos métodos citados.

Para documentar a validade da AXDE para a medida da mineralização da coluna lombar, exames em L1–L3 em 11 cadáveres foram comparados com a massa da cinza destas vértebras⁵. Alta correlação foi obtida ($r = 0,96$) entre as duas técnicas, o que sugere que a AXDE pode ser utilizada para mensurar a mineralização óssea axial. No entanto, a AXDE subestimou a mineralização (1,01g ou 8,9% da média) quando comparada à massa da cinza. Com relação a medidas de DMO, a AXDE, quando comparada à absorptometria de *photon* único, apresentou menor coeficiente de variação para medidas de DMO do antebraço (1,20% para a AXDE e 2,25% para a absorptometria de *photon* único) e melhor precisão de curto prazo⁴¹.

A viabilidade de se utilizar esta técnica em crianças também foi comprovada⁴. Para simular tal população, foram utilizados porcos recém-nascidos, em exames de corpo inteiro, no modo pediátrico, em triplicata. Foi constatado que a AXDE é uma tecnologia não invasiva e relativamente segura para a utilização em crianças.

Para avaliar a precisão da AXDE com um tipo diferente de *scanner*, o *fan-beam*, foram mensurados seis úmeros de ratos³. Os exames foram realizados seis vezes, com e sem reposicionamento. Foram encontrados erros de medida de 0,76% sem o reposicionamento e de 0,86% com reposicionamento. Como estes erros são relativamente pequenos (menores que 1%), os valores de DMO não foram influenciados.

No Tabela 1, observa-se uma síntese dos estudos de validação citados neste tópico.

Tabela 1. Estudos sobre validação da absorptometria de raio-X de dupla energia.

Estudo	Padrão de referência	Amostra	Conclusão
Slosman <i>et al.</i> ¹⁷	CCTP	Saudáveis e portadores de AIDS	Técnica válida
Glickman <i>et al.</i> ⁶	TC	Indivíduos de 18 a 72 anos	Técnica válida
Visser <i>et al.</i> ⁷	TC e 4C	Idosos	Técnica válida
Ho <i>et al.</i> ⁵	M _{cinza}	Cadáveres	Técnica válida

Sendo: CCTP= conteúdo corporal total de potássio, TC= tomografia computadorizada, 4C= modelo tetracompartimental, M_{cinza} = massa da cinza, AIDS= sigla, em inglês, do termo síndrome da imuno deficiência adquirida.

A partir da observação destes estudos^{3-7,17,41}, pode-se concluir que a técnica da AXDE é realmente válida e precisa. No entanto, algumas limitações são assumidas.

Sabe-se, por exemplo, que o valor exato da DMO é uma função do conteúdo mineral ósseo (g) pelo volume do osso (cm³) analisado, o que seria a DMO volumétrica. No entanto, devido a limitações tecnológicas, a AXDE mede a DMO com base em uma área bidimensional projetada (cm²) do osso e, assim, o produto é expresso como uma densidade regional (g/ cm²).

Além disso, a DMO volumétrica, medida pela atual tecnologia da AXDE, é restrita a locais nos quais o volume ósseo pode ser derivado da área óssea. Isto requer suposições, por exemplo, de que o osso tenha a forma de um cilindro sólido, o que pode ser verdadeiro na região do colo do fêmur, mas não no corpo deste⁸.

Sabe-se que a vértebra da coluna lombar não é um cilindro e nem um cubo. Além disso, como o raio-X da AXDE vem de uma direção pósterio-anterior, a parte posterior e alguma parte dos processos transversos são, inevitavelmente, incluídos na quantificação do CMO, mas não na região óssea⁹.

O Consenso Brasileiro em Densitometria⁴² relata algumas contra-indicações que se referem a fatores que podem interferir na qualidade e precisão do exame. Por exemplo, o paciente ter realizado exame contrastado ou de medicina nuclear recentes, pacientes cujo diâmetro abdominal antero-posterior exceda os limites da técnica (para exames centrais), e incapacidade de manter o decúbito dorsal pelo tempo necessário. Além disso, sujeitos maiores que 193 cm de estatura, ou mais largos que a área de exame (58 a 65 cm), podem não ter uma medida acurada pela AXDE, já que parte do corpo ficará de fora desta área, no exame de corpo inteiro³⁹. Além destes fatores, para aqueles sujeitos com mais de 100 kg ou com um valor

de $\sqrt{\text{massa corporal} \div \text{estatura}}$ maior que 0,72, a validade das medidas pode ser reduzida, devido à dependência de coeficientes de atenuação do tecido mole/massa óssea com a espessura dos sujeitos.

Tabela 2. Estudos para averiguar as limitações da absorptometria de raio-X de dupla energia (AXDE).

Estudo	Metodologia	Conclusão
Peel e Eastell ⁹	Mensuração das projeções antero-posterior e lateral da coluna lombar	Processos transversos não são incluídos na região óssea projetada.
Shepherd <i>et al.</i> ¹⁰	Dois aparelhos de AXDE	Diferenças, específicas por região esquelética, no erro de medida em exames de curto prazo.
Koo <i>et al.</i> ¹¹	Diferentes versões do <i>softwares</i>	Diferença entre as versões aprimoradas e “não aprimoradas”.
Glaner e Silva ¹²	Duas análises do mesmo exame (coluna lombar) feitas por mesmo técnico	Diferença entre as análises.
Paccini ⁴³	Três análises do mesmo exame (coluna lombar e fêmur) feitas por dois técnicos e pelo <i>software</i>	Diferença entre as análises.

Alguns estudos têm sido realizados, mostrando outras limitações da AXDE, como os erros de medida entre diferentes aparelhos¹⁰. Quando comparados dois aparelhos de AXDE (*Lunar Prodigy - GE Healthcare* e o *Delphi - Hologic*), foram encontrados erros de medida diferentes em cada região mensurada. Erros de medida também foram encontrados nas diferentes versões de *softwares* em um mesmo aparelho de AXDE (QDR 2000 Plus/ Hologic)¹¹. Nas análises com um *software* de corpo inteiro para adultos, foram utilizadas quatro versões adicionais deste mesmo *software* (v 5.71, v 5.73 e também versões aprimoradas de cada uma delas). Não foi encontrada diferença significativa entre as duas versões aprimoradas do *software*, mas estas versões diferiram significativamente das “não aprimoradas”. Sugere-se, portanto, que os fabricantes do aparelho devem fornecer informação clara sobre qualquer modificação efetuada na versão do *software*¹¹.

Outra limitação é com relação às análises dos exames de AXDE. Sabe-se que o aparelho realiza o exame, mas as análises são feitas, manualmente, por técnicos, utilizando comandos no teclado do computador para delimitar a região de interesse. Isto gera certa desconfiança quanto aos resultados deste tipo de análise, haja vista a incerteza de sempre se delimitar a mesma quantidade de massa óssea. Neste sentido, foram realizados estudos com o objetivo de verificar se existem diferenças entre a DMO das vértebras lombares¹² e do fêmur¹³ obtidas em duas análises, feitas em dias distintos, a partir de um único exame. Nas vértebras lombares foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre estas duas análises, o que confirma a existência de erros humanos na delimitação da região de interesse, prejudicando a medida da DMO. Esta diferença não foi encontrada quando a região do fêmur foi investigada¹³. Acredita-se que a distinção entre os resultados destes estudos se deva ao fato de que as análises são feitas usando comandos no teclado do computador para eliminar (limpar) os tecidos moles que estão em torno das regiões estudadas. Conseqüentemente, não se tem certeza de que em análises distintas, no mesmo sujeito, será eliminada a mesma quantidade de tecido. A região do fêmur apresenta menos acidentes ósseos do que a da coluna, o que facilita a eliminação da mesma quantidade de tecido em torno do osso, diminuindo assim a possibilidade de erro de análise¹³.

Em outro estudo⁴³, quando três análises (de dois técnicos e do *software*) foram realizadas, a partir de

um único exame em cada porção do fêmur e vértebras lombares, encontrou-se diferença significativa ($p \leq 0,05$) para todas as porções, exceto para a vértebra lombar 4 e as porções inteiro e trocânter da região do fêmur. Isto significa que diferentes técnicos podem encontrar diferentes valores de DMO, mesmo se tratando de um único exame. Levando para o campo prático, se análises de AXDE forem realizadas por mais de um técnico, existe a possibilidade de que as diferenças encontradas não sejam devidas a uma real alteração na DMO, mas sim uma conseqüência de erros de análise. Esta situação poderá mascarar possíveis perdas ou ganhos reais de DMO.

A síntese de alguns destes estudos acerca das limitações da AXDE pode ser encontrada na Tabela 2.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura, contemplada por este artigo, indica que grande parte da quantidade mineral óssea do organismo é adquirida durante a infância e a adolescência. Na idade entre 21 e 25 anos a DMO se estabiliza, caracterizando o pico de massa óssea. Quanto maior for o pico de massa óssea alcançado na juventude, maior será a reserva óssea durante a fase adulta e na terceira idade.

Além do ganho mineral ósseo durante a juventude, outros fatores merecem atenção, já que também podem influenciar a DMO. São eles a idade, a etnia, o sexo, os fatores genéticos e o estilo de vida.

Esta revisão evidencia ainda a importância do monitoramento da DMO, para a prevenção de problemas físicos (fraturas) e osteometabólicos (osteopenia/ osteoporose), que, via de regra, resultam em um enorme custo social e econômico.

A mensuração e o monitoramento da DMO têm sido feitos, principalmente, por meio da utilização do aparelho de AXDE. Vários estudos confirmam a validade deste aparelho para a mensuração da composição corporal. Em estudos mais recentes, no entanto, são evidenciadas algumas limitações no uso da AXDE, que afetariam a sua acuracidade.

Os estudos que trazem os questionamentos sobre a acuracidade e as limitações do referido aparelho são ainda escassos. Desta forma, verifica-se a necessidade de novos estudos que tratem do assunto, com o objetivo de definir, claramente, até que ponto a utilização deste aparelho pode ser feita de forma acurada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pessoa JHL, Lewin S, Longui CA, Mendonça BB, Bianco AC. Densidade mineral óssea: correlação com peso corporal, estatura, idade óssea e fator de crescimento símile à insulina. *J Pediatr* 1997;73(4):259-264.
2. Gilsanz V, Mora S. Establishment of peak bone mass. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2003;32(1):39-63.
3. Kastl S, Sommer T, Klein P, Hohenberger W, Engelke K. Accuracy and precision of bone mineral density and bone mineral content in excised rat humeri using fan beam dual-energy x-ray absorptiometry. *Bone* 2002;30(1):243-246.
4. Brunton JA, Bayley HS, Atkinson SA. Validation and application of dual-energy x-ray absorptiometry to measure bone mass and body composition in small infants. *Am J Clin Nutr* 1993;58(6):839-45.
5. Ho CP, Kim RW, Schaffler MB, Sartoris DJ. Accuracy of dual-energy radiographic absorptiometry of the lumbar spine: cadaver study. *Radiology* 1990;176(1):171-173.
6. Glickman SG, Marn CS, Supiano MA, Denge DR. Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. *J Appl Physiol* 2004;97(2):509-514.
7. Visser M, Fuerst T, Lang T, Salamone E L, Harris TB. Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. *J Appl Physiol* 1999;87(4):1513-1520.
8. Lu PW, Cowell CT, Lloyd-Jones SA, Briody JN, Howman-Giles R. Volumetric bone mineral density in normal subjects, aged 5-27 years. *J Clin Endocrinol Metab* 1996;81(4):1586-90.
9. Peel NF, Eastell R. Diagnostic value of estimated volumetric bone mineral density of the lumbar spine in osteoporosis. *J Bone Miner Res* 1994;9:317-20.
10. Shepherd JA, Fan B, Lu Y, Lewiecki EM, Miller P, Genant HK. Comparison of BMD precision for Prodigy and Delphi spine and femur scans. *Osteoporos Int* 2006;17(9):1303-1308.
11. Koo WWK, Hammami M, Hockman EM. Validation of Bone Mass and Body Composition Measurements in Small Subjects with Pencil Beam Dual Energy X-Ray Absorptiometry. *J Am Col Nutr* 2004;23(1):79-84.
12. Glaner MF, Silva RAS. Feasible mistakes in the increase or maintenance of the bone mineral density. *Book of Abstracts - XI Annual Congress of the European College of Sport Science*. Lausanne: 2006. p. 532.
13. Glaner MF, Silva RAS. Análise da densidade óssea: qual sítio utilizar? *Rev bras Educ Fís Esp* 2006;20(suplemento 5): 303.
14. Walker MD *et al.* A referent bone mineral density database for chinese american women. *Osteoporos Int* 2006;17(6):878-887.
15. Lima WA. Topografia da gordura corporal e sua associação com glicemia, trigliceridemia, colesterolemia e índice aterogênico. [Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação *Strictus Sensus* em Educação Física]. Brasília (DF): Universidade Católica de Brasília; 2005.
16. Bachrach LK, Hastie T, Wang MC, Narasimhan B, Marcus R. Bone mineral acquisition in healthy asian, hispanic, black, and caucasian youth: a longitudinal study. *J Clin Endocrinol Metab* 1999;84(12):4702-4712.
17. Slosman DO, Casez JP, Pichard C, Rochat T, Fery F, Rizzoli R, *et al.* Assessment of whole-body composition with dual-energy x-ray absorptiometry. *Radiology* 1992;185(2):593-98.
18. Lafage-Proust MH, Combe C, Barthe N, Aparicio M. Bone mass and dynamic parathyroid function according to bone histology in nondialyzed uremic patients after long-term protein and phosphorus restriction. *J Clin Endocrinol Metab* 1999;84(2):512-519.
19. Ensrud KE *et al.* Endogenous sex steroids, weight change and rates of hip bone loss in older men: the MrOS study. *Osteoporos Int* 2006;17(9):1329-1336.
20. Abraham R, Walton J, Russell L, Wolman R, Wardley-Smith, Green J. R, *et al.* Dietary determinants of post-menopausal bone loss at the lumbar spine: a possible beneficial effect of iron. *Osteoporos Int* 2006;17(8):1165-1173.
21. Sairanen S, Kärkkäinen M, Tähtelä R, Laitinen K, Mäkelä P, Lamberg-Allardt C, Välimäki MJ. Bone mass and markers of bone and calcium metabolism in postmenopausal women treated with 1,25-dihydroxyvitamin D (calcitriol) for four years. *Calcif Tissue Int* 2000;67(2):122-127.
22. Barnekow-Bergkvist M, Hedberg G, Pettersson U, Lorentzon R. Relationships between physical activity and physical capacity in adolescent females and bone mass in adulthood. *Scand J Med Sci Sports* 2006;16(6):447-455.
23. Bezerra LMA. Efeitos da ioga na densidade mineral óssea e marcadores bioquímicos ósseos em idosas. [Dissertação de mestrado – Pós-Graduação *Strictus Sensus* em Educação Física]. Brasília (DF): Universidade Católica de Brasília, 2005.
24. Vuillemin A, Guillemin F, Jouanny P, Denis G, Jeandel C. Differential influence of physical activity on lumbar spine and femoral neck bone mineral density in the elderly population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001;56(6):B248-B253.
25. Gastre C, Brailon P, Dvid L, Cochat P, Meunier PJ, Delmas PD. Measurement of bone mineral content of the lumbar spine by dual x-ray absorptiometry in normal children: correlations with growth parameters. *J Clin Endocrinol Metab* 1990;70(5):1330-3.
26. Brandão CMA, Vieira JGH. Fatores envolvidos no pico de massa óssea. *Arq Bras Endocrinol Metab* 1999;46(6):401-408.
27. Pinto Neto AMP, Soares A, Urbanetz AA, Souza ACA, Ferrari AEM, Amaral B, *et al.* Consenso brasileiro de osteoporose 2002. *Rev Bras Reumatol* 2002;42(6):343-354.
28. Haussler B, Gothe H, Gol D, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D. Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany-the BoneEVA Study. *Osteoporos Int* 2007;18(1):77-84.
29. Fonseca ASM, Szejnfeld VL, Terreri MT, Goldenberg J, Ferraz MB, Hilário MOE. Bone mineral density of the lumbar spine of Brazilian children and adolescents aged 6 to 14 years. *Braz J Med Biol Res* 2001;34(3):347-352.
30. Moser DC, Melo SIL, Santos SG. Influência da atividade física sobre a massa óssea de mulheres. *Rev Bras Cineantropom Desemp Hum* 2004;6(1):46-53.
31. Englund U, Littbrand H, Sundell A, Pettersson U, Bucht G. A 1-year combined weight-bearing training program is beneficial for bone mineral density and neuromuscular function in older women. *Osteoporos Int* 2005;16(9):1117-1123.
32. Uusi-Rasi K, Sievanen H, Heinonen A, Vuori I, Beck TJ, Kannus P. Long-term recreational gymnastics provides a clear benefit in age-related functional decline and bone loss - a prospective 6-year study. *Osteoporos Int* 2006;17(8):1154-1164.
33. Vicente-Rodriguez, Dorado C, Perez-Gomez J, Gonzalez-Henriquez JJ, Calbet JAI. Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone* 2004;35(5):1208-1215.

34. James MMS, Carroll S. Progressive high-intensity resistance training and bone mineral density changes among premenopausal women evidence of discordant site-specific skeletal effects. *Sports Med* 2006;36(8):683-704.
35. Prior JC, Barr SI, Chow R, Faulkner RA. Physical activity as therapy for osteoporosis. *Can Med Assoc J* 1996;155(7):940-944.
36. Jackman LA, Millane SS, Martin BR, Wood OB, McCabe GP, Peacock M *et al.* Calcium retention in relation to calcium intake and postmenarcheal age in adolescent females. *Am J Clin Nutr* 1997;66(2):327-333.
37. Nordin BE. Calcium and osteoporosis. *Nutrition* 1997;13(7-8):664-86.
38. Chapuy MC, Pamphile R, Paris E, Kempf C, Schlichting M, Arnaud S *et al.* Combined calcium and vitamin D₃ supplementation in elderly women: confirmation of reversal of secondary hyperparathyroidism and hip fracture risk: The Decalys II study. *Osteoporos Int* 2002;13(3):257-264.
39. Lohman TG. Dual energy x-ray absorptiometry. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, organizadores. *Human body composition*. Copyright, 1996. p. 63-78.
40. Plank LD. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2005; 8(3): 305-309.
41. Eckert P, Casez JP, Thibaud D, Schnyder P, Burckhardt P. Bone densitometry of the forearm: comparison of single-photon and dual-energy X-ray Absorptiometry. *Bone* 1996;18(6):575-579
42. Consenso Brasileiro em Densitometria de 2003. Sociedade Brasileira de Densitometria Clínica – SBDens. Disponível em <http://www.sobrao.com.br/consenso>. [2006 out 29].
43. Paccini MK. Possibilidades de erros na quantificação da densidade mineral óssea através da absorptometria de raio-X de dupla energia. [Dissertação de mestrado – Pós-Graduação *Strictus Sensus* em Educação Física]. Brasília (DF): Universidade Católica de Brasília, 2007.

Endereço para correspondência

Marina Kanthack Paccini
Rua Cruz e Souza, 995
CEP: 19802-112 - Assis, SP - Brasil
E-mail: marinapaccini@gmail.com

Recebido em 03/06/07
Revisado em 12/08/07
Aprovado em 25/10/07