

Desenvolvimento e avaliação de um classificador de padrões para análise do crescimento facial pelo método de maturação vertebral cervical

Development and evaluation of a pattern classifier for analysis of facial growth by the cervical vertebral maturation method

Desarrollo y evaluación de un clasificador de patrones para el análisis del crecimiento facial por el método de maduración vertebral cervical

Roberto Silva Baptista¹, Anderson Diniz Hummel¹, Renata Abramovicz Finkelsztain¹, Cristina Lucia Feijó Ortolani², Ivan Torres Pisa²

RESUMO

Descritores: Sistemas de Apoio a Decisões Clínicas; Determinação da Idade pelo Esqueleto; Vértebras Cervicais

Objetivos: Este trabalho propõe o desenvolvimento de um classificador de padrões baseado no método Cervical Vertebral Maturation (CVM), que auxilia o profissional ortodontista na determinação do período ideal para o tratamento de uma série de deformidades dentofaciais. **Métodos:** Para o desenvolvimento do classificador, foram coletadas 187 radiografias cefalométricas laterais e um especialista em ortodontia realizou a avaliação da idade óssea manualmente em cada imagem. Por meio de um programa computacional desenvolvido para este fim, um segundo especialista marcou os pontos de interesse das vértebras nas imagens, formando assim uma base de dados para avaliação do classificador. Algoritmos de classificação foram então avaliados por meio do software Weka. **Resultados:** Seis classificadores foram obtidos com base no algoritmo Bayesiano Ingênuo, um para cada estágio cervical. Os resultados da avaliação da área sob a curva ROC (AUC) para os classificadores foram: CS1, 0,88; CS2, 0,74; CS3, 0,86; CS4, 0,76; CS5, 0,82; CS6, 0,92. O software de marcação de pontos mostrou ser útil ao ortodontista, armazenando dados em longo prazo podendo ser reproduzidos de forma exata a qualquer momento. **Conclusão:** Os resultados indicam que o classificador de padrões obtido auxilia o ortodontista a identificar o estágio cervical em que um indivíduo se encontra.

ABSTRACT

Keywords: Decision Support Systems, Clinical; Age Determination by Skeleton; Cervical Vertebrae

Objectives: This paper proposes the development of a pattern classifier based on the Cervical Vertebral Maturation (CVM) method, which helps the orthodontist to determine the optimal period for treatment of a variety of dentofacial deformities. **Methods:** For the development of the pattern classifier, 187 lateral radiographs were taken. Then, an orthodontist did the bone age assessment in each image manually. Through a computer program developed for this purpose, a second specialist pointed the landmarks on the vertebrae in each image resulting in a database for evaluate the classifier. Classification algorithms were then evaluated using Weka software. **Results:** Six classifiers were obtained based on Naive Bayes algorithm, one for each cervical stage. The results of the evaluation of the area under the ROC curve (AUC) for the classifiers were: CS1, 0,88; CS2, 0,74; CS3, 0,86; CS4, 0,76; CS5, 0,82; CS6, 0,92. The landmark pointer software proved to be useful for the orthodontist, storing data for long term and be accurately reproduced at any time. **Conclusion:** The results indicate that a pattern classifier assists the orthodontist to identify the cervical stage an individual is.

RESUMEN

Descriptores: Sistemas de Apoio a Decisiones Clínicas; Determinación de la Edad por el Esqueleto; Vértebras Cervicales

Objetivo: En este trabajo se propone el desarrollo de un clasificador de patrones sobre la base de la maduración cervical vertebral (CVM), el cual ayuda al ortodoncista para determinar el período óptimo para el tratamiento de una variedad de deformidades dentofaciales. **Método:** Para el desarrollo de lo clasificador de patrones, 187 radiografías laterales fueron tomadas. Entonces, un ortodoncista hizo la evaluación de la edad ósea en cada imagen de forma manual. A través de un programa informático desarrollado para este propósito, el segundo especialista señaló los puntos de referencia en las vértebras en cada imagen en la base de datos resultante para evaluar los clasificadores. Algoritmos de clasificación utilizando el software WEKA fueron evaluados. **Resultados:** Seis clasificadores se obtuvieron sobre la base de algoritmo Naive Bayes, uno para cada estadio cervical. Los resultados de la evaluación del área bajo la curva ROC (AUC) para los clasificadores son: CS1, 0,88; CS2, 0,74; CS3, 0,86; CS4, 0,76; CS5, 0,82; CS6, 0,92. El software para la puntuación demostró ser útil para el ortodoncista, el almacenamiento de datos en el largo plazo puede ser reproducido con exactitud en cualquier momento. **Conclusión:** Los resultados indican que lo SADC ayuda al ortodoncista para identificar lo estadio cervical que una persona es.

¹ Pós Graduação em Informática em Saúde da Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP - São Paulo (SP), Brasil.

² Departamento de Informática em Saúde (DIS) da Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP - São Paulo (SP), Brasil.

INTRODUÇÃO

A determinação da idade óssea possui importante papel no diagnóstico, nas investigações terapêuticas endocrinológicas e na investigação de problemas de crescimento em crianças⁽¹⁾. É cada vez mais utilizada pelos ortodontistas e ortopedistas faciais⁽²⁻⁴⁾, auxiliando no diagnóstico, planejamento e tratamento preventivo de uma série de deformidades dentofaciais.

Em geral, para avaliar a idade óssea em que o indivíduo se encontra utiliza-se a radiografia carpal⁽⁵⁻⁶⁾. Dois métodos são utilizados como referência na determinação da idade óssea: o método de Greulich-Pyle⁽⁷⁾ e o método de Tanner-Whitehouse (TW3)⁽⁸⁾. Contudo, outros métodos de avaliação da idade óssea têm sido estudados, como a inspeção das fases de maturação óssea das vértebras cervicais (CVM – *Cervical Vertebral Maturation*) observadas em radiografias cefalométricas laterais, muito utilizadas na ortodontia⁽⁹⁾. Nestas radiografias, as vértebras C2, C3 e C4 são vistas mesmo quando o paciente está usando um colar de proteção da tireóide.

O método CVM avalia a maturação óssea por meio de uma única radiografia cefalométrica lateral, evitando assim uma nova exposição do paciente à radiação ionizante. O custo também é reduzido, uma vez que esta técnica elimina o uso de radiografias adicionais como a carpal. No CVM, somente a segunda, terceira e quarta vértebras cervicais (C2, C3 e C4) são analisadas e as fases de maturação são divididas em seis estágios (Cervical Stages, CS)⁽⁹⁾.

Este método apresenta uma tendência atual de uso com grande confiabilidade descrita na literatura⁽¹⁰⁻¹³⁾. Ortolani⁽¹⁴⁾ o considerou como um método alternativo válido e prático, possibilitando até mesmo substituir outros métodos de avaliação do estágio em que o indivíduo se encontra na curva de crescimento⁽¹⁵⁾.

A subjetividade de alguns dos métodos, assim como a considerável complexidade de outros, torna seu uso dependente de profissionais com grande experiência, além de tornar o processo de avaliação oneroso.

É nesse sentido que sistemas de apoio à decisão clínica (SADCs) podem ser utilizados como ferramentas que identifiquem a gravidade da doença ou o melhor tratamento ajudando o profissional de saúde a tomar a melhor decisão para cada caso⁽¹⁷⁻¹⁸⁾. Como base para SADCs, técnicas de classificação de padrões vêm sendo utilizadas em diversas áreas da saúde, como por exemplo, para prever nefrotoxicidade e rejeição celular aguda após transplantes renais⁽¹⁹⁾ e na odontologia para o diagnóstico de doenças dentárias a partir de um conjunto de 14 características da dor de dente, como duração, intensidade e presença de cárie⁽²⁰⁾.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um classificador de padrões para auxiliar o profissional de ortodontia e de ortopedia facial na avaliação da maturação óssea em que um indivíduo se encontra baseado no método CVM modificado⁽²¹⁾.

MÉTODOS

O presente trabalho faz parte do projeto aprovado pelo

Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo sob o número 1842/09 e foi dividido em três fases, conforme apresentado na Figura 1. Atualmente o trabalho se encontra na fase de avaliação dos classificadores.

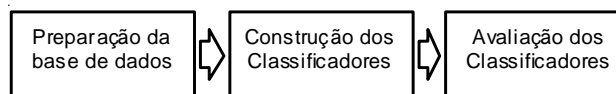


Figura 1 – Fases do Projeto

Fundamentos: Método CVM

Este trabalho fundamenta-se na última modificação do método CVM proposta por Baccteti, Franchi e McNamara Jr.⁽²¹⁾, no qual os autores defendem que as fases de maturação sejam divididas em seis estágios cervicais (*cervical stages*) CS1, CS2, CS3, CS4, CS5 e CS6 (Figura 2), refinando o método proposto anteriormente pelos mesmos autores, no qual se baseia em cinco estágios cervicais²². Na Figura 3 são apresentadas as estruturas cervicais morfolologicamente caracterizadas pelos pontos de interesse C2p, C2m, C2a, C3ua, C3up, C3lp, C3m, C3la, C4ua, C4up, C4lp, C4m e C4la, onde as letras u (de *upper*), l (de *lower*), a (de *anterior*) e p (de *posterior*) representam respectivamente pontos vertebrais superiores, inferiores, anteriores e posteriores.

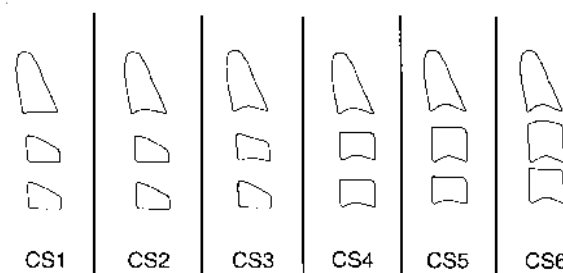


Figura 2 - Representação dos estágios das vértebras cervicais de acordo com método CVM modificado⁽²¹⁾.

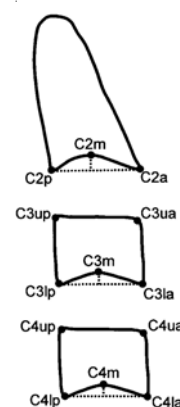


Figura 3 - Representação dos pontos de interesse nas vértebras C2, C3 e C4⁽²¹⁾.

Por meio da marcação manual dos pontos de interesse nas radiografias, Baccteti e colaboradores⁽²¹⁾ traçaram as distâncias entre os pontos e calculadas as medidas de interesse conforme o Quadro I.

A análise visual é baseada em dois conjuntos de variáveis: presença ou ausência de concavidade na base inferior das vértebras C2, C3 e C4; e a forma corporal das vértebras C3 e C4 (trapezóide, retangular, quadrado, retangular vertical)⁽²¹⁾ (Figura 2).

Quadro I - Medidas de interesse utilizadas no método CVM modificado⁽²¹⁾.

Medida	Descrição
C2Conc	Distância entre a base da vértebra C2 (distância entre C2a e C2p) e o ponto de maior concavidade da base da vértebra C2 (distância entre C2m e a base da vértebra)
C3Conc	Distância entre a base da vértebra C3 (distância entre C3la e C3lp) e o ponto de maior concavidade da base da vértebra C3 (distância entre C3m e a base da vértebra)
C4Conc	Distância entre a base da vértebra C3 (distância entre C3la e C3lp) e o ponto de maior concavidade da base da vértebra C3 (distância entre C3m e a base da vértebra)
C3BAR	Razão entre a base (distância entre C3la e C3lp) e a altura anterior (distância entre C3ua e C3la) da vértebra C3
C3PAR	Razão entre a altura posterior (distância entre C3up e C3lp) e a altura anterior (distância entre C3ua e C3la) da vértebra C3
C4BAR	Razão entre a base (distância entre C4la e C4lp) e a altura anterior (distância entre C4ua e C4la) da vértebra C4
C4PAR	Razão entre a altura posterior (distância entre C4up e C4lp) e a altura anterior (distância entre C4ua e C4la) da vértebra C4

Assim, ao longo dos seis estágios do método CVM modificado⁽²¹⁾ foi observado que as vértebras C3 e C4 passavam de um formato trapezoidal, com inclinação na borda superior, da parte posterior para a anterior, para um formato retangular, apresentando a base da vértebra maior que a altura, seguindo para um formato quadrado e, posteriormente, para uma forma que apresentava uma dimensão vertical (altura) maior que a horizontal (largura) (Figura 2).

Já as bordas inferiores das vértebras C2, C3, C4 apresentavam-se retas inicialmente, formando em seguida uma concavidade, que se tornava mais proeminente com o decorrer do desenvolvimento. A ordem de aparecimento dessas concavidades também indicava o estágio de desenvolvimento, aparecendo sequencialmente da vértebra C2 à vértebra C4⁽²¹⁾ (Figura 2).

Os autores também observaram que o pico do crescimento (momento precioso para determinados casos em que há necessidade de tratamento) ocorre entre os estágios CS3 e CS4. O estágio CS5 ocorre a partir de um ano após o pico e o estágio CS6, pelo menos dois anos após o pico⁽²¹⁾.

Preparação da Base de Dados

Esta fase teve o objetivo de preparar uma base de dados para treinamento e teste dos classificadores de padrões obtidos. Foram coletadas e digitalizadas 187 radiografias cefalométricas laterais de 118 indivíduos do gênero feminino e 69 do gênero masculino.

Em cada radiografia digitalizada, somente a área de interesse (composta pelas vértebras C2, C3 e C4) foi mantida por meio de recorte manual, para evitar a influência de outras características durante a avaliação do examinador, como por exemplo, o comprimento da mandíbula. As imagens resultantes foram visualmente avaliadas com base no método CVM por um examinador (E1) especialista em ortodontia que as classificou de acordo os seis estágios cervicais. Assim cada imagem foi associada a um estágio cervical. A marcação dos pontos de interesse em cada imagem foi realizada por um segundo examinador (E2) por meio de um sistema desenvolvido especificamente para a marcação dos pontos de interesse. Neste sistema, as coordenadas dos pontos marcados foram utilizadas como base para o cálculo das medidas C2CONC, C3CONC, C4CONC, C3BAR, C4BAR,

C3PAR e C4PAR. As medidas C2CONC, C3CONC e C4CONC foram calculadas como razões (entre o comprimento da base da vértebra e a distância da base da vértebra ao ponto mais profundo da curvatura da base da vértebra) para que a base de pesquisa apresentasse medidas independentes de uma escala comum, padronizada das imagens, tornando desnecessária uma calibração ou conversão de medidas.

Foi formada uma base de dados com as medidas C2CONC, C3CONC, C4CONC, C3BAR, C4BAR, C3PAR e C4PAR de cada imagem. A cada registro da base de dados foi associado o respectivo estágio cervical, conforme classificado anteriormente e manualmente pelo especialista.

Construção dos Classificadores

O objetivo dessa fase é relacionar o conjunto de medidas obtido com os estágios de crescimento fornecidos pelo especialista, considerados como padrão ouro neste estudo. Por se tratar de um problema de classificação envolvendo seis classes foi utilizada uma abordagem de decomposição de problemas multiclasse. Foi escolhida a abordagem um-contra-todos (*one-against-all*, OAA)⁽²³⁾, a fim de decompor o problema em seis classificadores binários. Assim, foram derivados seis arquivos de dados, usando o formato do software Weka versão 3.6.1, um para cada CS que se deseja classificar em relação aos demais estágios, para realizar o treinamento e teste dos classificadores. Neste trabalho foi utilizado o algoritmo de classificação Bayesiano Ingênuo (Naive Bayes⁽²⁴⁾) pela sua robustez, simplicidade e possibilidade de aplicação em problemas de classificação binária com dependência⁽²⁵⁾. Foram gerados três instâncias do classificador Bayesiano Ingênuo para cada estágio variando parâmetros de execução: *naiveBayes* original (NB), *naiveBayes - useKernelEstimator* (NBK) e *naiveBayes - useSupervisedDiscretization* (NBD). O primeiro classificador consiste no método Bayesiano Ingênuo original que, baseado na teoria bayesiana de decisão, calcula as probabilidades de cada exemplo pertencer ou não ao CS que se deseja classificar e, para cada exemplo, é tomada a decisão pela classe com maior probabilidade⁽²⁶⁾. O segundo classificador apenas desconsidera que os atributos tenham uma distribuição normal e estima a distribuição

de probabilidades para cada atributo. O terceiro classificador discretiza os valores de cada atributo. Para avaliação dos classificadores foi utilizado o método 10-fold de validação cruzada⁽²⁷⁾. Para cada estágio foi escolhido o classificador que apresentou maior área sobre a curva ROC (*area under ROC curve*, AUC)⁽²⁷⁾ dentre os três classificadores testados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação das imagens nos estágios cervicais realizada pelo examinador E1 resultou na distribuição das imagens apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição das imagens classificadas pelo examinador E1

Estágio Cervical (CS)	Número de Imagens
CS1	41
CS2	38
CS3	33
CS4	29
CS5	23
CS6	24

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos testes realizados com os classificadores. Em destaque os classificadores que apresentaram maior AUC para classificação de cada estágio cervical.

Tabela 2 – Resultados dos testes com os classificadores (AUC)

Classificador	CS1	CS2	CS3	CS4	CS5	CS6
NB	0,85	0,74	0,82	0,75	0,79	0,92
NBK	0,85	0,73	0,86	0,75	0,8	0,91
NBD	0,88	0,72	0,84	0,76	0,82	0,91

Os valores de AUC alcançados pelos classificadores foram considerados satisfatórios pelos autores, sugerindo

REFERÊNCIAS

- Liu J, Qi J, Liu Z, Ning Q, Luo X. Automatic bone age assessment based on intelligent algorithms and comparison with TW3 method. *Comput Med Imaging Graph.* 2008;32(8):678-84.
- McNamara JR JA. A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod.* 1984;86(6):449-69.
- Janson GRP. Estudo longitudinal e comparativo do crescimento facial dos 13 aos 18 anos de idade em jovens brasileiros leucodermas, utilizando a análise cefalométrica de McNamara Jr [tese]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 1990.
- Sadowsky PL. Craniofacial growth and the timing of treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998 Jan;113(1):19-23.
- Tavano O, Freitas, JAS, Lopes ES. Comparação entre duas tabelas de avaliação de idade biológica através do desenvolvimento ósseo. *Clin Pediatr.* 1982;6:7-21.
- Moraes LC, Medici Filho E, Castilho JCM, Leonelli ME. Idade óssea: considerações a respeito de sua estimativa. *Rev Gaúcha Odontol.* 1994; 42(4):201-3.
- Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of hand wrist. 2nd ed. Stanford, CA: Stanford University Press; 1971.
- Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method). 3rd ed. London: WB Saunders; 2001.
- Lamparski DG. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae [dissertation]. Pittsburgh: Faculty of the School of Dental Medicine, University of Pittsburgh; 1972.
- Araújo TSS. Estudo comparativo entre dois métodos de estimativa da maturação óssea [dissertação]. Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas; 2001.
- Armond MC, Castilho JCM, Moraes LC. Estimativa do surto de crescimento puberal pela avaliação das vértebras cervicais em radiografias cefalométricas laterais. *Ortodontia, São Paulo.* 2001;34(1):51-60.
- Generoso RC. Avaliação radiográfica comparativa das fases de maturação das vértebras cervicais em pacientes com padrão classe I e classe II esqueléticos [tese]. São José dos Campos: Faculdade de Odontologia de São José dos Campos, Universidade Estadual Paulista; 2002.
- Generoso RC, Tavano O, Ribeiro A, Parreira MLJ. Estudo da correlação entre a idade cronológica e a maturação das vértebras cervicais em pacientes em fase de crescimento puberal. *Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial.* 2003;8(4):19-36.
- Ortolani CF. Pergunte a um expert. *Rev. Dent. Press*

que cada classificador possui um grau de certeza adequado para diferenciar cada estágio cervical dos demais.

O software de marcação de pontos mostrou ser útil ao ortodontista, uma vez que pode armazenar dados por um longo prazo e estes podem ser reproduzidos de forma exata a qualquer momento.

Cabe salientar que nenhum trabalho sobre um SADC para estimar o estágio cervical baseado no método CVM modificado⁽²¹⁾ foi encontrado na literatura. Apenas trabalhos baseados nos métodos carpais, como GP e TW3⁽²⁸⁻²⁹⁾, foram encontrados. Estes trabalhos mostram que a avaliação da idade óssea automática (*Automatic Bone Age Assessment*, ABAA) não possui diferença significativa comparada com o método manual.

CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho foram considerados animadores pelos autores, indicando que o classificador de padrões obtido auxilia o ortodontista a identificar o estágio cervical que um indivíduo se encontra. Como próximos passos deste trabalho serão avaliados outros algoritmos de classificação com diferentes parâmetros para a base de dados formada. Ainda, serão conduzidas a avaliação de um meta-classificador que combine o conjunto de classificadores obtidos e análises de concordância entre examinadores especialistas em ortodontia e entre os examinadores e o meta-classificador. Do ponto de vista tecnológico, o meta-classificador será implantado por meio de um SADC integrado ao software de marcação dos pontos para futura aplicação em sala de aula.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Informática em Saúde da UNIFESP pelo apoio institucional, à CAPES pela bolsa de pesquisa concedida ao C. R. BULL pelo auxílio na análise dos dados.

- Ortodon. Ortop. Facial. 2005;4(1):7-14.
15. Santos ECA, Bertoz FA, Arantes FL, Reis PMP. Avaliação da reprodutibilidade do método de determinação da maturação esquelética por meio das vértebras cervicais. *Rev. Dent. Press Ortodon. Ortop. Facial.* 2005;10(2):62-8.
 16. Berner, ES. *Clinical decision support systems: theory and practice.* New York: Springer; 1999.
 17. Blumenthal D. The future of quality measurement and management in a transforming health care system. *JAMA.* 1997; 278(19):1622-5.
 18. Hunt D, Haynes R, Hanna S, Smith K. Effects of computer-based decision support systems on physician performance and patient outcomes. *JAMA.* 1998; 280(15):1339-46.
 19. Hummel AD, Maciel RF, Rodrigues RG, Pisa IT. Application of artificial neural networks in renal transplantation: classification of nephrotoxicity and acute cellular rejection episodes. *Transplant Proc.* 2010;42(2):471-2.
 20. Mancini F, Sousa FS, Hummel AD, Falcão AE, Yi LC, Ortolani CF, Sigulem D, Pisa IT. Classification of postural profiles among mouth-breathing children by learning vector quantization. *Methods Inf Med.* 2010;22(5):49.
 21. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod.* 2005;11:119-29.
 22. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod.* 2002;72(4):316-23.
 23. Allwein E, Schapire R, Singer Y. Reducing multiclass to binary: a unifying approach for margin classifiers. *J Machine Learning Research.* 2000;113-41.
 24. Kang D, Silvescu A, Honavar V. RNBL-MN: a recursive naive bayes learner for sequence classification. *LNCS.* 2006;3918:45-54
 25. Domingos P, Pazzani M. On the optimality of the simple bayesian classifier under zero-one loss. *Machine Learning.* 1997;29:103-30.
 26. Duda RO, Hart PE, Stork DG. *Pattern classification .* 2nd ed. Canada: Wiley-Interscience; 2000.
 27. Haykin S. *Neural networks: a comprehensive foundation.* London: McMillan; 1994.
 28. van Rijn RR, Lequin MH, Thodberg HH. Automatic determination of Greulich and Pyle bone age in healthy dutch children. *Pediatr Radiol.* 2009;39(6):591-7.
 29. Martin DD, Deusch D, Schweizer R, Binder G, Thodberg HH, Ranke MB. Clinical application of automated Greulich-Pyle bone age determination in children with short stature. *Pediatr Radiol.* 2009;39(6):598-607.