



Artigo Original

Anatomia radiográfica do fêmur proximal: fratura de colo vs. fratura transtrocanterica[☆]



Ana Lecia Carneiro Leão de Araújo Lima, Saul Caldas Miranda e Hudson Felipe Oliveira de Vasconcelos*

Hospital Otávio de Freitas, Recife, PE, Brasil

INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

Histórico do artigo:

Recebido em 13 de junho de 2016

Aceito em 4 de outubro de 2016

On-line em 26 de junho de 2017

Palavras-chave:

Fraturas do quadril

Colo do fêmur

Radiografia

R E S U M O

Objetivo: Correlacionar parâmetros radiográficos do fêmur proximal com a ocorrência de fraturas do colo do fêmur ou fraturas transtrocantericas do fêmur.

Métodos: Foram avaliados o ângulo cervicodifisário (ACD), a largura do colo femoral (LCF), o comprimento do eixo do quadril (CEQ) e a distância entre as lágrimas acetabulares (DL) de radiografias de bacia em incidência anteroposterior de 30 pacientes com fratura de colo de fêmur (n=15) e fratura transtrocanterica de fêmur (n=15). A avaliação foi feita com a comparação dos pacientes com fratura de colo de fêmur com os pacientes com fratura transtrocanterica.

Resultados: Não foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre as amostras obtidas entre os dois grupos comparados.

Conclusão: Não houve correlação entre os parâmetros radiográficos avaliados e ocorrência específica de fraturas de colo de fêmur ou fraturas transtrocantericas de fêmur.

© 2017 Publicado por Elsevier Editora Ltda. em nome de Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Radiographic anatomy of the proximal femur: femoral neck fracture vs. transtrochanteric fracture

A B S T R A C T

Objective: To evaluate the correlation between radiographic parameters of the proximal femur with femoral neck fractures or transtrochanteric fractures.

Methods: Cervicodiaphyseal angle (CDA), femoral neck width (FNW), hip axis length (HAL), and acetabular tear drop distance (ATD) were analyzed in 30 pelvis anteroposterior view X-rays of patients with femoral neck fractures (n = 15) and transtrochanteric fractures (n = 15). The analysis was performed by comparing the results of the X-rays with femoral neck fractures and with transtrochanteric fractures.

Results: No statistically significant differences between samples were observed.

Keywords:

Hip fractures

Femur neck

Radiography

[☆] Trabalho desenvolvido no Hospital Otávio de Freitas, Recife, PE, Brasil.

* Autor para correspondência.

E-mail: hudsonfelipe3@hotmail.com (H.F. Vasconcelos).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rbo.2016.10.015>

0102-3616/© 2017 Publicado por Elsevier Editora Ltda. em nome de Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Conclusion: There was no correlation between radiographic parameters evaluated and specific occurrence of femoral neck fractures or transtrochanteric fractures.

© 2017 Published by Elsevier Editora Ltda. on behalf of Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Os avanços na medicina e farmacologia permitiram um aumento significativo na expectativa de vida mundial, refletiram positivamente no crescente número de idosos. Entretanto, existe uma real preocupação quanto à qualidade com que esses adultos envelhecem e, principalmente, como prevenir e tratar adequadamente os acometimentos inerentes a essa faixa etária e suas complicações. Dentre essas afecções estão as fraturas chamadas de baixa energia ou consequência de complicações patológicas associadas.¹⁻³

As fraturas do quadril têm graves repercussões relacionadas ao paciente idoso, principalmente aos chamados grandes idosos (acima de 80 anos).³ A alta morbidade e mortalidade, o alto índice de incapacidade em pós-operatório e os custos crescentes para a sociedade com resultados pouco expressivos relacionados ao tratamento dão relevância ao tema.⁴ Essas fraturas são consideradas um dos maiores problemas de saúde pública do mundo.⁴ Segundo estatísticas americanas, mais de 250.000 fraturas de quadril ocorrem a cada ano com expectativa de aumento de 100% dos casos/ano em aproximadamente 30 anos. No Brasil, em 2010, a incidência era de 100.000 fraturas ao ano e a média de mortalidade, após um ano de fratura, de 30%. Dentre as mais relevantes estão as fraturas do fêmur, especificamente as proximais.⁴

O tratamento cirúrgico adequado é fundamental para o bom prognóstico do paciente operado e o método escolhido está relacionado, diretamente, ao tipo de fratura de quadril, especificamente os tipos de fraturas do fêmur, distal ou proximal. Dentre as fraturas proximais estão dois tipos: intracapsulares e extracapsulares. No primeiro tipo estão as fraturas do colo femoral, já no segundo as fraturas transtrochanterianas. Ambas têm o trauma de baixa energia como principal fator desencadeante e têm grande influência em patologias associadas, como, por exemplo, a osteoporose.⁵⁻⁷

A osteoporose, sem dúvida a mais comum das doenças ósseas, tornou-se um flagelo de considerável significado econômico. Fatores como etnia, sexo, exercício e nutrição influenciam a qualidade máxima de massa óssea atingida em cada indivíduo, porém não são os únicos fatores determinante para fraturas. Como se sabe, a literatura especializada enfatiza que a densidade mineral óssea (DMO), um fator preditivo de fratura relacionado com a idade, nem sempre é um dado coerente: indivíduos com uma DMO de colo do fêmur muito baixa não fraturam; outros com a DMO de colo do fêmur normal fraturam.⁸ Parece que existem outras variáveis relevantes que determinam as fraturas e principalmente seus tipos, como a anatomia óssea.^{8,9}

A geometria óssea do fêmur proximal já foi estudada¹⁰ como um fator de risco potencial e somou positivamente na predição ao risco de fratura. Todavia, na maioria dos estudos

de fratura de quadril não se distingue a predisposição entre os dois principais tipos de fratura (colo do fêmur e transtrochanterica), o que na prática clínica seria fundamental, já que a abordagem cirúrgica de eleição para os dois pode ser diferente, devido à alta taxa de indicação de artroplastia de quadril em fratura de colo do fêmur, que repercute financeiramente e no pós-operatório em relação à recuperação do paciente.

Por esses motivos o objetivo do estudo foi analisar a influência da geometria do fêmur proximal, através de mensuração em radiografias padronizadas da pelve, no tipo de fratura de fêmur apresentada.

Material e métodos

Estudo prospectivo, transversal, feito em serviço de referência ortopédica e traumatológica no Brasil, entre 10 de agosto de 2015 e 8 de setembro de 2015. Foram usadas 30 radiografias de pacientes com fraturas de quadril, escolhidas aleatoriamente conforme entrada dos casos. A abordagem seguiu a Declaração de Helsinque com aprovação do comitê de ética interno (1.221.094).

As radiografias foram feitas na incidência anteroposterior, com a ampola localizada a um metro do chassi. O paciente foi posicionado em decúbito dorsal horizontal e os membros inferiores foram rodados 15° internamente.

Como critérios de inclusão usaram-se radiografias panorâmicas de quadril de paciente com idade superior a 60 anos, de ambos os sexos, com fratura do colo do fêmur e transtrochanterica.

Nos critérios de exclusão constavam radiografias de pacientes com imaturidade esquelética, com fratura bilateral dos quadris, presença de lesões tumorais, infecciosas ou doenças metabólicas que pudessem alterar a anatomia do quadril e da região proximal do fêmur.

Após classificação e devida seleção, as radiografias foram avaliadas ergonomicamente de acordo as seguintes medidas:

- Ângulo cervicodiafisário (ACD): ângulo criado entre o eixo do colo femoral e a diáfise, medido no plano frontal.
- Largura do colo femoral (LCF): distância entre as linhas corticais, no ponto médio do colo femoral, perpendicular a seu eixo.
- Comprimento do eixo do quadril (CEQ): distância em linha reta que une a base do trocanter maior até a extremidade da cabeça femoral, segue a linha do eixo do colo do fêmur.
- Distância entre as lágrimas acetabulares (DL): distância em linha reta entre as lágrimas acetabulares.

A escolha desses índices de mensuração foi baseada em estudos prévios de análise morfométrica da região proximal do fêmur.¹¹ Todas as medidas foram feitas por dois

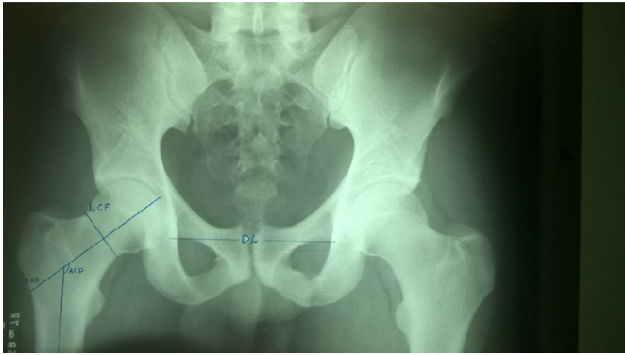


Figura 1 – Representação dos ângulos medidos em radiografia anteroposterior da pelve.

examinadores cegos, com auxílio de goniômetro (MSD, Europe BVBA-Bélgica).

As medidas foram coletadas através de marcação manual dos pontos de referência citados. Optou-se por não usar programas de computador, para mensuração, pois a digitalização das radiografias acarretaria problemas de magnificação desigual das imagens, geraria viés de aferição, já que o sistema disponível no serviço não é digital (fig. 1).

Para avaliar os parâmetros intrínsecos da amostragem quanto à normalidade e à distribuição foi usado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os dados foram expressos em média, desvio padrão e porcentagem (SPSS Statistical Software).

As variáveis foram analisadas descritivamente através da média, desvio-padrão, mínimos e máximos e intervalos de confiança a 95%. O estudo da diferença entre as médias de duas variáveis foi estabelecido pelo teste t de Student e o índice de correlação através do coeficiente de correlação de Pearson. O nível de significância usado para os testes foi de 5% (ROSNER, B. *Fundamentals of Biostatistics*. Boston, PWS Publishers, 2nd ed.)

Resultados

Fizeram parte do estudo 30 pacientes, do sexo masculino (n = 6; média = 76, dp = 3,48) e feminino (n = 24; média = 77,37, dp = 8,53), divididos em dois grandes grupos de fraturas com as respectivas avaliações ergonômicas, conforme representado na tabela 1.

Avaliação paramétrica dos dados coletados

Para se estabelecer índices confiáveis nas comparações, foi, primeiramente, estabelecida a normalidade das amostras, segundo o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, ou seja, foi determinado se duas distribuições de probabilidade subjacentes iriam diferir em relação à hipótese de normalidade, em qualquer um dos casos. E não foi rejeitada a normalidade para as variáveis investigadas com valor de $p > 5\%$.

Em seguida, para descaracterizar possíveis viés de interferências entre as angulações medidas pelos observadores do estudo, em relação ao sexo e idade, o teste de correlação de Pearson foi determinado. Não houve associação positiva entre as variáveis, como é possível observar na tabela 2.

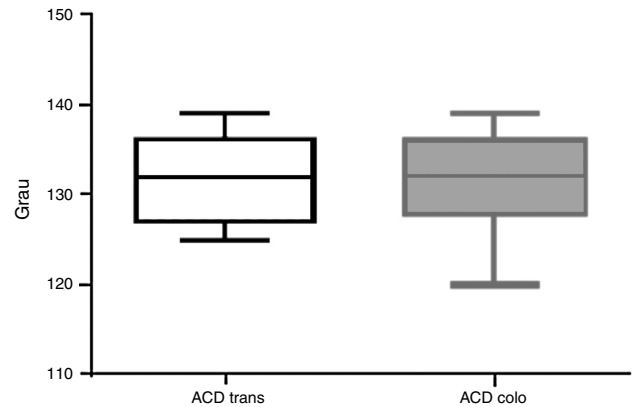


Figura 2 – Representação da relação estatística do teste t pareado entre ACD em fraturas transtrocantericas e ACD em fraturas de colo do fêmur.

Após se determinar a normalidade das amostras e excluir os viés de interferência, foram comparadas as medidas, feitas pelos observadores envolvidos na pesquisa, para se obterem respostas quanto à diferença entre os tipos de fraturas, representadas pelos ângulos medidos, e se haveria uma correlação entre esses valores. Obtivemos como resultado que apesar de haver diferenças entre as angulações médias em torno de 3 a 7°, essas não foram significativas quando aplicado o teste t de Student (tabela 3, figs. 2-5).

Para se estabelecer correlação entre as variáveis medidas em função do tipo de fratura foi aplicado o teste de correlação de Pearson, o que mostrou negatividade e baixos índices de correlação, todos não significantes (tabela 4 e figs. 6-9).

Limitações do estudo

Seriam necessários uma amostragem mais alta e representativa da população acometida por fraturas de quadril, um estudo em diferentes grupos com patologias associadas e adicionar um grupo controle sadio.

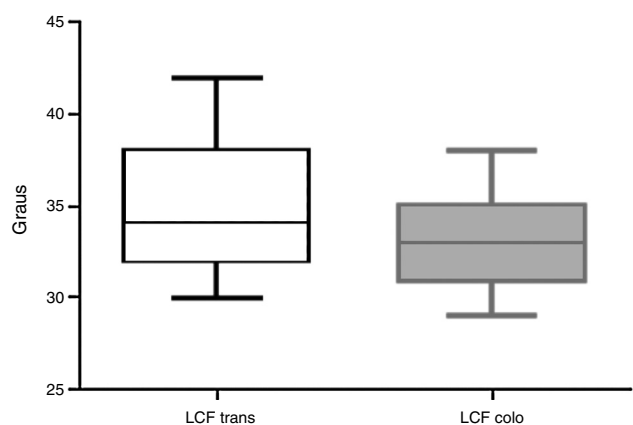


Figura 3 – Representação da relação estatística do teste t pareado entre LCF em fraturas transtrocantericas e LCF em fraturas de colo do fêmur.

Tabela 1 – Caracterização dos grupos segundo os ângulos avaliados

Ângulos	Fraturas							
	Transtrocantéricas				Colo			
	ACD	LCF	CEQ	DL	ACD	LFC	CEQ	DL
MAX	139	42	126	135	139	39	132	134
MIN	125	30	99	110	120	29	90	114
M	131,7	34,7	110,2	125,1	131,8	33,2	112,6	122,1
DP	1,2	0,98	2,22	1,96	1,33	0,65	3,08	1,36
n	15	15	15	15	15	15	15	15

Max, máximo; Min, mínimo; M, média; DP, desvio padrão; n, número de casos.

Tabela 2 – Teste de correlação de Pearson para descaracterizar correlação entre idade, sexo e medidas

Medidas		ACD	LCF	CEQ	DLT
IDADE	Correlação de Pearson	0,124	0,049	0,159	0,094
	Valor p	0,392	0,735	0,116	0,318
SEXO	Correlação de Pearson	-0,094	-0,064	-0,225	-0,144
	Valor p	0,387	0,516	0,657	0,318
TOTAL	N	50	50	50	50

Tabela 3 – Representação numérica dos dados de comparação (teste t não pareado) entre os tipos de fraturas para cada par dos ângulos estudados

Pares	n	DM	IC (95%)	R	p
ACD Trans x Colo	30	0,13 ± 1,7	-3,5 a 3,8	0,0001	0,69
LCF Trans x Colo	30	-1,46 ± 1,18	-3,89 a 0,95	0,05	0,14
CEQ Trans x Colo	30	2,4 ± 3,8	-5,39 a 10,19	0,01	0,53
DL Trans x Colo	30	-3 ± 2,3	-7,9 a 1,9	0,05	0,22

DM, desvio das médias; n, número de pacientes; p, valor estatístico para significância da correlação; r, índice de correlação de Person.

Tabela 4 – Descrição numérica dos valores atribuídos aos pares de correlação de Pearson, entre as fraturas transtrocantéricas e de colo de fêmur

Pares	n	r	IC (95%)	R	p
ACD Trans x Colo	30	0,38	-0,17 a 0,6	0,15	0,15
LCF Trans x Colo	30	0,394	-0,16 a 0,74	0,145	0,14
CEQ Trans x Colo	30	0,04	-0,47 a 0,54	0,002	0,43
DL Trans x Colo	30	-0,06	-0,55 a 0,46	0,003	0,82

n, número de pacientes; p, valor estatístico para significância da correlação; r, índice de correlação de Person

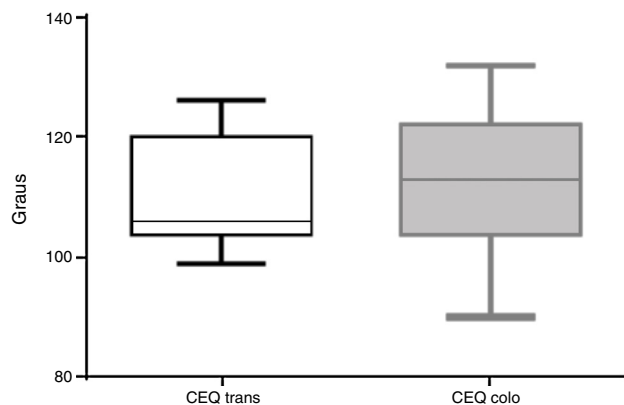


Figura 4 – Representação da relação estatística do teste t pareado entre CEQ em fraturas transtrocantéricas e CEQ em fraturas de colo do fêmur.

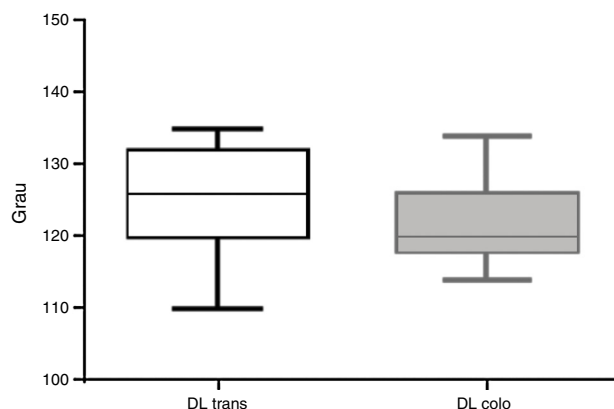


Figura 5 – Representação da relação estatística do teste t-pareado entre DL em fraturas transtrocantéricas e DL em fraturas de colo do fêmur.

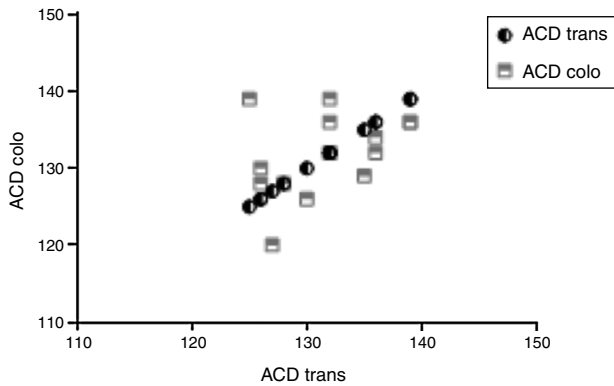


Figura 6 – Representação gráfica da correlação negativa entre ACD em fraturas transtrocantericas e ACD em fraturas de colo do fêmur.

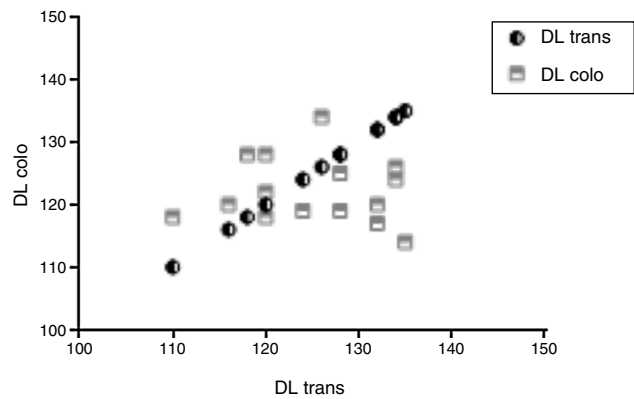


Figura 9 – Representação gráfica da correlação negativa entre DL em fraturas transtrocantericas e DL em fraturas de colo do fêmur.

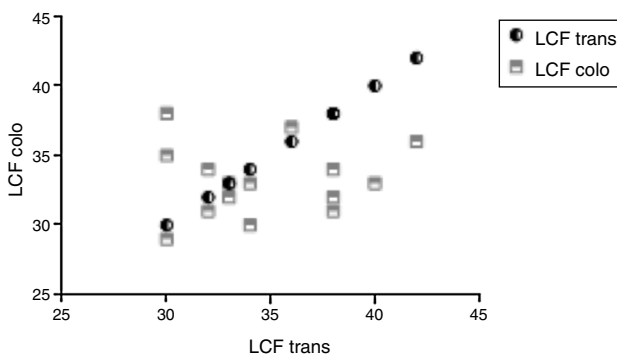


Figura 7 – Representação gráfica da correlação negativa entre LCF em fraturas transtrocantericas e LCF em fraturas de colo do fêmur.

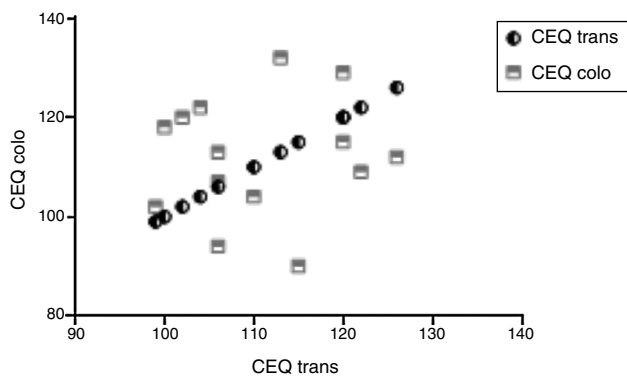


Figura 8 – Representação gráfica da correlação negativa entre CEQ em fraturas transtrocantericas e CEQ em fraturas de colo do fêmur.

Discussão

Em nosso estudo ficou demonstrado que apesar de a radiografia ser um bom método para avaliar as estruturas ósseas e prever fraturas de quadril, quando comparado com um grupo controle sadio, não foi sensível o suficiente para capturar diferenças entre as fraturas transtrocantericas e de colo do fêmur. Não representou diferença geométrica significativa entre os grupos de estudo.

O aumento do risco de fraturas ósseas devido à perda de massa óssea em envelhecimento ou doença é um grande problema clínico, leva à estimativa de custos de saúde em torno de US\$ 17 bilhões só nos EUA.^{12,13} Não obstante o peso econômico, fraturas não vertebrais, especialmente do quadril, são uma importante causa de morbidade e mortalidade no envelhecimento da população.^{14,15} Mais de 4% dos pacientes com fratura na pelve morrem durante a hospitalização e 24% morrem dentro de um ano.¹⁶ Assim, são necessários esforços concentrados para identificar estratégias de tratamento que possam manter a saúde do esqueleto com a evolução da idade. No entanto, de importância primordial é melhorar a precisão na identificação das pessoas em risco de fraturas ósseas.

Medições de DMO são amplamente usadas para avaliar o estado mineral ósseo, especialmente em mulheres, e podem representar até 70% da força do osso. Embora as correlações entre a densidade mineral óssea, comumente determinada com absorciometria por dupla emissão de raios X (DXA), e risco de fratura tenham sido demonstradas, modelos de previsão com base em DXA sozinho muitas vezes têm baixa sensibilidade na identificação de indivíduos susceptíveis a sofrer uma fratura, particularmente em mulheres na menopausa e em populações mais idosas.^{2,17}

A integridade estrutural desse tecido em qualquer ambiente de carga mecânica é dependente da distribuição espacial da DMO, do tamanho e a forma, bem como das propriedades do material ósseo.^{18,19}

Na literatura, diversos estudos têm demonstrado potencial clínico de análise de textura óssea através de radiografias pélvicas para prever o risco de fraturas do colo do fêmur. Thevenot *et al.*,¹⁰ em pesquisa retrospectiva, obtiveram alta reprodutibilidade e confiabilidade intra e interobservadores, além de concluir que a análise estrutural de radiografias pélvicas permite a discriminação de pacientes com risco de fratura de colo de fêmur, corroboraram estudos descritos na literatura, os quais sugerem que os parâmetros de textura trabecular, especialmente o parâmetro entrópico, permitem fazer a separação dos indivíduos em risco dos indivíduos controle, porém nenhum sugere tal capacidade entre os tipos de lesão, como foi estudado na presente pesquisa.²⁰⁻²²

Um dos grandes vilões no acometimento ósseo é a osteoporose, sem dúvida a mais comum das doenças dos ossos. Tornou-se um flagelo de considerável significado econômico. Fatores como etnia, sexo, exercício e nutrição influenciam a qualidade máxima de massa óssea atingida em cada indivíduo. Porém, apenas a massa óssea não é um fator determinante.^{3,4} Em estudo feito por Cummings et al.²² foi observado que mulheres japonesas tinham densidade mineral óssea (DMO) menor do que as brancas americanas; entretanto, sofriam menos fraturas. Assim como a idade e IMC podem não se relacionar diretamente com a perda na massa óssea.²³

Wheeler et al.,⁸ em seu estudo da geometria em corte transversal de diáfises de ossos longos que relacionou DMO, IMC e idade, demonstraram que a resistência óssea é significativamente maior em indivíduos obesos contra IMC normal. No entanto, as dimensões articulares não diferem sensivelmente e indivíduos mais velhos com IMC mais elevado têm menor probabilidade de desenvolver uma fratura em relação a indivíduos mais jovens com IMC normal.

Na tentativa de estabelecer uma avaliação do risco baseada em DXA foi desenvolvida uma ferramenta multifatorial de propensão a fratura de quadril, método recomendado pela Organização Mundial de Saúde. Essa ferramenta leva em conta diferentes fatores (variáveis antropométricas, história médica e consumo de drogas) para avaliar o risco de fratura de 10 anos, usa fatores de risco clínicos com ou sem valores de DMO.²⁴ No entanto, provou-se que esse método ainda é de baixa sensibilidade para a predição de fratura, pois é aprimorado de um modo genérico e não pode refletir a complexidade da avaliação personalizada de indivíduos e/ou populações específicas.^{25,26}

Diferentes métodos de imagem, como a tomografia computadorizada, quantitativa periférica e ressonância magnética (RM) podem ser usados para se obter a geometria tridimensional e arquitetura do osso *in vivo*. Estes métodos podem dar alguma informação relevante na avaliação da qualidade do osso.²⁷ No entanto, a limitada disponibilidade e o custo elevado desses métodos promoveram o desenvolvimento de outras formas de análise de baixo custo que possam ser clinicamente aplicáveis, como as radiografias.

Na atualidade, a solução para o estudo, com baixo custo, das estruturas ósseas tem sido a radiografia convencional. Ela permite a avaliação da geometria, da estrutura e, eventualmente, do risco de fratura dos ossos. Todavia, ainda são necessários novos estudos prospectivos com medidas geométricas que confirmem a capacidade clínica da análise da textura óssea através dessa ferramenta, bem como a possibilidade de se preverem e estabelecerem grupos de riscos para os tipos de fraturas de quadril, principalmente as transtrocantericas e de colo do fêmur.

Conclusão

Em nosso estudo ficou demonstrado que apesar de a radiografia ser um bom método para avaliar as estruturas ósseas e prever fraturas de quadril, quando comparado com um grupo controle sadio, não foi sensível o suficiente para capturar diferenças entre as fraturas transtrocantericas e de colo do fêmur. Novos estudos prospectivos são necessários para estabelecer parâmetros capazes de aferir tais diferenças.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

1. Johnell O, Kanis JA, Odén A, Sernbo I, Redlund-Johnell I, Petterson C, et al. Mortality after osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*. 2004;15(1):38-42.
2. Kanis JA. Diagnosis of osteoporosis and assessment of fracture risk. *Lancet*. 2002;359(9321):1929-36.
3. Schuit SC, van der Klift M, Weel AE, de Laet CE, Burger H, Seeman E, et al. Fracture incidence and association with bone mineral density in elderly men and women: the Rotterdam Study. *Bone*. 2004;34(1):195-202.
4. Loures FB, Chaoubah A, Oliveira VM, Almeida AM, Campos EM, Paiva EP. Economic analysis of surgical treatment of hip fracture in older adults. *Rev Saúde Pública*. 2015;49:12.
5. Daniachi D, Santos Netto A, Ono NK, Guimarães RP, Polesello GC, Honda EK. Epidemiology of fractures of the proximal third of the femur in elderly patients. *Rev Bras Ortop*. 2015;50(4):371-7.
6. Formosa MM, Xuereb-Anastasi A. Biochemical predictors of low bone mineral density and fracture susceptibility in maltese postmenopausal women. *Calcif Tissue Int*. 2016;98(1):28-41.
7. Palm H, Teixidor J. Proximal femoral fractures: can we improve further surgical treatment pathways? *Injury*. 2015;46 Suppl 5:S47-51.
8. Wheeler RL, Hampton AD, Langley NR. The effects of body mass index and age on cross-sectional properties of the femoral neck. *Clin Anat*. 2015;28(8):1048-57.
9. Fritz J, Cöster ME, Nilsson JÅ, Rosengren BE, Dencker M, Karlsson MK. The associations of physical activity with fracture risk-a 7-year prospective controlled intervention study in 3534 children. *Osteoporos Int*. 2016;27(3):915-22.
10. Thevenot J, Hirvasniemi J, Pulkkinen P, Määttä M, Korpelainen R, Saarakkala S, et al. Assessment of risk of femoral neck fracture with radiographic texture parameters: a retrospective study. *Radiology*. 2014;272(1):184-91.
11. Pires RE, Prata EF, Gibram AV, Santos LE, Lourenço PR, Belloti JC. Radiographic anatomy of the proximal femur: correlation with the occurrence of fractures. *Acta Ortop Bras*. 2012;20(2):79-83.
12. Burge R, Dawson-Hughes B, Solomon DH, Wong JB, King A, Tosteson A. Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res*. 2007;22(3):465-75.
13. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Sembo I, Redlund-Johnell I, Dawson A, et al. Long-term risk of osteoporotic fracture in Malmö. *Osteoporos Int*. 2000;11(8):669-74.
14. Zhou Z, Redaelli A, Johnell O, Willke RJ, Massimini G. A retrospective analysis of health care costs for bone fractures in women with early-stage breast carcinoma. *Cancer*. 2004;100(3):507-17.
15. Kayan K, Kanis J, McCloskey E. Osteoporosis management by geriatricians in the UK. *Age Ageing*. 2003;32(5):553.
16. Khosla S, Melton LJ 3rd, Dekutoski MB, Achenbach SJ, Oberg AL, Riggs BL. Incidence of childhood distal forearm fractures over 30 years: a population-based study. *JAMA*. 2003;290(11):1479-85.
17. Kanis JA, Black D, Cooper C, Dargent P, Dawson-Hughes B, De Laet C, et al. A new approach to the development of assessment guidelines for osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2002;13(7):527-36.

18. Jepsen KJ, Hu B, Tommasini SM, Courtland HW, Price C, Terranova CJ, et al. Genetic randomization reveals functional relationships among morphologic and tissue-quality traits that contribute to bone strength and fragility. *Mamm Genome*. 2007;18(6-7):492-507.
19. Tommasini SM, Nasser P, Hu B, Jepsen KJ. Biological co-adaptation of morphological and composition traits contributes to mechanical functionality and skeletal fragility. *J Bone Miner Res*. 2008;23(2):236-46.
20. Chappard D, Baslé MF, Legrand E, Audran M. Trabecular bone microarchitecture: a review. *Morphologie*. 2008;92(299):162-70.
21. Pulkkinen P, Saarakkala S, Nieminen MT, Jämsä T. Standard radiography: untapped potential in the assessment of osteoporotic fracture risk. *Eur Radiol*. 2013;23(5):1375-82.
22. Cummings SR, Cauley JA, Palermo L, Ross PD, Wasnich RD, Black D, et al. Racial differences in hip axis lengths might explain racial differences in rates of hip fracture. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Osteoporos Int*. 1994;4(4):226-9.
23. Kanis JA, Johnell O, Oden A, Johansson H, McCloskey E. FRAX and the assessment of fracture probability in men and women from the UK. *Osteoporos Int*. 2008;19(4):385-97.
24. Trémollières FA, Pouillès JM, Drewniak N, Laparra J, Ribot CA, Dargent-Molina P. Fracture risk prediction using BMD and clinical risk factors in early postmenopausal women: sensitivity of the WHO FRAX tool. *J Bone Miner Res*. 2010;25(5):1002-9.
25. Korthoeuer D, Chandran M, Endocrine and Metabolic Society of Singapore. Osteoporosis management and the utilization of FRAX[®]: a survey amongst health care professionals of the Asia-Pacific. *Arch Osteoporos*. 2012;7:193-200.
26. Chappard D, Guggenbuhl P, Legrand E, Baslé MF, Audran M. Texture analysis of X-ray radiographs is correlated with bone histomorphometry. *J Bone Miner Metab*. 2005;23(1):24-9.
27. Hans D, Goertzen AL, Krieg MA, Leslie WD. Bone microarchitecture assessed by TBS predicts osteoporotic fractures independent of bone density: the Manitoba study. *J Bone Miner Res*. 2011;26(11):2762-9.